

Akzeptanz und Wirkung verschiedener Varianten der VR-Visualisierung von Energiekennwerten

(Acceptance and perception of various options of VR-visualization of energy parameters)

Wittstock, V.¹; Klavina, E.²; Schütz, A.³; Pürzel, F.¹

¹ TU Chemnitz, Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

² TU Chemnitz, Professur Persönlichkeitspsychologie und Diagnostik

³ Universität Bamberg, Lehrstuhl Persönlichkeitspsychologie und Psychologische Diagnostik

Abstract

Im Rahmen des ersten Methodenworkshops der Querschnittsarbeitsgruppe 1 des sächsischen Spitzentechnologieclusters eniPROD wurden verschiedene Methoden zur Visualisierung von Energiekennwerten mit Hilfe der Virtual Reality Technologie beschrieben [1]. Der vorliegende Beitrag stellt, darauf aufbauend, die Ergebnisse von Nutzerbefragungen zur Akzeptanz und Wirkung der verschiedenen Visualisierungsvarianten vor. Dazu werden zunächst die verschiedenen Varianten sowie die eingesetzten Fragebögen kurz erläutert. Es folgen die Auswertung der Ergebnisse sowie die Ableitung erster Gestaltungsempfehlungen für die Visualisierung von Energiekennwerten.

In the first workshop of the cross-sectional group 1 of the Cluster of Excellence eniPROD different methods for visualizing energy parameters by Virtual Reality Technology have been described [1]. Based on that, this paper presents the results of user surveys regarding the acceptance and the perception of various visualization options. For this purpose, firstly, the options and the used questionnaires are briefly explained. Following, the results are analyzed and first design recommendations for the visualization of energy parameters are derived.

Keywords:

Energiekennwerte, Visualisierung, Virtual Reality
energy parameters, visualization, Virtual Reality

R. Neugebauer, U. Götze, W.-G. Drossel (Hrsg.), *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD*, Tagungsband zum 1. und 2. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe 1 "Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung" des Spitzentechnologieclusters eniPROD, *Wissenschaftliche Scripten*, Auerbach, 2013.
URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067>

1 Einführung

Ausgangspunkt für die Entwicklung bzw. Erstellung von VR-Modellen und -Szenarien im Allgemeinen sowie der Energiekennwertvisualisierung im Speziellen sind meist die Struktur der vorhandenen Daten sowie Erfahrungswerte der Modellierer. Die Wirkung dieser Modelle auf die Nutzer, das heißt derjenigen, die diese Modelle bspw. als Entscheidungsgrundlage nutzen sollen, wird weitestgehend außen vor gelassen. Ein erster Schritt, dem entgegenzuwirken, ist demnach das Testen der Wirkung bestehender Modelle auf die Nutzer sowie ein Vergleich verschiedener Visualisierungsvarianten. Seit einigen Jahren werden daher Wahrnehmungsphänomene in VR-Umgebungen untersucht (vgl. dazu u. a. [2-6]). Dabei stand jedoch selten die Visualisierung technischer Objekte im Vordergrund. Speziell die in diesem Artikel präsentierte Gegenüberstellung verschiedener Visualisierungsmethoden für Energiekennwerte nach Aspekten der subjektiven Wahrnehmung lag nicht im Fokus. In diesem Sinn sollen die im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Befragungen erzielten Ergebnisse konkrete Anhaltspunkte zur Gestaltung der Energievisualisierung unter Berücksichtigung der subjektiven Wahrnehmung der Nutzer liefern.

2 Energievisualisierung

Im Rahmen der Arbeiten im Spitzentechnologiecluster eniPROD wurden verschiedene Varianten zur Visualisierung von Energiekennwerten erarbeitet. Dabei galt es, sowohl die vorhandenen Daten zu berücksichtigen als auch zu gewährleisten, dass die Energieflüsse den Verbrauchern zugeordnet und in Relation zueinander gebracht werden können. Die ersten so entwickelten Varianten sind in Bild 1 dargestellt (vgl. dazu auch [1, 7, 8]).

Alle drei Varianten haben dabei gemeinsam, dass jeweils nur ein Energiekennwert dargestellt werden kann. Eine Visualisierung mehrerer Energiekennwerte zu einem Verbraucher oder von einem Erzeuger ist parallel kaum möglich, da sonst (wegen auftretender Überlagerungen der Farben oder Balken) die Übersichtlichkeit leiden würde. Die relative Größe (im Vergleich der jeweils bewerteten Verbraucher) der Energiekennwerte wird entweder über eine reine Farbkodierung (Bauteileinfärbung) oder über eine Kombination aus Farbkodierung und Balkenhöhe (Balkendiagramm) bzw. Zweigdurchmesser (3D-Sankey) repräsentiert. Bei letzterem ist eine dynamische Anpassung der Durchmesser möglich, sofern eine Kopplung mit einem Energiemesssystem besteht und so regelmäßig neue, veränderte Energiekennwerte übermittelt werden. Bei den genannten Visualisierungsvarianten können jedoch keine Zeitverläufe dargestellt werden.

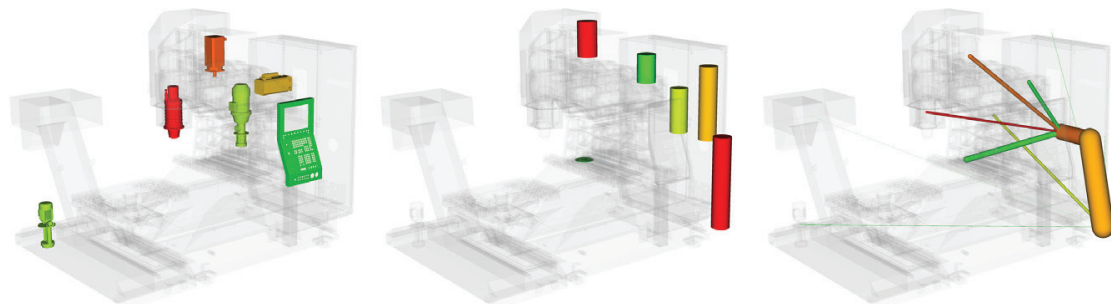


Bild 1: Varianten der Energievisualisierung am Bsp. einer 3-Achs-Fräsmaschine: Bauteileinfärbung (links), Balkendiagramm (Mitte), 3D-Sankey (rechts)

Alle drei Varianten haben dabei gemeinsam, dass jeweils nur ein Energiekennwert dargestellt werden kann. Eine Visualisierung mehrerer Energiekennwerte zu einem Verbraucher oder von einem Erzeuger ist parallel kaum möglich, da sonst (wegen auftretender Überlagerungen der Farben oder Balken) die Übersichtlichkeit leiden würde. Die relative Größe (im Vergleich der jeweils bewerteten Verbraucher) der Energiekennwerte wird entweder über eine reine Farbkodierung (Bauteileinfärbung) oder über eine Kombination aus Farbkodierung und Balkenhöhe (Balkendiagramm) bzw. Zweigdurchmesser (3D-Sankey) repräsentiert. Bei letzterem ist eine dynamische Anpassung der Durchmesser möglich, sofern eine Kopplung mit einem Energiemesssystem besteht und so regelmäßig neue, veränderte Energiekennwerte übermittelt werden. Bei den genannten Visualisierungsvarianten können jedoch keine Zeitverläufe dargestellt werden.

Um den genannten Nachteilen Abhilfe zu schaffen, wurde die Visualisierungsvariante Billboard (Informationstafel) entwickelt. Bild 2 zeigt die Zuordnung dieser Billboards zu den zugehörigen Maschinenkomponenten sowie ein Beispiel eines solchen Billboards.

Der Vorteil dieser Visualisierungsvariante ist zum einen, dass Energiekennwerte wie bspw. der Energieverbrauch im Verlauf dargestellt werden können (links unten im Billboard). Die relative Größe¹ eines beliebigen Kennwertes kann der Balkendarstellung (ähnlich einer Füllstandsanzeige) rechts unten entnommen werden. Außerdem können Informationen zur Maschine sowie der dem Billboard zugeordneten Baugruppe entnommen werden. Es wäre des Weiteren möglich, mehrere Energiekennwerte zusammen auf einem solchen Billboard zu visualisieren. Nachteilig an dieser Visualisierungsart ist, dass der (räumliche) Verlauf der Energie (bspw. zwischen Quelle und Verbraucher) nicht ohne weiteres ersichtlich wird, was bspw. bei

¹ Relativ, da in diesem Beispiel keine absoluten Größen angegeben sind, sondern da mittels der Balkenanzeige lediglich ein Vergleich des selben Kennwertes (hier beispielhaft mit „move“ bezeichnet) an verschiedenen Bauteilen erfolgen kann (bspw. 3 Balken vs. 2 Balken)

der Darstellung mittels 3D-Sankey der Fall ist. Aufgrund der Größe der Billboards kann zudem ihre Platzierung am VR-Modell der Maschine problematisch sein.

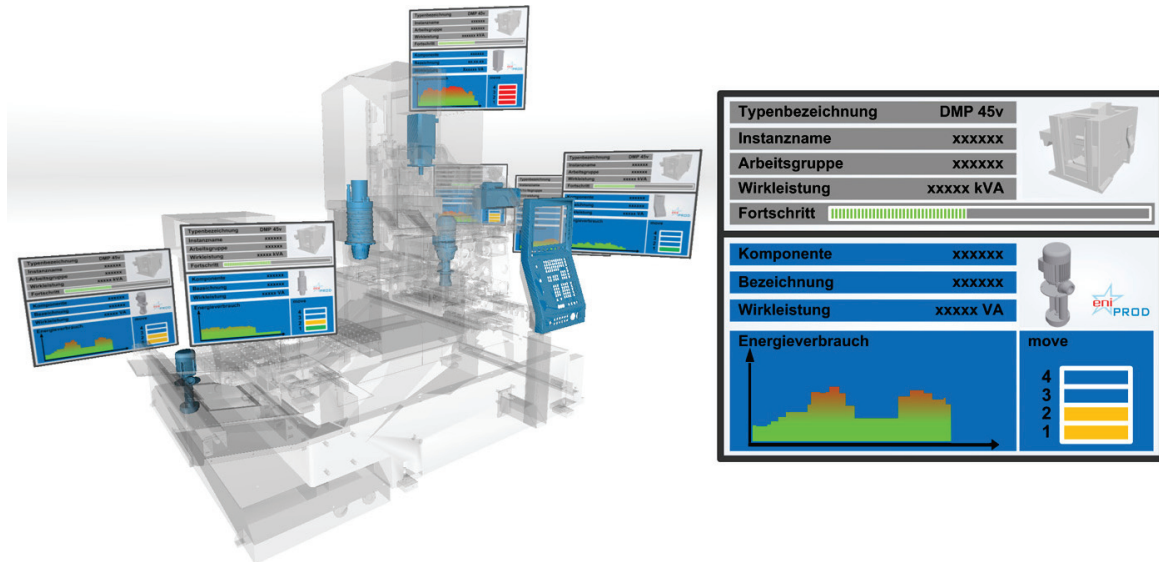


Bild 2: Energievisualisierung mittels Billboard

Fraglich ist jedoch bei allen beschriebenen Visualisierungsvarianten, wie sie auf die Nutzer wirken und ob sie tatsächlich die gewünschten Informationen geeignet bereitstellen. Zu diesem Zweck wurde eine Studie durchgeführt, bei der Nutzer nach ihrer persönlichen Meinung zu den unterschiedlichen Visualisierungsvarianten befragt worden sind.

3 Durchführung der Studie

Einen Schwerpunkt der Studie bildete die Befragung der Teilnehmer zu unterschiedlichen Arten der Energievisualisierung. Das Ziel war es, die subjektive Wahrnehmung der Teilnehmer zur Nutzbarkeit der unterschiedlichen Visualisierungsarten zu erfragen. Anhand der Visualisierung einer Fabrikhalle sollten im zweiten Teil der Studie folgende Kriterien technischer VR-Visualisierungen untersucht werden: Akzeptanz, Nutzbarkeit sowie Zufriedenheit.

An der Studie nahmen insgesamt 18 Personen teil. Die Probanden (13 Männer und 5 Frauen) waren im Alter zwischen 20 und 40 Jahren. Die Studie wurde im VR-Technikum am Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik durchgeführt. Der dort integrierte Hörsaal bietet Platz für knapp 200 Teilnehmer und verfügt über eine 6,0 m mal 2,5 m große Leinwand, die sowohl für den 2D- als auch für den 3D-(VR)-Betrieb geeignet ist. Die Teilnehmer der Studie saßen im Hörsaal verteilt zwischen 4 m und 10 m von der Leinwand entfernt. Sie nahmen die Rolle passiver Zuschauer ein, da einer der Testleiter die Navigation (Bewegung durch die

virtuelle Welt) durchführte. Das VR-System basiert auf einem passiv Stereo-Rückprojektionsverfahren mit Polarisationsfiltern und Infrarot-Tracking. Die Navigation erfolgte mittels Flystick.

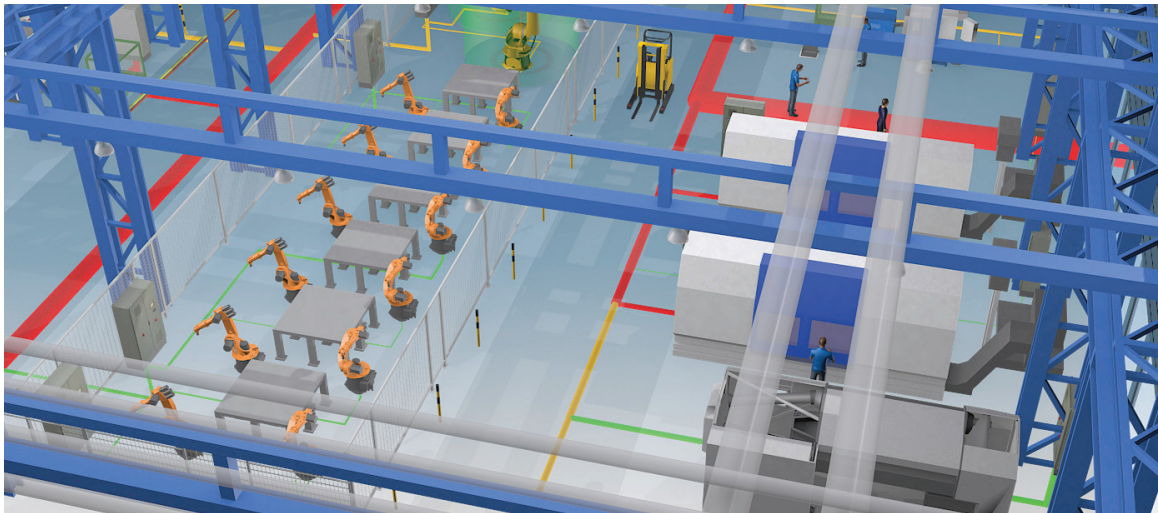


Bild 3: Visualisierte Energieverläufe in einer Fabrikhalle

Den Probanden wurden zunächst die vier verschiedenen Energievisualisierungsvarianten (Balkendiagramm, Bauteileinfärbung, 3D-Sankey sowie Billboard) gezeigt. Im Anschluss daran wurden sie gebeten, verschiedene Fragen – sowohl mit vorgegebenen Antworten, im fünfstufigen Antwortformat, als auch offene Fragen – zu den gezeigten Visualisierungsvarianten zu beantworten. Nachdem diese Fragen beantwortet worden waren, wurde die Visualisierung einer Fabrikhalle mit integrierter Visualisierung verschiedener Energieverläufe gezeigt. Anschließend wurden dem Probanden wiederum Fragebögen ausgehändigt. Die Ergebnisse dieser Befragungen sind nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

4 Darstellung der Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse teilen sich in sieben Themenkomplexe auf, wobei sich der erste Komplex auf die Visualisierung der Fabrikhalle bezieht und die weiteren auf die verschiedenen Visualisierungsvarianten von Energiekennwerten:

- Wirkung (Übersichtlichkeit, intuitive Verständlichkeit sowie Informationsgehalt) der VR-Visualisierung (im allgemeinen; anhand Fabrikhallen-Visualisierung)
- Erkennbarkeit des Energieverbrauchs der einzelnen Bauteile (Balkendiagramm)
- Möglichkeit, anhand der Einfärbungen Aussagen über den Energieverbrauch der einzelnen Bauteile treffen zu können (Bauteileinfärbung)

- Übersichtlichkeit, intuitive Verständlichkeit sowie Informationsgehalt der Farbcodierung des Energieverbrauchs (3D-Sankey)
- Lokalisieren der Energieverbraucher (Billboard)
- Ranking der Darstellungsformen in Bezug auf Energieverbrauch
- Kombination der Darstellungsformen

Einer der Schwerpunkte war die Wirkung der VR-Visualisierung im Allgemeinen, die mithilfe der oben beschriebenen VR-Visualisierung einer Fabrik (vgl. Bild 3) untersucht wurde. Dazu wurde ein Fragebogen mit fünfstufigem Antwortformat (von -2 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis +2 = „stimme vollkommen zu“) genutzt². Dabei ergaben sich folgende Aussagen:

Eine Mehrzahl der Probanden (55,6 %) bewertet die VR-Visualisierung als übersichtlich. Jedoch gibt es auch einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an Probanden (33,4 %), die dem nicht zustimmen. 55,5 % der Probanden empfanden die VR-Visualisierung zudem als intuitiv verständlich, 16,7 % stimmten dem nicht zu. Des Weiteren beurteilte die Mehrheit der Probanden (77,9 %) die VR-Visualisierung als informativ. Nur jeweils 11,1 % der Probanden waren hierbei neutraler Meinung oder konnten dem nicht zustimmen. Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die Wirkung der VR-Visualisierung durchaus positiv beurteilt wird. Verbesserungen sind jedoch in Sachen Übersichtlichkeit anzustreben. In offenen Fragen zur Wirkung der Visualisierung der Fabrikhalle bewerteten die Probanden diese als sehr anschaulich. Sie merkten jedoch an, dass sich der immersive Eindruck³ wohl verstärken würde, wenn sich der Proband direkt vor der VR-Leinwand befinden würde und selber mit der virtuellen Welt interagieren könnte.

Den zweiten Schwerpunkt der Studie bildete die Analyse verschiedener Varianten zur Energievisualisierung an Werkzeugmaschinen (vgl. Kapitel 2). Dabei wurden die Varianten *Balkendiagramm*, *Bauteileinfärbung*, *3D-Sankey* (vgl. Bild 1) sowie *Billboard* (vgl. Bild 2) genutzt. Zunächst wurden den Probanden konkrete Fragen zu den verschiedenen Visualisierungsarten gestellt. Im Anschluss erfolgte eine Aufforderung, die Varianten verbal einzuschätzen. Abschließend sollte ein Ranking der Varianten erstellt werden. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

44,5 % der Probanden konnten anhand der *Balkendiagramm*-Darstellung den Energieverbrauch der einzelnen Bauteile abschätzen 16,7 % stimmten dem nicht zu. Einige Probanden schätzten diese Darstellungsvariante als übersichtlich sowie nachvollziehbar im Aufbau ein. Außerdem merkten Sie an, dass die Farbcodierung

² Um die Übersichtlichkeit der hier präsentierten Resultate zu gewährleisten, wurden die ablehnenden Antworten („stimme überhaupt nicht zu“ und „stimme nicht zu“) sowie die zustimmenden Antworten („stimme zu“ und „stimme vollkommen zu“) zusammengefasst.

³ Immersion beschreibt hier das vom Nutzer wahrgenommene Eintauchen in die virtuelle Umgebung.

den Informationsgehalt der Balkendiagramme erhöht. Der 3D-Effekt wurde als angenehm eingestuft. Für einige Probanden war die Bedeutung der Balken (bzgl. Größe und Farbe) nicht eindeutig genug; es wurde eine entsprechende Legende vermisst. Außerdem war vielfach die Funktion der bewerteten Bauteile nicht intuitiv erkennbar. Dazu ist anzumerken, dass die Erläuterung der Funktionalität der Bauteile nicht primäres Ziel der Visualisierung war. Es ist jedoch, basierend auf Aussagen der Befragten, zu vermuten, dass die halbtransparente Darstellung der Maschine für die Erkennbarkeit der Funktionalitäten eher abträglich war. Dies müsste jedoch in einer Gegenüberstellung von bspw. fotorealistischer und halbtransparenter Maschinenvisualisierung überprüft werden. Des Weiteren empfand ein Proband die Thematik der Energievisualisierung als zu komplex, um sie mithilfe einer solchen Visualisierungsmethode darstellen zu können.

Besser bewertet wurde die Visualisierungsvariante *Bauteileinfärbung*. Hier konnten 58,8 % der Befragten anhand der Einfärbungen Aussagen über den Energieverbrauch der einzelnen Bauteile treffen; 29,4 % stimmten dem nicht zu. Der Großteil der Probanden konnte die Informationen schnell erfassen und empfand die Visualisierungsvariante daher als hilfreich. Da die Visualisierungsvariante direkt die Bauteile zur Farbcodierung der Energieverbräuche nutzt, war auch die Zuordnung zum jeweiligen Verbraucher intuitiv gegeben. Generell wurde die Einfärbung als angenehm empfunden. Wie bei der Visualisierung mittels Balkendiagrammen wurde jedoch eine Legende zur besseren Einordnung der Farbcodierung gewünscht. Die Vergleichbarkeit der bewerteten Objekte untereinander wurde angezweifelt. Dass dies jedoch hier und nicht schon bei der Visualisierungsvariante Balkendiagramm angemerkt wurde, lässt darauf schließen, dass die Variante Bauteileinfärbung tatsächlich die Aufmerksamkeit des Betrachters mehr auf die Bauteile selbst lenkt.

Die Adaptierung der gebräuchlichen 2D-Sankey-Diagramme zur Visualisierung von Energiekennwerten mit Hilfe der VR-Technologie wurde detaillierter untersucht. Hier wurden die Aspekte Übersichtlichkeit, intuitive Verständlichkeit sowie Informationsgehalt erfragt. 61,1 % der Probanden empfanden die Visualisierung mittels 3D-Sankey-Diagrammen als übersichtlich, etwa 33,3 % waren konträrer Meinung. Ebenso positiv (61,1 % stimmten teilweise oder voll und ganz zu) wurde der Informationsgehalt dieser Darstellungsvariante eingeschätzt; lediglich 16,6 % empfanden den Informationsgehalt zu niedrig. Etwas geringer war die Zustimmung bei der Intuitivität der Darstellung. Hier schätzte nur die Hälfte der Befragten die Darstellung als intuitiv verständlich ein. In etwa ein Drittel (33,3 %) beurteilte die Darstellung als wenig intuitiv. Bei dieser Darstellungsvariante wurde der 3D-Effekt der Darstellung als sehr angenehm empfunden. Die Zusammenhänge zwischen Energiefluss und Verbraucher wurden als ansatzweise nachvollziehbar bewertet. Allerdings war die Zuordnung der 3D-Sankey-Diagramme zu den bewerteten Bauteilen nicht immer nachvollziehbar. Die Vergleichbarkeit der Energiekennwerte allein

anhand des Durchmessers der Sankey-Zweige wurde von einigen Probanden angezweifelt.

Zuletzt wurden die Probanden zur Visualisierungsvariante *Billboard* befragt. Mit knapp 68 % der Probanden, die einschätzten, dass der Energieverbrauch mithilfe dieser Darstellungsvariante lokalisierbar ist, wurde diese Variante am Positivsten bewertet. Lediglich 11 % stimmten dem nicht zu; wobei keiner der Probanden die extreme Ablehnung „stimme überhaupt nicht zu“ äußerte. Bei der Bewertung der Inhaltsfülle des Billboards gingen die Meinungen der Probanden deutlich auseinander. Während einige angaben, die Informationen und deren Bedeutung, trotz deren Fülle, direkt erkennen und räumlich zuordnen zu können, bemerkten andere Probanden, dass zu viel Inhalt auf zu wenig Raum dargeboten wird. Dabei würde Konkretes verloren gehen und die Verbindung zwischen den Komponenten nur schwer ersichtlich werden. Die Visualisierungsvariante wurde besonders positiv hinsichtlich der Bewertung einzelner Komponenten eingeschätzt, bei der die Analyse spezieller Kennwerte relevant ist. Der 3D-Effekt der Darstellung wurde als angenehm empfunden.

Nach der Bewertung der einzelnen Visualisierungsvarianten sollten die Probanden ein persönliches Ranking bezüglich deren Aussagekraft erstellen. Dabei ergab sich (als Durchschnitt aller Befragten) folgende Rangfolge:

1. Billboard
2. Bauteileinfärbung
3. 3D-Sankey
4. Balkendiagramm

Zum Abschluss der Befragungen wurden die Probanden gefragt einzuschätzen, ob sie eine Kombination verschiedener Darstellungsformen als sinnvoll erachten und welche diese gegebenenfalls wären. Folgende Kombinationen waren dabei möglich: Balkendiagramm & Bauteileinfärbung, Balkendiagramm & 3D-Sankey, Balkendiagramm & Billboard, Bauteileinfärbung & 3D-Sankey, Bauteileinfärbung & Billboard sowie 3D-Sankey & Billboard. 43,75 % empfanden die Kombination Bauteileinfärbung & Billboard als am Vielversprechendsten, gefolgt von 3D-Sankey & Billboard (31,25 %), Bauteileinfärbung & 3D-Sankey (18,75 %) sowie die Kombination Balkendiagramm & Bauteileinfärbung (6,25 %). Die Kombinationen Balkendiagramm & 3D-Sankey sowie Balkendiagramm & Billboard wurden von keinem Probanden vorgeschlagen. Darüber hinaus wurde Billboard, 3D-Sankey und Bauteileinfärbung mehrfach als mögliche Dreierkombination genannt.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die untersuchten Varianten der VR-Visualisierung von Energiekennwerten überwiegend als intuitiv verständlich und informativ eingeschätzt wurden. Ein nicht zu vernachlässigender Teil der Probanden empfand jedoch die Darstellung insgesamt als nicht ausreichend übersichtlich. Die Probanden sind allerdings mehrheitlich der Ansicht, dass der Energiever-

brauch der einzelnen Bauteile erkennbar ist und dass anhand der Einfärbung Aussagen über den Energieverbrauch getroffen werden können. Die farbliche Codierung wurde als übersichtlich und informativ empfunden. Ebenfalls vertreten die Probanden die Meinung, anhand der Visualisierung die Energieverbraucher gut lokalisieren zu können. Letztendlich wird das Billboard als Darstellungsform präferiert, gefolgt von der Bauteileinfärbung. Eine Kombination dieser beiden Darstellungsformen wurde unter den angebotenen Kombinationsmöglichkeiten deutlich präferiert.

5 Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen der Studie, um die dabei aufgezeigten Vorteile verschiedener Varianten zu kombinieren und so die genannten Nachteile aufwiegen zu können, sollte die Kombination verschiedener Darstellungsvarianten angestrebt werden. Die Billboard-Darstellung sollte dabei zur Vermittlung allgemeiner Informationen beibehalten aber inhaltlich reduziert werden, um so die Erkennbarkeit der einzelnen Informationen zu erhöhen. Die damit einhergehende Reduzierung der dargebotenen Informationen kann durch eine zweite ergänzende Visualisierungsform gemindert werden. Als eine solche zweite, ergänzende Visualisierungsform sollte die Bauteileinfärbung bzw. die 3D-Sankey-Darstellung ergänzt werden. Dabei ist in weiteren Studien empirisch zu untersuchen, wie diese neue Kombinationsform dann tatsächlich auf die Nutzer wirkt. Desweiteren sollte die Aktualisierung der Balkendarstellung zur Laufzeit (wie dies bereits für die 3D-Sankey-Darstellung realisiert ist) entwickelt werden. Bei der Weiterentwicklung der Visualisierungsmethoden sollten vor allem Übersichtlichkeit, Intuitivität sowie Informationsvermittlung im Vordergrund stehen.

Acknowledgment

Die Autoren danken der europäischen Union (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung des Spitzentechnologieclusters „Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik“ (eniPROD[®]).



Literaturangaben

- [1] Wittstock, V.; Pätzold, M.: Datenanalyse und Varianten für die VR-Visualisierung von Energiekennwerten. In diesem Band, S. 81–93
- [2] Livatino, S.; Köffel, C.: Handbook for Evaluation Studies in Virtual Reality. In: IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurements. Otsuni, Italy, 25-27 June 2007
- [3] Hofmann, J.: Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen. Einfluss des Präsenzepfindens in Virtual Reality-Anwendungen für den industriellen Einsatz. Dissertation. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie. Deutscher Universitäts-Verlag, 2002
- [4] Jenewein, K.; Hundt, D.: Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität - psychologische Korrelate und exemplarisches Forschungsdesign. In: Arbeitsbericht. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Berufs- und Betriebspädagogik, 2009, 67
- [5] Steuer, J.: Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. In: Journal of Communication, 1992, 42(4):73–93
- [6] Hoffman, H.G.; Prothero, J.; Wells, M.J.; Groen, J.: Virtual Chess: Meaning Enhances Users' Sense of Presence in Virtual Environments. In: International Journal of Human-Computer Interaction, 1998, 10(3):251–263
- [7] Neugebauer, R.; Wittstock, V.; Glänzel, J.; Pätzold, M.; Schumann, M.: VR-Tools for the Development of Energy-Efficient Products. In: Neugebauer, R.: Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik, Chemnitz, 2010, S. 657–676
- [8] Wittstock, V.; Pätzold, M.; Schumann, M.; Glänzel, J.: VR-Entwicklungswerkzeuge zur Bewertung energieeffizienter Produkte und Prozesse. In: 8. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Magdeburg, 2010, S. 79–84