

Karl-Josef Wack

Daimler AG
P.O. Box 2360 HPC U026
89013 Ulm
karl-josef.wack@daimler.com

Franz Peschel

Daimler Protics GmbH
P.O. Box 2360 HPC U058
89013 Ulm
franz.peschel@daimler.com

Abstract

Konfrontiert mit der steigenden Komplexität industriell gefertigter Produkte bei gleichzeitiger Verkürzung der Entwicklungszeiten werden heutzutage in zunehmendem Maße virtuelle Technologien entlang des Produkt- und Produktionsplanungsprozesses eingesetzt. Dabei steht bereits in frühen Phasen ein digitales Abbild des später zu fertigenden Produkts- oder Produktionsmittels für Analysen, Simulationen und Absicherungsuntersuchungen zur Verfügung.

Die Komplexität schlägt sich auch in den Softwarewerkzeugen der digitalen Fabrikplanung nieder, so dass bislang meist einfache Visualisierungsformen verwendet wurden. Die Daimler-interne Fabrikplanungsanwendung „VEO“ wurde nun um eine Komponente zur optisch plausiblen Visualisierung der digitalen Fabrik erweitert. Der Mehrwert einer realitätsnahen Visualisierung für die menschliche Wahrnehmung und somit einer verbesserten Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung der digitalen Modelle steht außer Frage und wurde unter verschiedenen Aspekten bereits in der Fachliteratur nachgewiesen (Scheer & Keutel 2010).

Aspekte der hedonischen Qualität einer solchen Visualisierung wurden bislang nur am Rande untersucht. In diesem Beitrag wird daher die realitätsnahe Visualisierung mit der vormals verwendeten einfachen Darstellung gegenübergestellt und hinsichtlich eines Mehrwerts zur Steigerung der hedonischen Qualität bewertet. Dazu wird die hedonische Qualität unter Verwendung der Methode AttrakDiff ermittelt. Die Ergebnisse der Studie werden präsentiert und bewertet.

Keywords:

/// Digitale Fabrik
/// Fabrikplanung
/// Hedonische Qualität
/// Joy of Use
/// User Experience

1. Einleitung

Automobile sind durch ihre Variantenvielfalt hochkomplexe Produkte, welche ebenso komplexe Produktionsprozesse bedingen. Deren Fertigung erfolgt in Werkshallen mit einer Länge von bis zu einem Kilometer. Dort werden Teile zur Montage angeliefert, vormontiert, zum Endprodukt zusammengebaut und abschließend einer Qualitätssicherung unterzogen.

Die Fabrikplanung umfasst dabei mehrere Bereiche. Zum einen ist diese für die Gebäudearchitektur zuständig, zum anderen auch für die Infrastruktur inklusive der Maschinenstandorte. Auch die Versorgung mit Roh- und Betriebsstoffen

und vorproduzierten Bauteilen wird durch die Fabrikplanung sichergestellt. Weiterhin zählen der Abtransport und die Qualitätssicherung der produzierten Güter sowie die Entsorgung der Rest-, Abfallstoffe und Abwässer zu deren Aufgabenbereich. Insbesondere muss die Fabrikplanung spätestens zum geplanten Produktionsstart neuer Produkte oder Produktreihen sicherstellen, dass alle notwendigen Ressourcen zu einem bestimmten Zeitpunkt an den richtigen Orten verfügbar sind und die Prozesse reibungslos funktionieren.

Die Softwarewerkzeuge im Umfeld der digitalen Fabrikplanung müssen für eine holistische Visualisierung aller Daten der digitalen Fabrik mit dieser Komplexität umgehen können. Die Visualisierung der 3D-Daten eröffnet den Planern vielfältige

Möglichkeiten hinsichtlich der Validierung von Planungsständen von Fabrik- und Anlagenmodellen, sowie dem damit verbundenen Erkenntnisgewinn über räumliche Gegebenheiten und Einschränkungen.

Die Daimler-Forschung entwickelt neue Methoden und Technologien zur Absicherung der digitalen Fabrikplanung. Eines der eigens dazu entwickelten Systeme ist das Softwarewerkzeug „VEO“, welches zur Visualisierung der aktuellen Planungsstände der digitalen Fabrikplanung verwendet wird.

Aufgrund der Komplexität und der Menge der Daten wurden in der Vergangenheit zumeist einfache zu berechnende Visualisierungsformen verwendet um interaktive oder echtzeitfähige Bildwiederholraten



Abb. 1.
„VEO Classic“, OpenGL Lighting

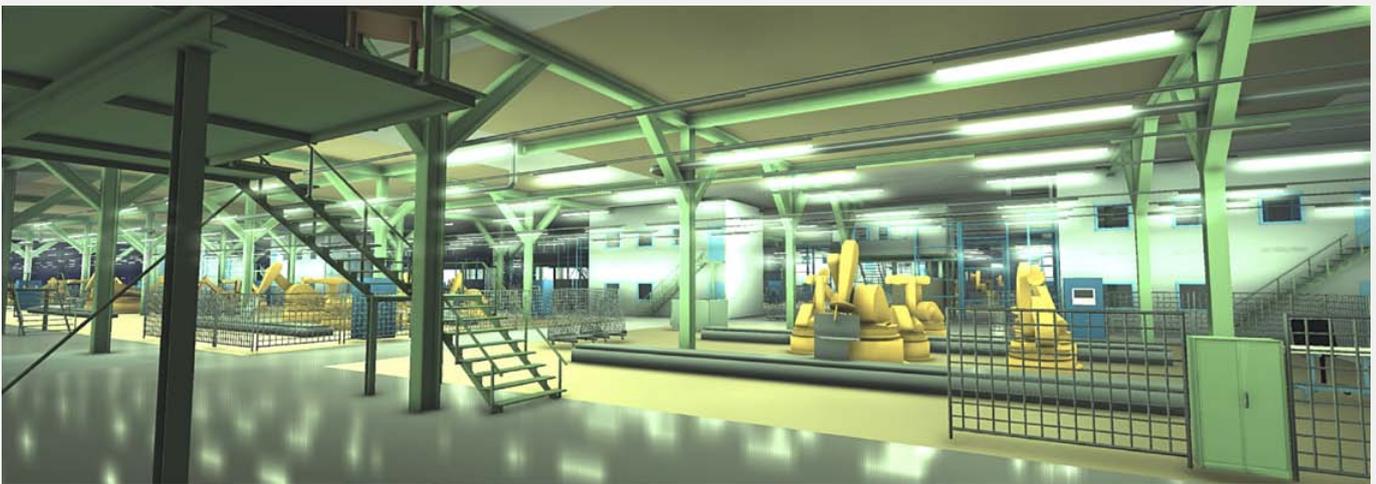


Abb. 2.
„VEO Lighting“ (Peschel et al. 2011), plausible interaktive Beleuchtungssimulation

erreichen zu können. In jüngster Zeit wurde jedoch das System „VEO“ um eine Komponente zur optisch plausiblen Visualisierung („VEO Lighting“; Peschel et al. 2010, Peschel et al. 2011) der digitalen Fabrik erweitert, anhand derer eine für die menschliche Wahrnehmung hohe Übereinstimmung mit den Beleuchtungssituationen in einer realen Fabrikhalle erreicht wird.

Die dadurch erzielten Ergebnisse hinsichtlich der hedonischen Qualität wurden mittels der in (Hassenzahl et al., 2003) vorgestellten Fragebogen-basierten

Evaluationsmethode AttrakDiff ermittelt und werden nachfolgend vorgestellt.

2. Das System „VEO“

Die Anwendung „VEO“ ist eine Eigenentwicklung der Daimler AG und findet dort in verschiedenen Planungsbereichen und zu unterschiedlichen Planungsphasen vielfache Verwendung. Neben der reinen Visualisierung von 3D-Daten von Fabriken und Anlagen bzw. anderen Fabrikplanungsdaten wird das System beispielsweise unter

Verwendung von Mixed-Reality (MR) Technologien zum Soll-Ist Abgleich von Fabrikhallen eingesetzt. Generell stellt „VEO“ ein Hilfswerkzeug zur Validierung von Planungsständen und deren Optimierung dar.

„VEO“ zeichnet sich durch eine äußerst performante Visualisierung von immens großen Datenmengen aus. Ein 3D-Modell einer Fabrikhalle beispielsweise erreicht schnell eine Größe von mehreren Gigabyte. „VEO“ ist aufgrund einer verwendeten Visibility Guided Rendering Technologie (Kasik et al. 2007) in Kombination mit

einem Kamerastandort-basierten Streaming der Geometriedaten in der Lage, Szenen mit einer theoretisch unbegrenzten Anzahl von Polygonen interaktiv zu visualisieren. Gerade bei den verschiedenen Planungsdisziplinen der Fabrikplanung ist die Interaktivität der Visualisierung von großer Bedeutung. Um dies erreichen zu können, wurden bislang meist einfach zu berechnende Visualisierungsformen eingesetzt. Deren Darstellungen von Szenen und darin enthaltenen Objekten jedoch sind eher von abstrakter Natur (siehe Abbildung 1 & Abbildung 3), so dass durch den Nutzer eine gedankliche Übertragung auf reale Objekte erfolgt. [Abb. 1]

Bei der bisherigen Entwicklung von „VEO“ stand die pragmatische Qualität im Vordergrund. Mit einer neuen Weiterentwicklung hinsichtlich Visualisierungsqualität wurde eine Möglichkeit gefunden, eine optisch plausible Visualisierung zu realisieren, wodurch eine für die menschliche Wahrnehmung hohe Übereinstimmung mit den

Beleuchtungssituationen in einer realen Fabrikhalle erreicht wird. [Abb. 2]

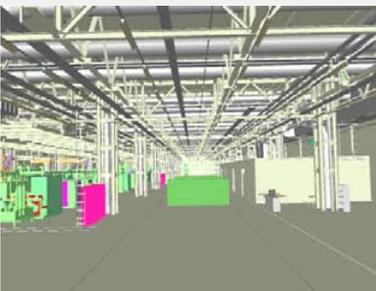
Die durch die optisch plausible Visualisierung erzielten qualitativen Verbesserungen sind in Abbildung 3 ersichtlich. Die linke Spalte zeigt zwei verschiedene Szenarien einer 3D-Fabrikvisualisierung unter Verwendung der bisherigen, sogenannten OpenGL Lighting Visualisierung. Die mittlere Spalte zeigt ein Foto der gleichen Szene unter Einhaltung der entsprechenden Perspektive. In der rechten Spalte wurden die identischen 3D-Fabrikdaten zur Visualisierung verwendet, wie bei der vorherig erwähnten OpenGL Lighting Darstellung.

Vergleicht man nun die mittlere Spalte mit den Fotos aus der realen Fabrikhalle mit den Abbildungen in der rechten Spalte, so wird schnell deutlich, dass die optisch plausible Visualisierung ein eindrucksvolles Maß an Realismus erzielt. Besonders anzumerken ist dabei, dass die Interaktivität stets gewahrt bleibt. [Abb. 3]

3. Joy of Use

Bei Gebrauchstauglichkeit handelt es sich um ein anerkanntes Qualitätsmerkmal. Nach der DIN EN ISO 9241-11 wird von Gebrauchstauglichkeit gesprochen, wenn es einem Benutzer durch eine Anwendung in einem bestimmten Nutzungskontext ermöglicht wird, Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.

Bei Effizienz und Effektivität handelt es sich um rein objektive Kriterien. Jüngste Studien belegen jedoch, dass neben den objektiven Kriterien auch subjektive Kriterien, wie beispielsweise die Zufriedenheit der Benutzer von Relevanz für die Usability und auch für die Akzeptanz eines Produktes sein können. Unter diesem Gesichtspunkt wurden die Usability Heuristiken von Sarodnick und Brau (2006) überarbeitet und um den Aspekt „Joy of Use“ erweitert.



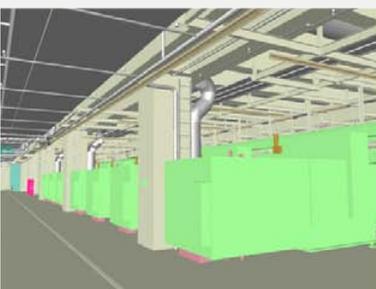
Große Halle: OpenGL Lighting



Foto



Beleuchtungssimulation



Maschinen: OpenGL Lighting



Foto



Beleuchtungssimulation

Abb. 3.
Die beiden Visualisierungsformen mit einer Fotodarstellung im Vergleich (Abbildung aus Peschel, 2010).

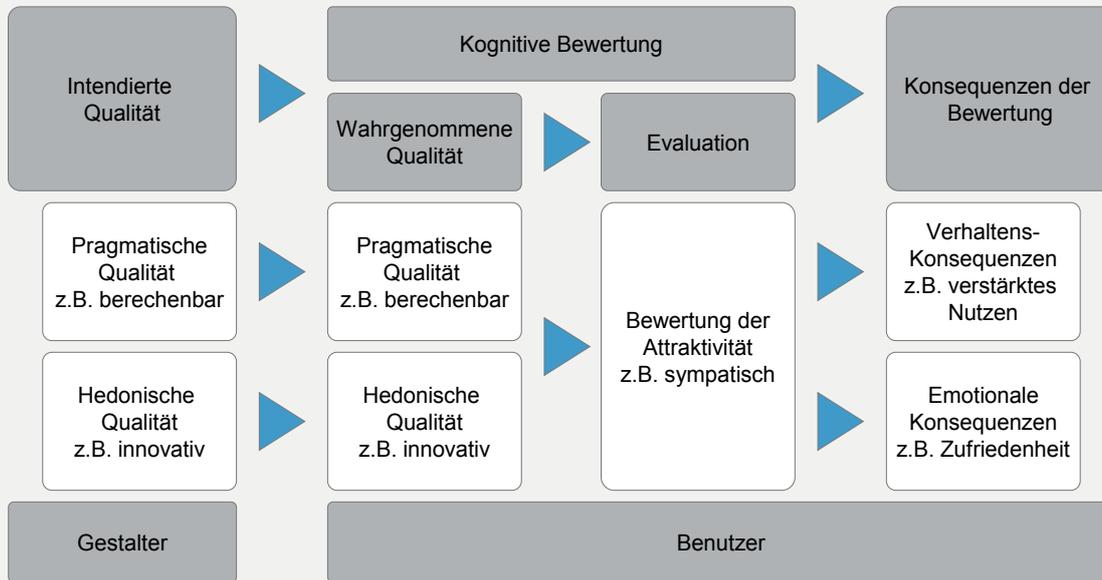


Abb. 4.
Modell zur Eindrucksentstehung
der Attraktivität beim Benutzer
nach (Hassenzahl, 2001)

Mit „Joy of Use“ wird das positive, ästhetisch-emotionale Erlebnis des Benutzers beim Arbeiten mit interaktiven Systemen beschrieben. Aus diesem Grund ist Gebrauchstauglichkeit nicht als alleinbestehendes Qualitätsmerkmal zu betrachten. Daher versteht sich „Joy of Use“ mittlerweile als Erweiterung der Usability (vgl. Hassenzahl et al., 2000).

Zu „Joy of Use“ existieren unterschiedliche theoretische Ansätze und Qualitätskriterien (vgl. Wallace & Press, 2004; Hassenzahl et al., 2000). Der von Hassenzahl et al. (2000) vorgestellte Ansatz unterscheidet zwischen hedonischer und pragmatischer Qualität. Die pragmatische Qualität beschreibt hierbei die Fähigkeit eines Produktes zur Befriedigung der Zielerreichung (z. B. praktisch, handhabbar). Wohingegen sich die hedonische Qualität in zwei Aspekte, Identität und Stimulation, unterteilt. Mit AttrakDiff, einer Fragebogenevaluationsmethode, ist es möglich die Attraktivität eines Produktes anhand definierter Qualitätskriterien zu ermitteln.

4. AttrakDiff

AttrakDiff ist ein Messinstrument zur Ermittlung der Attraktivität interaktiver Systeme in Form eines semantischen Differentials. Insgesamt setzt sich AttrakDiff aus 28 siebenstufigen, konträren Begriffspaarungen, wie beispielsweise „sympatisch – unsympatisch“, „technisch - menschlich“ oder auch „außergewöhnlich – üblich“ zusammen. Mit Hilfe des theoretischen Modells, welches der Methode zugrunde liegt (Hassenzahl, 2001; Abbildung), wird die durch die Probanden wahrgenommene sowie bewertete pragmatische und hedonische Qualität ermittelt und ein subjektiver Eindruck der Attraktivität bestimmt. Das Ergebnis verdeutlicht die Einordnung des evaluierten Produktes bezüglich der Messgrößen hedonische und pragmatische Qualität. [Abb. 4]

Die daraus resultierenden Konsequenzen werden zudem in Verhalten und Emotion

unterteilt. Das Modell trennt dabei nach den folgenden vier wesentlichen Aspekten:

- Durch den Gestalter intendierte Produktqualität
- Subjektive Qualitätswahrnehmung und Bewertung
- Voneinander unabhängige pragmatische und hedonische Qualität
- Verhaltens- und emotionale Konsequenzen

In der nachfolgend beschriebenen Evaluation lag der Fokus auf der Untersuchung der Aspekte „subjektiven Qualitätswahrnehmung und Bewertung“ sowie der hedonischen Qualität.

5. Evaluation

Um die Attraktivität der beiden möglichen Visualisierungsformen, der interaktiven plausiblen Beleuchtungssimulation („VEO Lighting“) sowie der einfachen OpenGL Lighting Beleuchtung („VEO Classic“) zu ermitteln, wurde das Messinstrument

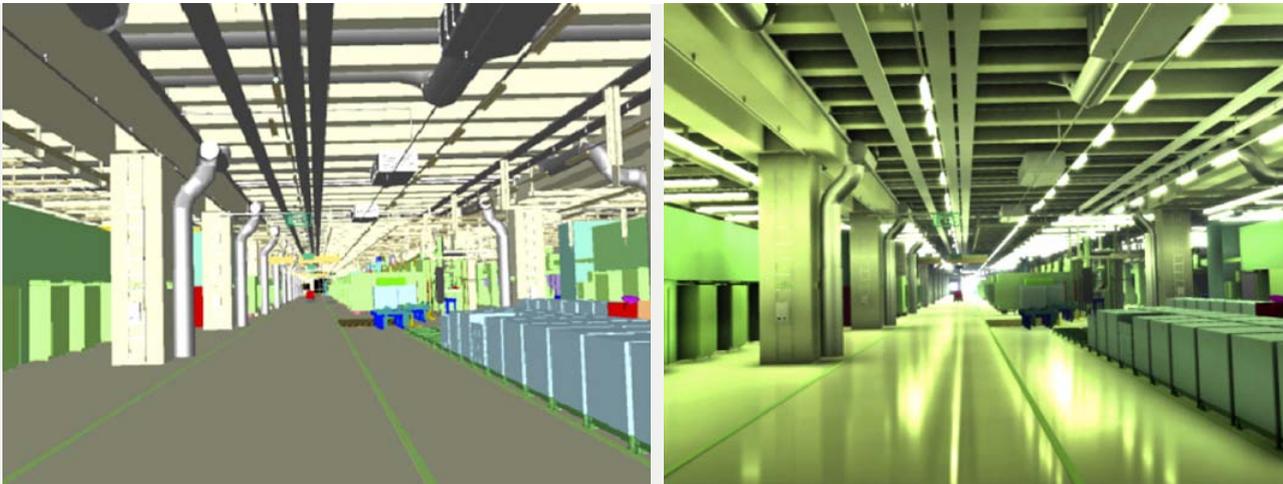


Abb. 5.
Die aktuelle Kameraposition und Ausrichtung wird in einem Viewpoint gespeichert (Abbildung aus Peschel et al., 2011).

AttrakDiff verwendet. Beide Visualisierungsformen wurden in einem Testszenario gegenübergestellt. Die Nutzer führten jeweils mit beiden unterschiedlichen Darstellungsoptionen eine Aufgabe durch und bewerteten anschließend unter Verwendung des Onlinefragebogens. Die Aufgabe bestand darin, mit Hilfe einer in „VEO“ vorhandenen Funktion zum Setzen von sogenannten Viewpoints einen möglichst kollisionsfreien und repräsentativen vorzeigbaren Rundflug durch eine Fabrikhalle zu erstellen. Viewpoints besteht aus der aktuellen Position und Ausrichtung der Kamera (siehe Abbildung 5). Die für einen Kameraflug benötigten Positionen und Ausrichtungen der Kamera zwischen zwei Viewpoints werden dabei linear interpoliert. [Abb. 5]

Für einen Kameraflug werden die gesetzten Viewpoints dann einfach nacheinander angefahren, wodurch eine flüssige Animation entsteht. Auf diese Weise konnten die Testpersonen die komplexe Fabrikhalle explorieren und sich mit ihr vertraut machen, wobei aufgrund der geforderten Repräsentativität des Rundflugs insbesondere Aspekte der hedonischen Qualität im Fokus der Evaluation standen.

5.1. Teilnehmer

An der Studie nahmen insgesamt 20 Probanden teil. Dabei waren Mitarbeiter aus verschiedenen Fachbereichen mit unterschiedlichen Erfahrungswerten im Hinblick auf die Nutzung der Anwendung „VEO“ vertreten. Die Spanne der Expertise reichte hierbei von keiner bis hin zur langjährigen Toolexpertise. Die neue, optisch plausible Visualisierung war den meisten Probanden unbekannt. Ein Großteil der Probanden ist in die Altersgruppe der 20 bis 40-jährigen einzuordnen, lediglich drei der Probanden waren älter als 40 Jahre. Auch die männlichen Probanden dominierten – lediglich vier der teilnehmenden Personen waren weiblich. Nahezu alle Probanden verfügen über einen Hochschul- oder vergleichbaren Abschluss.

5.2. Ergebnisportfolio

Das Ergebnisportfolio (vgl. Abbildung 6) illustriert die Ausprägungen der hedonischen Qualität (HQ) sowie der pragmatischen Qualität (PQ). Hierbei wird in der Vertikalen die Ausprägung der hedonischen Qualität und in der Horizontalen die

Ausprägung der pragmatischen Qualität dargestellt. Die Ausprägung der hedonischen Qualität ist im rechten Bereich und die Ausprägung der pragmatischen Qualität ist im oberen Bereich am höchsten.

Das Produkt wird in Abhängigkeit der Ausprägung seiner beiden Dimensionen in den entsprechenden Bereichen angesiedelt. Weiterhin wird ein Konfidenzrechteck als heller Rahmen dargestellt. Die Größe des Konfidenzrechtecks repräsentiert dabei das Maß an Übereinstimmung der von den Probanden getroffenen Antworten – also deren Varianz, und fällt umso kleiner aus, je höher die Übereinstimmung ist. Da die Konfidenzrechtecke in Abbildung 6 klein ausfallen, sind die Bewertungen recht homogen. Das zeigt, dass sich die Mehrheit der Testpersonen bei der Bewertung einig war und die hier gezeigten und erörterten Ergebnisse auf das Produkt auch wirklich zutreffen. [Abb. 6]

„VEO Classic“ wurde hinsichtlich pragmatischer als auch hedonischer Qualität als „neutral“ eingestuft, wenn auch im oberen Drittel angesiedelt. „VEO Lighting“ hingegen liegt im Wertebereich „begeht“, womit eine Verbesserung der hedonischen als auch der pragmatischen Qualität

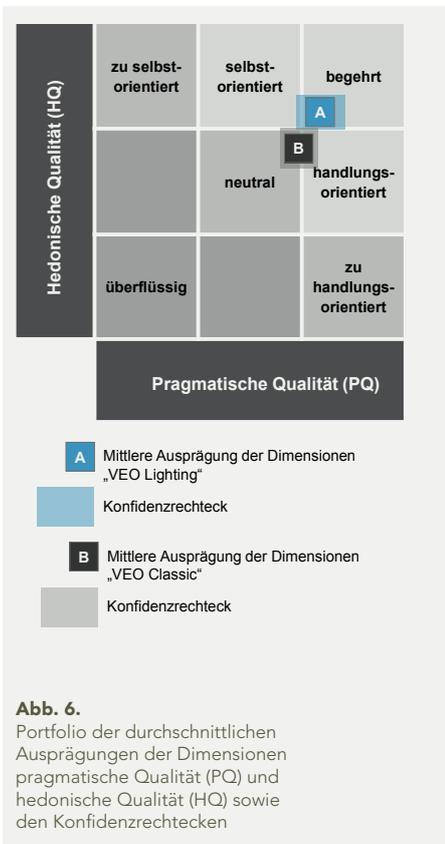


Abb. 6. Portfolio der durchschnittlichen Ausprägungen der Dimensionen pragmatische Qualität (PQ) und hedonische Qualität (HQ) sowie den Konfidenzrechtecken

aufgezeigt werden kann. „VEO Lighting“ unterscheidet sich dabei signifikant von denen durch „VEO Classic“ erzielten Werten hinsichtlich der hedonischen Qualität. Da bei beiden Teilen der Studie die gleiche Fabriksszene unter gleichen technischen Voraussetzungen verwendet wurde und lediglich die Art der Visualisierung eine andere war, erscheint an dieser Stelle die leichte Steigerung der pragmatischen Qualität ebenfalls interessant. Auch wenn der Unterschied nicht signifikant ausfällt, ist er aufgrund des kleinen Konfidenzrechtecks doch erkennbar. Aussagen der Testpersonen nach dem Absolvieren beider Tests lassen darauf schließen, das mit einer als plausibel empfundenen Beleuchtung insbesondere die Orientierung und damit die Navigation durch die Szene etwas leichter viel. Da die Untersuchung der pragmatischen Qualität in dieser Studie nicht im Fokus stand und die Aufgabenstellung im Testszenario auf die Untersuchung der hedonischen Qualität ausgerichtet war, wäre es interessant, diese

in einer gesonderten Studie mit geeigneter Aufgabenstellung zu betrachten.

5.3. Diagramm der Mittelwerte

Das Diagramm der Mittelwerte zeigt die mittlere Ausprägung der vier Dimensionen, welche mit Hilfe von AttrakDiff bewertet werden. Da die hedonische Qualität grundsätzlich zwischen Stimulation (HQ-S) und Identität (HQ-I) differenziert, wird diese im Diagramm der Mittelwerte entsprechend aufgeteilt und separat dargestellt. Die Identität zeigt dabei das Ausmaß der Identifikation des Nutzers mit dem Produkt und die Stimulation das Ausmaß der Unterstützung des Bedürfnisses nach persönlicher Weiterentwicklung des Anwenders. Stimulation kann z. B. durch anregende und neuartige Funktionen gesteigert werden. Des Weiteren wird durch das Diagramm die beurteilte Attraktivität dargestellt, welche allgemein für das Produkt wahrgenommen wird. Hedonische und pragmatische Qualität fließen dabei in die Bewertung der wahrgenommene Attraktivität mit ein. [Abb. 7]

„VEO Classic“ erzielt in allen Bereichen durchschnittliche Werte, wohingegen „VEO Lighting“ in allen Bereichen über dem Durchschnitt lag. Mit Ausnahme der pragmatischen Qualität sind die Unterschiede dieser Studie in allen Bereichen signifikant und verdeutlichen, dass eine Steigerung der hedonischen Qualität erreicht werden konnte.

5.4. Profil der Wortpaare

Durch das Profil der Wortpaare wird deren mittlere Ausprägung dargestellt. [Abb. 8]

Ein besonderes Interesse gilt dabei den Extremwerten sowie den Wortpaaren, die eine größere Abweichung in der Bewertung aufweisen. Die Extremwerte verdeutlichen, welche Aspekte des Produktes besonders gut gelöst oder als kritisch anzusehen sind. Mögliches Handlungspotenzial ist somit leicht zu identifizieren. Die Abweichung zeigen, inwieweit sich das veränderte Produkt positiv oder gegebenenfalls auch negativ gegenüber dem Ausgangsprodukt verändert hat.

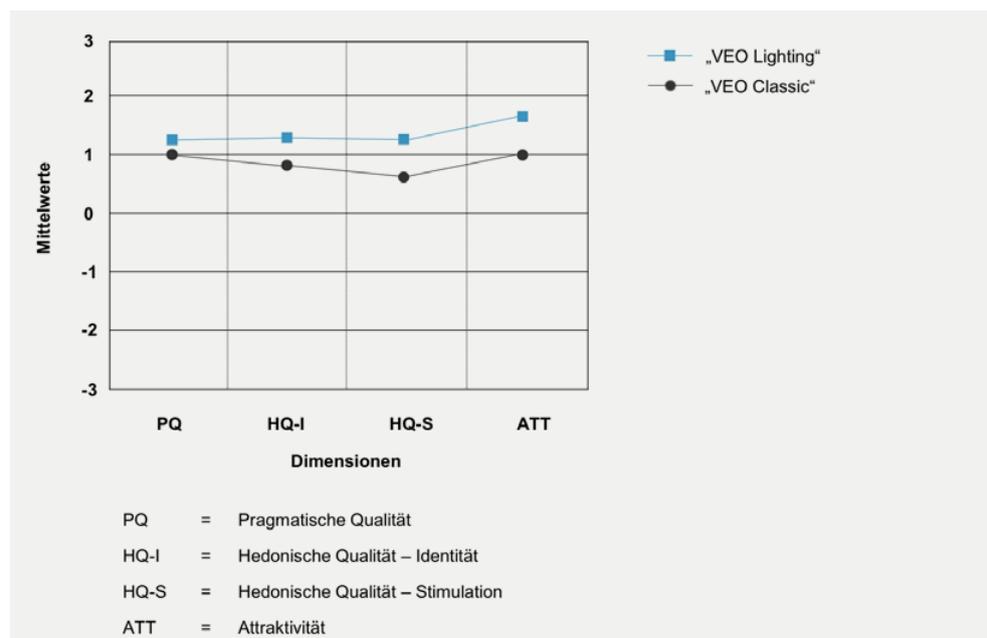


Abb. 7. Mittlere Ausprägung der vier Dimensionen des AttrakDiff

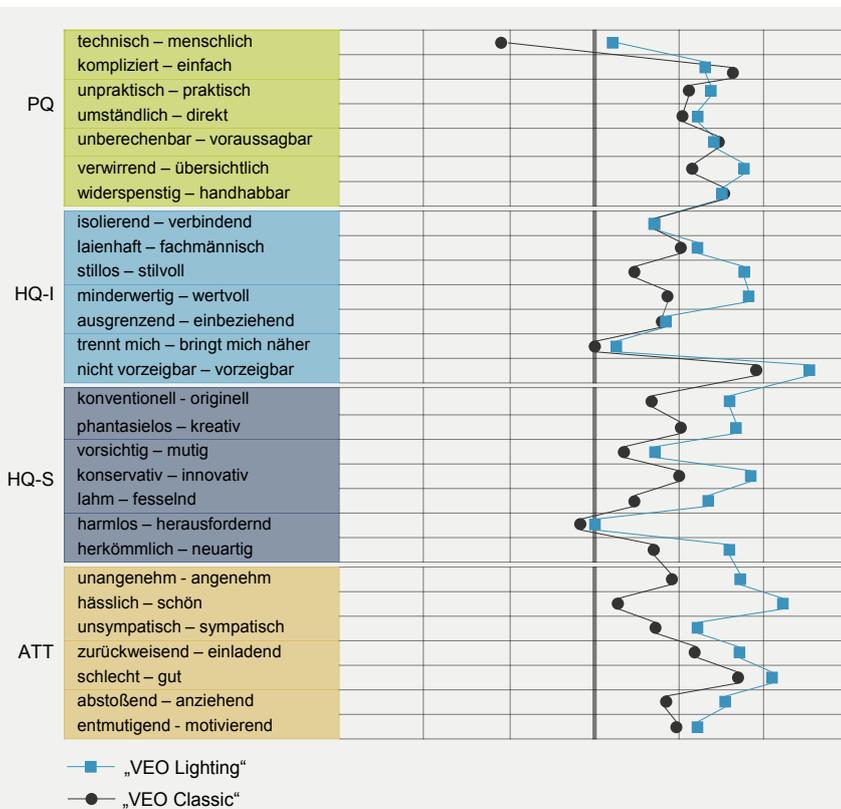


Abb. 8. Mittlere Ausprägung der Wortpaare des AttrakDiff für die Produkte „VEO Classic“ und „VEO Lighting“

Abbildung 8 zeigt, dass bei beiden Visualisierungsformen die meisten Bewertungen der 28 Begriffspaarungen im positiven Bereich liegen. Die Tendenz einer Verbesserung durch „VEO Lighting“ ist in den Bereichen der hedonischen Qualität und Attraktivität klar zu erkennen, wohingegen bei der pragmatischen Qualität eher Uneinigkeit herrscht. Deutlicher ist hier nur erkennbar, dass „VEO Lighting“ mit seiner plausiblen Beleuchtung im Vergleich zu „VEO Classic“ als eher menschlich eingestuft wird, was darauf hindeutet, dass „VEO Lighting“ eine für die Testperson natürlichere Handlungsumgebung darstellt und die Plausibilität der Darstellung unterstreicht.

Bei der Dimension „Identität“ (HQ-I) wird „VEO Lighting“ deutlich stilvoller und wertvoller als das Vergleichsprodukt

eingestuft. Vorzeigbar erreicht dabei fast den besten Wert. Weitere Wortpaare wie z. B. isolierend – verbindend oder ausgrenzend – einbeziehend liegen nahezu auf dem gleichen Wert. Die Probanden hatten hier Schwierigkeiten, eine Bewertung abzugeben, da die Anwendung diese Aspekte aus ihrer Sicht weniger berührte. Zusammenfassend lässt sich hinsichtlich ästhetischer Gesichtspunkte eine gesteigerte Identifizierung des Nutzers mit dem Produkt „VEO Lighting“ feststellen.

Bei der Dimension „Stimulation“ (HQ-S) konnte sich „VEO Lighting“ in fast allen Punkten verbessern. Lediglich die Herausforderung blieb gleich. „VEO Lighting“ unterstützt den Nutzer somit verstärkt in seinem Bedürfnis nach Weiterentwicklung.

Die Dimension „Attraktivität“ (ATT) konnte für „VEO Lighting“ insbesondere hinsichtlich der ästhetischen Wahrnehmung verbessert werden, wobei bereits „VEO Classic“ im positiven Bereich lag. Beide Produkte werden als sehr gut wahrgenommen, „VEO Lighting“ wird jedoch als signifikant angenehmer empfunden und liegt bei allen weiteren Wortpaaren im Bereich ATT leicht vorn.

Obwohl die uneindeutiger bewertete pragmatische Qualität (PQ) die Attraktivität (ATT) gegenüber der hedonischen Qualität in etwas gleich beeinflusst, ist die Steigerung der Attraktivität durch „VEO Lighting“ deutlich und signifikant, was darauf schließen lässt, dass die hedonische Qualität und die darin enthaltenen ästhetischen Gesichtspunkte für den Nutzer eine nicht unerhebliche Rolle spielen.

6. Zusammenfassung

Die Evaluation der beiden Visualisierungsformen „VEO Lighting“ und „VEO Classic“ hat gezeigt, dass die hedonische Qualität der implementierten, optisch plausiblen Visualisierung gegenüber der OpenGL Lighting Darstellung deutlich positiver ausgeprägt war und die Attraktivität trotz der nicht eindeutig bewerteten pragmatischen Qualität insgesamt für den Nutzer gesteigert wurde. Die Antworten zu den Fragen nach dem subjektiven Empfinden der Nutzer lassen somit bei „VEO Lighting“ auf eine noch positivere User Experience schließen.

Eine von Norman getätigte und häufig zitierte Aussage „use a pleasing design, one that looks good and feels, well, sexy, and the behavior seems to go along more smoothly, more easily, and better“ (Norman, 2002) beschreibt hier die Bedeutung der hedonischen Qualität und ihre ästhetischen bzw. emotionalen Aspekte hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit. Eindrucksvolle User Interface Designs und Darstellungen steigern auch die Benutzerfreundlichkeit. Ein Zusammenhang, auf den in dieser Studie die Bewertung des Wortpaares „technisch – menschlich“

im Bereich der pragmatischen Qualität hinweist. Diesen Zusammenhang gilt es für den in diesem Beitrag verwendeten Anwendungsfall durch weitere Studien zu belegen.

Literatur

1. IDO/DIS 9241-210 (2009): „Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human centered design for interactive systems“. International Organization for Standardization.
2. DIN EN ISO 9241-11 (1998): Ergonomic requirements for office work with display terminals (VDTs) – Part 11, Guidance on usability. Genf: International Organization for Standardization
3. Hassenzahl, M., Platz, A., Burmester, M., Lehner, K. (2000): Hedonic and Ergonomic Quality Aspects Determine a Software's Appeal. In: Proc. CHI 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press. S. 201-208
4. Hassenzahl, M. (2001): The Effect of Perceived Hedonic Quality on Product Appealingness. In: International Journal of Human-Computer Interaction 13(4), S. 481-499
5. Hassenzahl, M., Burmester, M., Koller, F. (2003): AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Ziegler, J., Szwillus, G. (Hrsg.): Mensch & Computer 2003, Interaktion in Bewegung. Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner, S.187-196
6. Hatscher, M. (2001): Joy of use – Determinanten der Freude bei der Software-Nutzung. In: Ergonomics, 46. S. 1273-1293
7. Kasik, D., Brüderlin, B., Heyer M., Pfützner S. (2007): Visibility-guided rendering to accelerate 3D graphics hardware performance. In SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 courses, USA – New York.
8. Norman, D. A. (2002): Emotion and design: Attractive things work better. Interactions Magazine, ix (4), S. 36-42
9. Norman, D. A. (2004): Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books
10. Peschel, F., Scheer, F. (2010): Interactive Plausible Illumination for the Digital Factory. Joint Virtual Reality Conference of EuroVR – EGVE – VEC 2010, Stuttgart
11. Peschel, F., Scheer, F. (2011): Plausible Visualization of the Dynamic Digital Factory with Massive Amounts of Lights. 19th WSCG International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2011, Czech Republic, Plzen
12. Peschel, F. (2010): Optisch plausible Beleuchtungssimulation interaktiver Mass-Data-Szenarien, Diplomarbeit. Daimler AG & Universität Koblenz-Landau
13. Sarodnick, F., Brau, H. (2006): Methoden der Usability Evaluation. Bern: Hans Huber Verlag
14. Scheer, F., Keutel, F. (2010): Screen Space Ambient Occlusion for Virtual and Mixed Reality Factory Planning. In: Journal of 18th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2010 (WSCG), Vol. 18, No. 1-3
15. Wallace, Jayne S., Press, M. (2004): All This Useless Beauty; Finding Beauty through Craft in Digital Technology. Pixel Raiders 2 Conference, Sheffield