

Finishing Perspective (Endbehandlung Perspektive)

Ingmar S. Franke, Mario Linke, Christian Bendicks und Rainer Groh

1 Einleitung und Motivation

Vor dem Hintergrund des Konferenzrahmens: Entwerfen, Entwickeln, Erleben möchten wir dem Leser den **Entwurf** unseres geometrischen Ansatzes einer Objekt-basierten Perspektivischen Optimierung (OPO), das **Entwickeln** unseres computergrafischen Algorithmus und das **Erleben** und Arbeiten im Designentscheidungsprozess nahebringen. Den OPO-Algorithmus vergleichend wollen wir einen zweiten Ansatz, eine Kamera-basierte Perspektivische Optimierung (KPO), darlegen.

Unser konkretes Anliegen ist es, **Designentscheidungsprozesse** zu **unterstützen**, indem wir digitale und analoge Mittel und Werkzeuge optimieren und zusammenbringen. Das heißt, nicht nur optimierte computergrafische Algorithmen, sondern auch ein design-gerechtes Verhalten des Betrachters vor einer Bildfläche sind entscheidend. Je nach Rolle des Betrachters (Entscheider, Designer, Präsentator, Moderator) liegen spezifische Rahmenbedingungen, Handlungs- sowie Arbeitsabläufe im Designentscheidungsprozess vor.

Dem designorientierten Betrachter soll die virtuelle Szene weitestgehend realistisch erscheinen. Einerseits befindet sich der Betrachter im Zentrum des Visualisierungssystems. Andererseits liegt das zu gestaltende Objekt im Fokus des Designers. **Designer und Objekt befinden sich in einem Dialog, wobei Proportion und Orientierung** virtueller Objekte für das wahrnehmungsrealistische Empfinden von Wichtigkeit sind (siehe Abbildung).

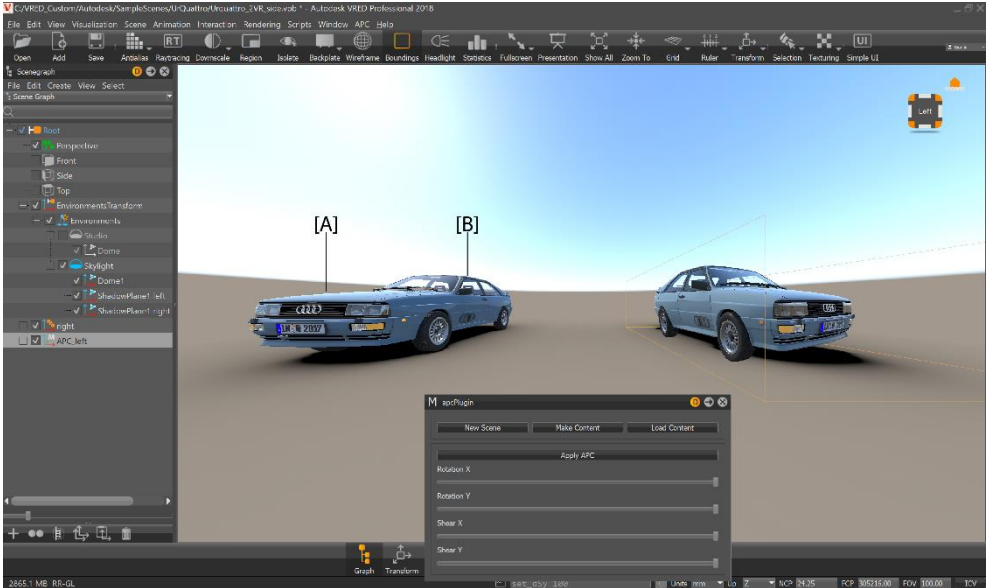


Abbildung 1: Gegenüberstellung von „unnatürlich“ wirkendem Abbild (links) und „optimiertem“ Abbild (rechts) ein und desselben geometrischen Modells, bei einem symmetrischen Kameraöffnungswinkel von 100° , mittels Autodesk VRED™, Python Plug-In (Audi AG).

Wahrnehmungsrealismus heißt das Berücksichtigen der visuellen Wahrnehmung des Menschen als Teil des Bildentstehungsprozesses (Rendering Pipeline). Zur Projektion von Objekten auf die Bildebene dient gewöhnlich die zentralperspektivische Projektion unter Verwendung des einfachen Kameramodells in der Computergrafik, das der frühen Camera Obscura nachempfunden ist (Alberti, 2002). In diesem Standard-Kameramodell werden der Betrachter und dessen Wahrnehmung übergangen. Die Grenzen der perspektivischen Projektion werden erkennbar, sobald sich Objekte abseits der Blickrichtung befinden (Yankova & Franke, 2008a), (Steinicke, Bruder & Kuhl, 2010). Diese Objekte „leiden“ in der Regel unter Verzerrungen – in der Gestaltung spricht man unter anderem von perspektivischen Verzeichnungen. Eine gute Gestalt hingegen wirkt beim Betrachter nach. Neueste Erkenntnisse lassen verlauten, dass bei der visuellen Wahrnehmung einer ästhetischen Gestalt zusätzliche Gehirnareale aktiviert werden (Belfi et al., 2019).

Monoperspektivische Darstellungen, damit sind Abbilder durch Zentralprojektionen gemeint, die lediglich ein Projektionszentrum beziehungsweise Augpunkt besitzen, sind aufgrund der Projektionsvorschrift mehr oder weniger starken Proportionsveränderungen unterworfen (siehe Abbildung). Solche perspektivischen Verzeichnungen erschweren den Vergleich von Objekten untereinander – beispielsweise im Designentscheidungsprozess. Zentralprojektionen mit nur einem Projektionszentrum erschweren eine objektive Bewertung der Produktgestalt (Franke, Pannasch, et al., 2008). Das Standard-Kameramodell ist mit den Problemen wahrnehmungsrealistischer Darstellung ursächlich verbunden.

Für die Problemlösung erläutern wir den Einfluss der sogenannten **Multiperspektive**. Mit einer multiperspektivischen Darstellung, damit meinen wir die Verwendung von mehreren Projektionszentren beziehungsweise Augpunkten, kann perspektivischen Verzerrungen entgegengewirkt werden (Franke et al., 2007). Zu diesem Zweck stellen wir zwei Verfahren zum Erzeugen von multiperspektivischen Bildern vor, die beim Betrachten auf einem flachen Ausgabemedium realistische räumliche Eindrücke erwecken. Bei unserem Optimierungsansatz des Abbildungsverfahrens besteht für den Betrachter die Option, zwischen zwei Konstellationen bezüglich der Ausrichtung abzubildender Objekte zu entscheiden, was sich aus unserem Ansatz zur Optimierung der Perspektive ergibt (siehe Abbildung).

Die Relevanz einer perspektivischen Optimierung für das Automobile Design (Exterieur) lässt sich vor allem wie folgt begründen: Im Bereich der Visualisierung von Produktentwürfen kommen großflächige Displays und damit weitwinklige Abbildungen zum Einsatz, beispielweise Visualisierungen auf sogenannten Powerwalls. Diese und vergleichbare Visualisierungstechnologien, wie ShowRooms, werden für Designentscheidungen herangezogen. Der Designentscheidungsprozess ist eine wichtige Aufgabe und ein Arbeitsablauf innerhalb der Entwicklung neuer Automobile. Visualisierungstechnologien, die in diesem Zusammenhang zum Einsatz kommen, müssen daher ein möglichst natürliches und realistisches Bild der zu visualisierenden Objekte bereitstellen. Eine Lösung ist die Multiperspektive.

2 Verwandte Arbeiten

Multiperspektivische Bildgebung ist ein Konzept der Visualisierung, um mehrere Ansichten eines Objekts oder einer dreidimensionalen Szene in ein Bild zu integrieren (Hockney, 2001; Rademacher & Bishop, 1998; Vallance & Calder, 2006; Yu & Mcmillan, 2004). Dabei sollte die Räumlichkeit einer dreidimensionalen Szene hinsichtlich ihrer Objektproportionen erhalten bleiben. Gleichzeitig sollten die kombinierten Ansichten für den Beobachter leicht erkennbar sein (Franke, Wojdziak & Kammer, 2013; Yu & Mcmillan, 2004). In dieser Hinsicht behaupten (Zorin & Barr, 1995), dass die Transformation von Objekten relevant ist, um wahrnehmungskonforme Bilder zu erzeugen. Kugelförmige Objekte müssen kreisförmig visualisiert werden, und Linien kubischer Objekte sollten in multiperspektivischen Bildern gerade sein (Groh, 2005; Ware, 1900). Der Ansatz von (Zorin & Barr, 1995) ermöglicht die Verringerung geometrischer Verzerrungen in computergenerierten und fotografischen Bildern, indem Sichttransformationen in einer Nachverarbeitungsphase des Rendering-Prozesses erstellt werden. Modifikationen auf der Bildebene werden von (Carroll, 2009) genutzt, um Formen und gerade Linien einer Szene beizubehalten, die vom Benutzer markiert werden. (Zelnik-Mannor, Peters & Perona, 2005) entwickelten ein Verfahren zum Erstellen von Panoramen aus Bildern, die von einem einzigen Blickpunkt aus aufgenommen wurden, ohne erkennbare Verzerrungen im Hintergrund und an Objekten. Ein weiterer Ansatz zur Erzielung der Multiperspektive besteht darin, das Standard-Kameramodell durch Verwendung eines Multiprojektions-Rendering-Algorithmus mit mehreren Kameras zu erweitern (Singh, 2002; Yu & Mcmillan, 2004; Yu, McMillan & Sturm, 2008). Das „endgültige“ Bild ist eine Komposition dieser Kameraansichten. (Agrawala, Zorin & Munzner, 2000) entwickelten ein Framework für die Wiedergabe multiperspektivischer Bilder aus dreidimensionalen Modellen auf der Grundlage räumlich unterschiedlicher Projektionen. Das Konzept von (Coleman & Singh, 2004) funktioniert auch mit mehreren Kameras. Im Gegensatz dazu wird das Bild aber von einer einzigen Master-Kamera gerendert. Die anderen Kameras, die auch als Lakaiken bezeichnet werden, definieren eine Verformung der Szenenobjekte. Die Transformation der Geometrie von Objekten oder die geänderte Ausrichtung von Teilen davon kann zur Erstellung von multiperspektiven Bildern verwendet werden.

3 Relevanz wahrnehmungskonformer Darstellung für die Kommunikation

Die **visuelle Wahrnehmung** feinsten Ausprägungen einer Gestalt beschränkt sich auf einen winzigen Bereich der Netzhaut. Die sogenannte Fovea Centralis deckt nur zwei Blickwinkel ab (Findlay & Gilchrist, 2003; Hunziker, 2006). Danach sind Bewegungen des Auges, des Kopfes und des Körpers notwendig, um die foveale Sicht dauerhaft auf Objekte auszurichten. Unter normalen Betrachtungsbedingungen ist das foveale Sehen von Objekten in der Nähe der peripheren Grenzen des Sichtfelds nicht möglich. Demzufolge ist der Betrachter mit der Form von Objekten in der Nähe der optischen Achse besser vertraut und sollte entsprechende Erwartungen an die Form von Objekten in perspektivischen Darstellungen richten.

Für eine effektive Kommunikation müssen gemeinsame konzeptionelle Grundlagen (Clark, 1996) und gemeinsame **Aufmerksamkeit** geschaffen werden. Zu diesem Zweck müssen die Teilnehmer einer gemeinschaftlichen Aktivität die Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und das Wissen der jeweils anderen Person ableiten. In interaktiven dreidimensionalen virtuellen Umgebungen kann der Benutzer häufig nicht auf das Sichtfeld und den Gegenstand der visuellen Aufmerksamkeit anderer schließen (Hindmarsh, Fraser, Heath, Benford & Greenhalgh, 2000). Geste, Haltung und Blickrichtung sind nützliche Indikatoren für gemeinsame Aufmerksamkeit, sozialen Status, kommunikative und soziale Absichten. Dies gilt für Mensch-zu-Mensch (Mehrabian, 1968; Tomasello, 2010) sowie für computervermittelte Kommunikation (Bailenson, Garland, Iyengar & Yee, 2006; Vinayagamoorthy, Steed & Slater, 2008). Zusammenfassend können wahrnehmungsrealistische Projektionsmethoden zum Realismus von Gestalt und Verhalten von Betrachtern beitragen.

4 Einschränkungen der perspektivischen Projektion in der Computergrafik

Das **Standard-Kameramodell** bildet in der Computergrafik eine virtuelle dreidimensionale Szene auf eine zweidimensionale Fläche ab. Das Modell orientiert sich, wie eingangs erwähnt, an den Regeln der Camera Obscura, das Ursprungsmodell optischer und virtueller Kameras. Die Transformation des virtuellen Raums auf die Bildebene der Kamera folgt den Gesetzmäßigkeiten der perspektivischen Projektion (Angel & Shreiner, 2012; Foley et al., 1990; Watt, 1993).

Das Abbild eines Objektes entsteht beim Abbildungsverfahren beziehungsweise beim Rendering-Prozess aus den Schnittpunkten der Bildebene mit allen Strahlen, ausgehend vom Projektionszentrum zu dreidimensionalen Punkten. Die Projektion ergibt eine perspektivische Ansicht entlang der Blickrichtung der Kamera. **Die Zentralprojektion behandelt alle abzubildenden Objekte gleich.** Als Konsequenz daraus erscheinen Objekte mit zunehmender Entfernung zur Blickrichtung im Bild gedehnt, das heißt „verzeichnet“. Insbesondere, wenn Objekte von einer geschlossenen gekrümmten (konvexen) Oberfläche umgeben sind (Groh, 2005, 2014) und mit einem großen Öffnungswinkel projiziert werden, wird diese Verzeichnung als unnatürlich angesehen (Franke, Pannasch, et al., 2008; Yankova & Franke, 2008b). Dieser Effekt ist deutlich erkennbar an Kugeln, Säulen oder eben auch Automobilen. (Ware, 1900) hat bereits Anfang des letzten Jahrhunderts eine Abhandlung aus Sicht der Architektur veröffentlicht, die eine gestalterische Lösung aufzeigt. Durch Zentralprojektion erzeugte abgebildeten Objekte zeigen eine räumliche Orientierung, die also nicht der **Erwartungshaltung** des Betrachters entspricht. Das meint, Objekte verfügen also nicht nur über eine **Position**, sondern besitzen auch eine **Ausrichtung im Raum**. Die Position und die Ausrichtung von Dialogobjekten im Sinne der Narration sind gestalterische Aspekte, die das Standard-Kameramodell bei der Abbildung derselben nur unzureichend berücksichtigen kann. Es ergeben sich **gestalterische Herausforderungen und Chancen** im Abbildungsprozess (Franke, Ulrich & Zitzmann, 2005).

5 Der künstlerisch gestalterische Ansatz aus Malerei und Architektur

Die Darstellung einer Gestalt hat in der bildenden Kunst eine lange Tradition. Insbesondere Malerei und Architektur haben sich „verschrieben“, die Proportionen und die Orientierungen von Objekten und Situationen **der Umwelt als Maßstab** anzunehmen und dies zu analysieren, um Regeln beziehungsweise Handlungsanweisungen zur Erzeugung **von natürlich wirkenden Darstellungen** zu schaffen. Ein genauerer Blick auf Regeln und historischen Konzepte dieser Künste scheint daher hilfreich zu sein, um neue Ansätze für computergestützte Visualisierungsmethoden zu identifizieren.

Ein wichtiger Aspekt im gestalterischen Bestreben ist es, die Wirklichkeit möglichst realistisch abzubilden. Dazu eignen sich Motive, wie beispielsweise

Menschen in Landschaften oder von/in Gebäuden. Künstler, wie Leonardo da Vinci (da Vinci, 1925), Albrecht Dürer (Dürer, 1525), Leon Battista Alberti (Alberti, 2002) haben etliche wissenschaftsähnliche Abhandlungen verfasst. Ein berühmtes Beispiel wurde unter anderem von Leonardo da Vinci vorgestellt. Sein "Der Vitruvianische Mensch" (1492) veranschaulicht die Zusammensetzung des menschlichen Körpers anhand geometrischer Proportionen (Vitruvius, 1964). Weiterführende Analysen von Gemälden aus der **Renaissance** zeigen, dass die Künstler mit den gleichen Herausforderungen konfrontiert waren, wie die gegenwärtige Computergrafik bei der Abbildung einer dreidimensionalen Szene auf eine zweidimensionale Ebene (Groh, 2005). Die Regeln für die Abbildungsvorschrift dreidimensionaler Inhalte basieren auf der perspektivischen Projektion. Dass das - wie so oft vermeintlich angenommen - nicht erst seit der Renaissance so ist, zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse aus der (griechischen) **Antike**, wo realistische Perspektive bereits in zahlreichen bildhaften Werken und in der Architektur zu finden sind (Breitling, 2003; Franke, 2015; Spiteris, 1966). Zur Analyse des „menschlichen Faktors“ und seiner Anwendbarkeit in computergenerierten Bildern wird durch Martin Zavesky und anderen unter anderem das Bild „Der Zinsgroschen“ von Masaccio (1428) diskutiert (Wojdziak, Zavesky, et al., 2011; Zavesky et al., 2011). Zur Analyse des „menschliche Faktors“ und seiner Berücksichtigung in architektonischen Bauwerken sei an dieser Stelle auf einen Beitrag von Ingmar Franke zum Parthenon, dem Tempel auf der Athener Akropolis, verwiesen (Franke, 2015). Ein weiteres Beispiel ist die bewusste Deformierung von Stifterfiguren in großen Kirchen, die weit oberhalb des Betrachters platziert werden sollten. Häufig wurden deren Köpfe als Ellipsoid modelliert, vertikal gedehnt. Von unten erscheint deren Kopfform normal ausgeprägt (Franke, 2015).

Zwischen Bildern, Gemälden, Architekturen einerseits und computergenerierten Abbildern von dreidimensionalen Geometrien andererseits besteht jedoch ein entscheidender Unterschied. Erstgenannte Werke sind direkt vom Menschen geschaffen. Ein Computersystem hingegen berechnet ein Abbild nach mathematischen Projektionsregeln. Künstler integrieren ihren „menschlichen Faktor“ in Bildern, weil sie Bilder auf Basis ihrer visuellen Erfahrungen, gesammelten Eindrücke und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen regelrecht komponieren beziehungsweise montieren - das meint

beispielsweise verschiedene Perspektiven, Blicke oder Ansichten, zeitliche Zustände, Geschichten oder Bedeutungserweiterungen (Märe) in Bildwerke zu implementieren.

6 Modellvisualisierung für den Designentscheidungsprozess

Die zuvor ausgeführten Erkenntnisse und Regeln gelten in gleicher Weise bei der Visualisierung, beispielsweise in der Automobilindustrie und hier insbesondere mit Blick auf den Designentscheidungsprozess. Die folgende Bildmatrix gibt einen Überblick (siehe Tabelle). Die Fahrzeuge werden im Abbildungsverfahren unterschiedlich behandelt. Es scheint so, dass sich die Kamera bei der Abbildung einiger Fahrzeuge zugewandt hat, da im Ergebnisbild nur wenige perspektivische Verzeichnungen zu erkennen sind. Die Lösung ist, dass diese Abbilder ein eigenes Projektionszentrum besitzen, das sich an der Gestalt des abzubildenden Fahrzeugs orientiert. Daher ist das Gesamtabbild als multiperspektivisch anzusehen. Die durch Automobildesigner entworfenen Proportionen und damit Gestalt des Fahrzeuges bleibt weitestgehend erhalten – die abgebildete Form des Fahrzeuges besitzt durch die multiperspektivische Visualisierung eine gestalterische Kohärenz. Fahrzeuge, die ohne eigenes Projektionszentrum visualisiert werden, enthalten dagegen perspektivische Verzeichnungen. Die Optimierung der Perspektive eröffnet darüberhinausgehend die Möglichkeiten, die Fahrzeuge an einer Linie oder kreisförmig auszurichten (siehe Tabelle 1).

Um eine **Vergleichbarkeit der Form und Gestalt** zu gewährleisten, basieren die Fahrzeuge auf ein und derselben dreidimensionalen Datengrundlage. Insbesondere die seitlichen Anteile des einen verzerrten Fahrzeuges, der Frontbereich [A] und Seitenbereich [B], sind von perspektivischen Verzeichnungen betroffen (markiert, siehe Abbildung 1). Dieser monoperspektivische Bildanteil, also das „verzeichnete“ Fahrzeug ist im mathematischen Sinn zwar „korrekt“ abgebildet, aber der visuelle Eindruck ist, ein „unnatürliches“ Bild zu betrachten, was zu Ablehnung führt (Franke, Pannasch, et al., 2008; Yankova & Franke, 2008b). Ein wesentliches Merkmal des Designprozesses unter Verwendung von Visualisierungssystemen sollte demzufolge die Verwendung von multiperspektivischen Abbildungsverfahren sein, um wahrnehmungrealistische Bilder für den Designentscheidungsprozess bereitzustellen.



















| | | | |
|------|---|---|---|
| [D1] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 |
| [D2] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=1; Rxy=1 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=1; Rxy=1 |
| [D3] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=1; Rx=1; Ry=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=1; Rx=1; Ry=0 |
| [F1] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 |
| [F2] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=1; Rxy=1 |
| [F3] |  |  |  |
| | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=0; Rxy=0 | OPO: Sxy=1; Rx=1; Ry=0 |

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Abbildungsergebnissen - perspektivisch „verzeichnet“ und optimiert. Kameraöffnungswinkel $FoV_h=100^\circ$; von der optischen Kamera auslenkte Objekte jeweils in der Lage: $h=+/-31^\circ$; $v=+9^\circ$, ansonsten bei 0° . Standort des Betrachters: mittig vor dem Bild. Auge auf einer Höhe von 1.8m. Technologie Autodesk VRED™, Python OPO-Plug-In.

7 Umsetzung der Multiperspektivischen Bildgebung in der Computergrafik

Im letzten Abschnitt wurde die Multiperspektive als Lösung für die Erstellung wahrnehmungsnaher Bilder im Design hervorgehoben. Die Anwendbarkeit in der Computergrafik impliziert eine Modifikation des Standard-Kameramodells in der Computergrafik, da eine einzelne Betrachtungstransformation die Anforderungen der multiperspektivischen Bildgebung nicht erfüllen kann. Ansätze zur Beeinflussung des Ergebnisses des Bilderzeugungsprozesses können aufgezeigt werden. Diese müssen die Anforderungen für das multiperspektive Rendern einer dreidimensionalen Szene erfüllen.

Die folgenden zwei Unterabschnitte beziehen sich auf Ansätze des multiperspektiven Renderns und der Anpassung von Techniken, die zuvor von Malern und Künstlern eingesetzt wurden. Es werden zwei Algorithmen im Detail vorgestellt, um dreidimensionale Szenen zu visualisieren, die wahrnehmungsrealistisch auf Betrachter wirken. Zunächst wird ein Objekt-basierter Algorithmus (OPO) eingeführt, der die Geometrie von Objekten manipuliert. Anschließend wird ein Kamera-basiertes Optimierungserfahren (KPO) zur Erstellung multiperspektivischer Bilder vorgestellt (Franke, 2015). Beide Ansätze werden einem Vergleich unterzogen.

7.1 Objekt-basierte Perspektivische Optimierung (OPO)

Die algorithmische Lösung zur perspektivischen Optimierung, die das Konzept der multiperspektivischen Bildgebung umsetzt, wurde in (Franke, 2015; Franke et al., 2007) vorgestellt. Die Technik gehört zur Klasse der geometrischen Modifikationen. Das Verfahren wurde auf abstrakte Objekte wie Kugeln und Säulen angewendet. Es wird als Objekt-basierte Perspektivische Optimierung (OPO) bezeichnet und ist vom Ansatz der Kamera-basierten Perspektivischen Optimierung zu unterscheiden, die anschließend beschrieben ist. Der Objekt-basierte Algorithmus führt affine Transformationen durch, um die Geometrie von Objekten direkt zu ändern. Diese Objekte (sogenannte Dialogobjekte nach (Groh, 2005)) werden so visualisiert, dass ihre Proportionen auf der Bildebene weniger verzeichnet erscheinen. Mit diesem Verfahren können nur die Objekte beeinflusst werden, die selektiv von einer perspektivischen Verzerrung betroffen sind. Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes ist, dass das Standard-Kameramodell aus der Computergrafik zum

Erstellen von Bildern verwendet werden kann. Es ist nicht notwendig, mehrere Ansichten zu rendern, wie dies bei bildbasierten Lösungen der Fall ist (Agrawala et al., 2000; Zorin & Barr, 1995). Um den multiperspektivischen Ansatz von Malern und Künstlern zu imitieren (Franke, 2015; Groh, 2005; Hockney, 2001), werden Rotations- und Scherungstransformationen verwendet.

Die wesentlichen Schritte des objektorientierten Algorithmus können zusammengefasst werden (Franke, 2015):

1. Bestimme den Objektschwerpunkt im lokalen Kamerakoordinatensystem.
2. Berechne aus dieser relativen Lage zur Kamera die Scherungsfaktoren.
3. Berechne die Rotationswinkel.
4. Drehe bezüglich der Rotationswinkel das Objekt um die x- und y-Achse.
5. Führe eine Schertransformation mit Hilfe der Schermatrix durch, die sich aus den zuvor berechneten Scherfaktoren ergibt.

Die somit visualisierten peripheren Objekte werden aufgrund ihrer einzelnen zusätzlichen Hauptfluchtpunkte weniger verzeichnet dargestellt. Durch das Optimieren der Abbildungsvorschrift einzelner Objekte werden die Perspektiven in eine ursprüngliche monoperspektivische Szenenansicht eingebettet. Das Bild der dreidimensionalen Szene wird multiperspektivisch dargestellt, da jede Gestalt ihre eigene Perspektive besitzt. Daher werden die Proportionen der Gestalt in korrekten Beziehungen visualisiert und die Ausrichtung der Dialogobjekte wird angepasst, um der visuellen menschlichen Erfahrung gerecht zu werden. Die OPO, die auf geometrischen Änderungen basiert, ist jedoch nur ein Ansatz. Ein anderes Verfahren wird nachfolgend angerissen (Franke, 2015).

7.2 Kamera-basierte Perspektivische Optimierung (KPO)

Der Rendering-Prozess ermöglicht die Modifikation der Projektionsebene als ein alternatives Verfahren zum Erzeugen wahrnehmungsangepasster Bilder, die auf mehreren Perspektiven basieren. Die Kamera-basierte Perspektivische Optimierung (KPO) wird durch die Verwendung mehrerer Kameras erreicht, die nach vordefinierten Regeln kombiniert werden. Als Vorbild dienen

wiederum Gemälde der Maler der Renaissance. Mehrere Kameras simulieren die sukzessive Verschiebung der menschlichen Aufmerksamkeit. Der Algorithmus erstellt ein Kamera-Netzwerk, das aus einer Masterkamera und mehreren Objektkameras besteht. Die Objektkameras übernehmen die Parameter der Masterkamera. Die Blickrichtung einer Objektkamera „ahmt“ die jeweilige Blickrichtung des Betrachters nach. Jede Objektkamera rendert ein zugewiesenes Objekt oder einen Teil der dreidimensionalen Szene. Das Ergebnisbild besteht aus den gerenderten Einzelbildern jeder Kamera, sortiert nach der Szenentiefe der entsprechenden Objekte.

Beim Verschieben und Drehen der Masterkamera muss jede Objektkamera in Bezug auf die Position der Masterkamera im virtuellen Raum aktualisiert werden. Das betrifft sowohl die Position, die Ausrichtung und die Abbildungsreihenfolge.

Die wesentlichen Schritte des Kamera-basierten Algorithmus sind hier zusammengefasst (Franke, 2015):

1. Erstelle eine Objektkamera und weise ihr ein Objekt zu.
2. Richte die Objektkamera auf den Objektschwerpunkt aus.
3. Verschiebe die Bildebene in Richtung des Objektes.
4. Berechne die ursprüngliche Position des Objektes auf der Bildebene der Systemkamera in Bildkoordinaten.
5. Verschiebe das Objektbild an die zuvor berechnete Stelle.
6. Sortiere die Bildebenen nach der Tiefe.

Dementsprechend sind auch diese computergenerierten Bilder multiperspektivisch **und erzeugen auf diese Weise einen realistisch wirkenden, räumlichen Eindruck.**

7.3 Vergleich der beiden Ansätze, OPO und KPO

Ziel beider Verfahren ist es, computergrafische Algorithmen bereitzustellen, die perspektivische Verzerrungen vermeiden, damit sich ein ungestörter Dialog zwischen Betrachter und betrachtetes Objekt etablieren kann. Durch Anwendung der perspektivischen Optimierung bleiben die Proportionen der Dialogobjekte im räumlichen Gesamtkontext auch bei großen Kameraöffnungswinkeln erhalten.

Bei der Wahl der Parameter ergeben sich gestalterische Spielräume, siehe Tabelle 1. für OPO. Zeile D3 lässt die Fahrzeuge links und rechts der Bildmitte in den richtigen Proportionen und einer geradlinigen Aufreihung erscheinen. Zeile D2 lässt die Fahrzeuge links und rechts der Bildmitte in den richtigen Proportionen und am Betrachter ausgerichtet erscheinen. Es werden unterschiedlich räumliche Konstellationen zwischen den Dialogobjekten ermöglicht, die für eine Designbewertung herangezogen werden können. Die Lösungsansätze (OPO und KPO) liefern bis auf Überdeckungssituationen dieselben Resultate. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile der beiden Optimierungsverfahren erläutert.

Der Algorithmus zur OPO verwendet eine nicht modifizierte Kamera, um multiperspektivische Bilder zu erstellen. Die geometrischen Transformationen werden ausschließlich an Szenenobjekten ausgeführt. Die Anwendbarkeit ist auch in Echtzeitanwendungen gewährleistet. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit einer uneingeschränkten geometrischen Transformation von Objekten. Es ist möglich, die Schritte Scherung und Rotation unabhängig voneinander einzustellen. Die Einstellbarkeit dieser Transformationsschritte kann nützlich sein, um das Verhältnis und die Ausrichtung von Dialogobjekten in Bezug auf den Szenenkontext anzupassen. Zum Beispiel müssen einige Szenenkonfigurationen unerwünschten Schnittpunkten von Objekten entgegenwirken.

Im Gegensatz zur OPO ist die KPO restriktiver. Ihre Parameter sind weniger flexibel. Die funktionale Abhängigkeit vom Kamerasystem erlaubt nur eine absolute Anpassung. Eine einstellbare Manipulation von Proportion und Orientierung von Dialogobjekten ist nicht möglich. Trotzdem ermöglicht die Methode der KPO, die Eigenschaften auf eine wahrnehmungsorientierte Weise zu korrigieren. Daher kann das Verfahren der KPO in virtuellen Welten verwendet werden, um die Kommunikation zwischen Betrachter und Dialogobjekt zu unterstützen. Die KPO verursacht wesentlich weniger Objektdurchdringungen als die OPO (Franke & Zavesky, 2018).

Der Vergleich zeigt, dass beide Algorithmen, OPO und KPO, geeignet sind, um wahrnehmungsrealistische Bilder zu erzeugen. Beide Verfahren ergänzen sich in wesentlichen Teilen. Sie können gleichzeitig für verschiedene Objekte in virtuellen Szenen ohne gegenseitige Störung verwendet werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Mit vorliegendem Beitrag wurden Methoden der Computergrafik zur Erzeugung von wahrnehmungsrealistischen Bildern dreidimensionaler Szenen präsentiert und verglichen. Der Wahrnehmungsrealismus wird als Begriff definiert und erreicht, indem multiperspektivische Bilder erstellt werden, die auf den Regeln der perspektivischen Projektion basieren, die durch Merkmale der visuellen Wahrnehmung und Techniken der Renaissance-Malerei beziehungsweise der Antik-Architektur verstärkt werden. Die multiperspektivische Bildgebung wurde für eine wahrnehmungskonforme Darstellung am Beispiel der Automobilindustrie mit Blick auf Designentscheidungsprozesse eingesetzt.

Es werden multiperspektivische Rendering-Techniken als wertvolle Methoden identifiziert, um von Malern, Künstlern und Baumeistern verwendete Techniken in die dreidimensionale Computergrafik zu integrieren und für moderne Designentscheidungsprozesse anzubieten. Das Ziel sind wahrnehmungsrealistische Bilder, das heißt, in ihrer geometrischen Gestalt natürlich wirkende Visualisierungen. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen bezüglich perspektivischer Optimierungen in Abhängigkeit von der Form eines Objekts und seines Szenenkontexts ermöglichen die vorgestellten Algorithmen, OPO und KPO, eine individuelle Optimierung bestimmter Objekte, um die räumliche Kohärenz und Verständlichkeit der projizierten Szene zu verbessern.

Nach Analysen von Bild- und Bauwerken sowie des Standard-Kameramodells werden wichtige Themen im Zusammenhang mit der Computergrafik beschrieben. Das Szenario dialogorientierter Objekte in virtuellen Szenen, in dem eine angemessene Darstellung von Proportionen und Orientierung von besonderer Bedeutung ist, wurde gewählt, um die Vorteile von wahrnehmungsrealistischen Bildern zu unterstreichen. Es wurden zwei Methoden zum Erstellen multiperspektivischer Bilder eingeführt: eine Objekt-basierte und eine Kamera-basierte perspektivische Optimierung (OPO, KPO). Beide Verfahren unterscheiden sich zwar in ihrer Vorgehensweise, um Verzerrungen der Gestalt zu beheben, dennoch erzielen sie qualitativ sehr ähnliche, wahrnehmungsrealistische Bilder. Jedes Verfahren muss entsprechend des Kommunikationsumfeldes und vor dem Hintergrund der konkreten Kommunikationsziele ausgewählt und angepasst werden.

Die Objekt-basierte und die Kamera-basierte Perspektivische Optimierung (OPO, KPO) erzeugen individuelle wahrnehmungsrealistische Abbilder von dreidimensionalen Objekten. Der Kontext der Szene – sowohl der virtuelle als auch der reale – wird jedoch weder durch die OPO noch durch die KPO automatisch berücksichtigt. Der nächste Schritt wird die Erweiterung der Algorithmen basierend auf der Gesamtsituation sein. Damit sind sowohl der Aufbau der virtuellen Szene (bspw. zwei, drei oder mehrere Automobile) als auch der Betrachter oder Gruppen von Betrachtern (bspw. Designentscheidung) vor dem Display gemeint. Dabei muss unter anderem die perzeptuelle Neigung zu multiperspektivischen Bildern in computervermittelten Kommunikationsumfeldern durch empirische Anwenderstudien belegt werden. Es ist notwendig, systematisch die Wirksamkeit der OPO und KPO sowie Betrachtungsstandorte und Betrachtungsgegenstände zu vergleichen. Die analysierten Defizite bei nicht wahrnehmungsrealistischen Visualisierungen finden sich in verschiedenen Anwendungen. Das allgemeine Konzept der perspektivischen Optimierung (gilt für OPO und KPO) kann alle Arten von Visualisierungssystemen verbessern, Es eignet sich für Kontexte, die einen großen Sichtbereich und eine hohe Vergleichbarkeit aller Objekte gleichzeitig erfordern, wie dies bei Designentscheidungsprozesse vorliegt. Eine Studie im Werk der Audi AG ist angedacht und stellt einen Ausblick der Kooperation von uns dar.

Literaturverzeichnis

- Agrawala, M., Zorin, D. & Munzner, T. (2000). Artistic Multiprojection Rendering. Proceedings of the Eurographics Workshop Rendering Techniques 2000 (26. - 28. Juni 2000, Brno) (S. 125–136). Gehalten auf der Eurographics Workshop Rendering Techniques 2000, Springer-Verlag.
- Alberti, L. B. (2002). Über die Malkunst = Della pittura. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Angel, E. & Shreiner, D. (2012). Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL. (6.). Boston: Addison-Wesley.
- Bailenson, J. N., Garland, P., Iyengar, S. & Yee, N. (2006). Transformed Facial Similarity as a Political Cue: A Preliminary Investigation. *Political Psychology*, 27(3), 373–385.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9221.2006.00505.x>
- Belfi, A. M., Vessel, E. A., Brielmann, A., Isik, A. I., Chatterjee, A., Leder, H. et al. (2019). Dynamics of aesthetic experience are reflected in the default-mode network. *NeuroImage*, 188, 584–597.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.12.017>

- Breitling, S. (2003, April 22). Bauformen und Baustile - Bauformen in der Griechischen Antike (Veranstaltungs-Dokumentation). Zugriff am 6.11.2013. Verfügbar unter: http://baugeschichte.a.u-berlin.de/bg/lehre/veranstaltung_dokumentation.php?det_id=146&veranst_id=48&veranstaltung=vorlesung&semester=
- Carroll, F. (2009). Aesthetic-Interaction: Exploring the Importance of the Visual Aesthetic in the Creation of Engaging Photorealistic VR Environments. Theory and Practice of Computer Graphics. Gehalten auf der Theory and Practice of Computer Graphics 2009, Cardiff University, United Kingdom: The Eurographics Association. <https://doi.org/10.2312/LocalChapterEvents/TPCG/TPCG09/181-188>
- Clark, J. M. (1996). Contributions of Inhibitory Mechanisms to Unified Theory in Neuroscience and Psychology. *Brain and Cognition*, 30(1), 127–152. <https://doi.org/10.1006/brcg.1996.0008>
- Coleman, P. & Singh, K. (2004). Ryan: Rendering Your Animation Nonlinearly Projected. Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR'04, 7.-9. Juni 2004, Annecy) (S. 129–156). Gehalten auf der 3rd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR'04), New York: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/987657.987678>
- Dürer, A. (1525). *Underweysung der Messung mit dem Zirkel und Richtscheyt*. Nürnberg: Hieronymus Andreae.
- Findlay, J. M. & Gilchrist, I. D. (2003). *Active Vision: The Psychology of Looking and Seeing*. Oxford: Oxford University Press.
- Foley, J. D., van Dam, A., Feder, S. K. & Hughes, J. F. (1990). *Computer Graphics: Principles and Practice*. (Addison-Wesley Systems Programming Series) (2.). Reading [u. a.]: Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Franke, I. S. (2015). *Untersuchungen zum Wahrnehmungsrealismus von Abbildern und Bildern: computergrafische Optimierungsansätze im Spannungsfeld von bildhafter Gestaltung, virtueller Architektur und visueller Wahrnehmung*. Dresden: TUDpress.
- Franke, I. S. & Bendicks, C. (2018, Dezember). Tutorial für das EPK-Plug-in – Ein Werkzeug zur Erstellung wahrnehmungskonformer Abbildungen in 3D-Visualisierungssoftware VREDTM. Gehalten auf der Projektpräsentation, Ingolstadt.
- Franke, I. S., Pannasch, S., Helmert, J. R., Rieger, R., Groh, R. & Velichkovsky, B. M. (2008). Towards Attention-Centered Interfaces: An Aesthetic Evaluation of Perspective with Eye Tracking. *Journal of the ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP)*, New York, 4(3), 1–13. <https://doi.org/portal.acm.org/citation.cfm?doid=1386109.1386111>
- Franke, I. S., Ulrich, A. & Zitzmann, M. (2005). An Approach Overcoming the Distance between Cyber and Culture. Proceedings of the 3rd Global Conference Cybercultures - Exploring Critical Issues

- (Cybercultures'03, 11. - 13. August 2005, Prague). Gehalten auf der 3rd Global Conference Cybercultures - Exploring Critical Issues (Cybercultures'03), Prague: Inter-Disciplinary Press. Verfügbar unter: <http://www.inter-disciplinary.net/critical-issues/cyber/cybercultures/project-archives/3rd/>
- Franke, I. S., Wojdziak, J. & Kammer, D. (2013). Gestenbasierte Interaktion in koordinierten multiplen Sichten. (M. Schenk, Hrsg.), Tagungsband: 16. IFF-Wissenschaftstage 18.-20. Juni 2013 und 10. Fachtagung »Digital Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme«, 213–220.
- Franke, I. S. & Zavesky, M. (2018). Perspektivkontrast Kp - Zur Relevanz von Proportion und Ausrichtung für computergrafische Visualisierungen. Beyond Rendering - Tagungsband zur 8. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Geometrie und Grafik 2012 in Berlin (Seiten 48-63). Dresden: qucosa - Technische Universität Dresden, Dresden. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-237679>
- Franke, I. S., Zavesky, M. & Dachselt, R. (2007). Learning from Painting: Perspective-Dependent Geometry Deformation for Perceptual Realism. In B. Fröhlich, R. Blach & R.J. van Liere (Hrsg.), Proceedings of the 13th Eurographics Symposium on Virtual Environments 2007 and the 10th Immersive Projection Technology Workshop (IPT-EGVE 2007, 15. - 18. Juli 2007, Weimar) (S. 117–120). Weimar: Eurographics Association in Cooperation with Institute of Computer Graphics & Knowledge Visualization at Graz University of Technology and Institute of Scientific Computing at Technical University at Brunswick.
- Franke, I. S., Zavesky, M. & Wojdziak, J. (2008, Dezember). EPK Prototyp - Erweiterung des Präsentationsprogrammes „Autodesk Showcase“ um eine Komponente zur Erweiterten Perspektivischen Korrektur (EPK). Gehalten auf der Projektpräsentation, Ingolstadt.
- Groh, R. (2005). Das Interaktions-Bild: Theorie und Methodik der Interfacegestaltung. Dresden: TUDpress - Verlag der Wissenschaften.
- Groh, R. (2014). Ikonografie der Interaktion: Geschichte, Struktur und Funktion interaktiver Bilder. Dresden: TUDpress - Verlag der Wissenschaften.
- Hindmarsh, J., Fraser, M., Heath, C., Benford, S. & Greenhalgh, C. (2000). Object-focused interaction in collaborative virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(4), 477–509. <https://doi.org/10.1145/365058.365088>
- Hockney, D. (2001). *Secret Knowledge - Rediscovering the Lost Techniques of the Old Masters*. London: Thames & Hudson.
- Hunziker, H. W. (2006). *Im Auge des Lesers: vom Buchstabieren zur Lesefreude: foveale und periphere Wahrnehmung*. Zürich: Transmedia.

- König, N. (2005). *Gestalterisch geordnete Computergrafik - Transformationsprinzip in OpenGL*. Dresden: Professur Mediengestaltung, Institut für Software- und Multimediatechnik, Fakultät Informatik, Technische Universität Dresden (Diplomarbeit).
- Mehrabian, A. (1968). Some referents and measures of nonverbal behavior. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 1(6), 203–207. <https://doi.org/10.3758/BF03208096>
- Rademacher, P. & Bishop, G. (1998). Multiple-Center-of-Projection Images. *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '98, 19. -24. Juli 1998, Orlando)*(S. 199–206). Gehalten auf der 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '98), New York: ACM Press. <https://doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/280814.280871>
- Singh, K. (2002). A Fresh Perspective. *Proceedings of Graphics Interface (GI 2002, Online Papers)*(Band 152, S. 17–24). Calgary, Alberta. Verfügbar unter: <http://www.graphicsinterface.org/proceedings/2002/>
- Spiteris, T. (1966). *Griechische und Etruskische Malerei: Weltgeschichte der Malerei*. (Band 3). Lausanne: Editions Rencontre.
- Steinicke, F., Bruder, G. & Kuhl, S. (2010). Perception of Perspective Distortions of Man-Made Virtual Objects. In C. Grimm (Hrsg.), *Proceeding of the SIGGRAPH '10 Posters (SIGGRAPH '10, 7. - 11. August 2011, Vancouver)*(S. 94). Gehalten auf der SIGGRAPH '10, New York: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1836845.1836946>
- Tomasello, M. (2010). *Origins of human communication* (The Jean Nicod lectures) (1. MIT paperback ed.). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Vallance, S. & Calder, P. (2006). Rendering Multi-Perspective Images with Trilinear Projection. In V. Estivill-Castro (Hrsg.), *Computer Science 2006: Proceedings of the Twenty-Ninth Australasian Computer Science Conference (ACSC 2006, 16. - 19. Januar 2006, Hobart)*(Band 48, S. 227–235). Gehalten auf der Twenty-Ninth Australasian Computer Science Conference (ACSC 2006), Sydney: Australian Computer Society. Verfügbar unter: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1151699.1151725>
- Vinayagamoorthy, V., Steed, A. & Slater, M. (2008). The Impact of a Character Posture Model on the Communication of Affect in an Immersive Virtual Environment. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(5), 965–982. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2008.62>
- da Vinci, L. (1925). *Leonardo da Vinci: Traktat von der Malerei*. (M. Herzfeld, Hrsg., H. Ludwig, Übers.). Jena: Eugen Dietrichs.
- Vitruvius. (1964). *Zehn Bücher über Architektur: Lateinisch und Deutsch*. (C. Fensterbusch, Hrsg.). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG).
- Ware, W. R. (1900). *Modern Perspective a Treatise upon the Principles and Practice of Plane and Cylindrical Perspective*. New York, London: The Macmillan Company. Verfügbar unter: http://openlibrary.org/books/OL14365381M/Modern_perspective

- Watt, A. (1993). *3D Computer Graphics*. (2.). Wokingham, Suffolk [u. a.]: Addison-Wesley.
- Wojdziak, J., Kammer, D., Franke, I. S. & Groh, R. (2011). BiLL: An Experimental Environment for Visual Analytics. *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '11, 13. - 16. Juni 2011, Pisa)*(S. 259). Gehalten auf der 3rd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '11), New York: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1996461.1996533>
- Wojdziak, J., Zavesky, M., Kusch, K., Wuttig, D., Franke, I. S. & Groh, R. (2011). Figure Out Perspectives: Perceptually Realistic Avatar Visualization. *Proceedings of the Eighth International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications and Proceedings of the Twelfth International Conference on Computer Graphics and Imaging (IASTED2011, 16. - 18. Februar 2011, Innsbruck)*(S. 314). Gehalten auf der Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications and Conference on Computer Graphics and Imaging (IASTED2011), Anaheim: ACTAPRESS. <https://doi.org/10.2316/P.2011.722-006>
- Yankova, A. & Franke, I. (2008a). Angle of View vs. Perspective Distortion: A Psychological Evaluation of Perspective Projection for Achieving Perceptual Realism in Computer Graphics. *Proceedings of Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization (APGV'08, 9. - 10. August 2008, Los Angeles)*(S. 204–204). Gehalten auf der Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization (APGV'08), New York: ACM Press.
- Yankova, A. & Franke, I. (2008b). Angle of View vs. Perspective Distortion : A psychological evaluation of perspective projection for achieving perceptual realism in computer graphics. *Perspective*, 1(212), 59593–59593. <https://doi.org/10.1145/1394281.1394330>
- Yu, J. & Mcmillan, L. (2004). A Framework for Multiperspective Rendering. *Proceedings of 15th Eurographics Symposium on Rendering (EGSR'04, 21. - 23. Juni 2004, Norrköping)*(Band 15, S. 61–68). Gehalten auf der 15th Eurographics Symposium on Rendering (EGSR'04), Sweden: The Eurographics Association for Computer Graphics.
- Yu, J., McMillan, L. & Sturm, P. (2008). Multiperspective Modeling, Rendering, and Imaging (SIGGRAPH Asia '08). *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Courses*(S. 14:1–14:36). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1508044.1508094>
- Zavesky, M. (2006). *Die erweiterte perspektivische Korrektur - Ein geometrisches Verfahren zur dialogorientierten computergrafischen Abbildung dreidimensionaler Szenen*. Dresden: Professur Mediengestaltung, Institut für Software- und Multimediatechnik, Fakultät Informatik, Technische Universität Dresden (Große Belegarbeit).
- Zavesky, M., Wojdziak, J., Kusch, K., Wuttig, D., Franke, I. S. & Groh, R. (2011). An Individual Perspective - Perceptually Realistic Depiction Of Human Figures. In L. Mestetskiy (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications 2011 (VISAPP'11, 5. - 7. März 2011, Vilamoura)*(S. 313–319). Gehalten auf der International Conference on Computer

Vision Theory and Applications (VISAPP'11), Vilamoura: SciTePress - Science and Technology Publications.

Zelnik-Manor, L., Peters, G. & Perona, P. (2005). Squaring the circle in panoramas. *Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05) Volume 1* (S. 1292-1299 Vol. 2). Gehalten auf der Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05) Volume 1, Beijing, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2005.231>

Zorin, D. & Barr, A. H. (1995). Correction of Geometric Perceptual Distortions in Pictures. *Proceedings of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '95, 6. -11. August 1995, Los Angeles)* (S. 257–264). Gehalten auf der 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '95), New York: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/218380.218449>

Kontakt

Dr.-Ing. Ingmar S. Franke (Korrespondenz)
GTV – Gesellschaft für Technische Visualistik mbH, Dresden
Würzburger Str. 58
01187 Dresden
ingmar.franke@visualistik.de

Dipl.-Ing. Mario Linke
I/ED-4, Design Management & Design Strategie, Designzentrum, Audi AG
85045 Ingolstadt
mario.linke@audi.de

Dr.-Ing. Christian Bendicks
TVG - Technische Visualistik GmbH, Magdeburg
Gerhart-Hauptmann-Str. 21
39108 Magdeburg
christian.bendicks@visualistik.eu

Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Groh
Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik, Institut Software- und
Multimediatechnik, Professur Mediengestaltung,
01062 Dresden
rainer.groh@tu-dresden.de