

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

Unterschrift des Betreuers



## MASTERARBEIT

### Bildsegmentierung

-  
eine Benutzerstudie unter Verwendung von Eye-Tracking

ausgeführt am Institut für  
Softwaretechnik und Interaktive Systeme

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von

Frau Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr. Margrit Gelautz  
und  
Herrn Mag. Dipl.-Ing. Christoph Rhemann

durch

Bernhard Fölsner

1020 Wien, KGV Wasserwiese West 3/23/563

Wien, am 26.03.2008

---

Unterschrift (Student)

## Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der qualitativen Evaluierung zweier State-of-the-Art Matting-Algorithmen, die auf Grundlage von Benutzereingaben Bildinhalte segmentieren. Bislang bildeten hauptsächlich quantitative Methoden die Basis, um berechnete Daten zu bewerten. Grundlage dafür bildeten meist Mittelwertverfahren, die den Abstand zwischen berechnetem Ergebnis und optimaler Lösung heranzogen. Derartige computergestützte Berechnungsverfahren reichen jedoch nicht aus, um visuelle Information ausreichend zu analysieren, weil sie keinen Bezug zur menschlichen Wahrnehmung herstellen. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit eine Studie entworfen, die auf wahrnehmungspsychologische Erkenntnisse zurückgreift, um die Qualität von Bildkompositionen hinreichend zu bewerten. 26 Probanden evaluierten digitale Nachbearbeitungen, um die Praxistauglichkeit der beiden zu untersuchenden Matting-Algorithmen festzustellen. Sowohl beim Erstellungsprozess, als auch bei der Auswertung der Daten, die unter Verwendung einer Eye-Tracking Kamera vertiefte Erkenntnisse brachte, wurden visuelle Eigenschaften des Menschen berücksichtigt, um möglichst aussagekräftige Resultate zu erzielen.

Die Studie in dieser Arbeit zeigte, dass sich die Testpersonen hauptsächlich auf zwei Möglichkeiten beim Blickverhalten beschränkten. Während gerade für erfahrene Teilnehmer das exakte und zeitintensive Abtasten von kleinen Bildbereichen die Grundlage für ihre Bewertungen bildete, zeichneten sich andere Personen durch eine Gesamtanalyse der Bilder aus. Obwohl die Herangehensweise erfahrener Probanden nicht bei allen dargebotenen Bildern zielführend war, konnten diese Personen überdurchschnittlich viele Fehler der Algorithmen beschreiben. Eine exakte Aufschlüsselung der Studienresultate brachte die Erkenntnis, dass die häufigste Ursache für schlecht befundene Bildkompositionen im mangelhaften Angleichen von Vordergrundobjekten an andere Umweltverhältnisse im Hintergrundbild zu finden war. Letztendlich ließ sich ein Matting-Algorithmus als besser beschreiben, weil er nicht nur bei feinstrukturierten Inhalten, wie Haare, exaktere Ergebnisse berechnen konnte, sondern in Summe niedrigere Fehlerwerte bei der Analyse hinsichtlich spezifizierter Fehlerkategorien aufwies.

## Danksagung

Mein Dank für die hervorragende Betreuung während meiner Masterarbeit gilt Frau Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr. Margrit Gelautz und Herrn Mag. Dipl.-Ing. Christoph Rhemann. Sie begleiteten mich mit besonders viel Engagement und standen mir bei Fragestellungen und Problemen jederzeit hilfreich zur Seite.

Ich danke allen Personen, die sich die Zeit nahmen an meiner Studie teilzunehmen. Ihr Engagement und ihre Hilfsbereitschaft ließen den Praxisteil zu einem Erfolg werden.

Außerdem bedanke ich mich bei meiner Familie, besonders bei meinem Vater und meiner Großmutter, die mich während meines Studiums nicht nur finanziell unterstützten, sondern falls notwendig, Rückhalt boten. Bei meinen Freunden bedanke ich mich für ihre Begleitung und Unterstützung jeglicher Art.

Besonderen Dank spreche ich Familie Schaurecker, sowie dem gesamten Fahrschule Grand Team aus, weil sie mich nicht nur durch viele wichtige Lebensabschnitte, wie Schul- und Studienzeit, sowie Präsenzdienst, begleiteten, sondern mir auch die Möglichkeit boten, in ihrem Kleinunternehmen zu arbeiten. Ungefähr sieben Jahre hindurch hatte ich die Möglichkeit wichtige Erfahrungen für zukünftige Aufgaben praktisch zu sammeln.

Diese Arbeit widme ich meiner Frau Julia und meiner Tochter Leah. Die Freude über unser Glück gab mir jederzeit die Kraft, die ich benötigte, um meine Studien zeitgerecht zu absolvieren. Gerade in unserer sehr schnelllebigen und teilweise emotionsarmen Zeit begleitete mich Julia stets liebevoll, was mich letztendlich meine persönliche Einstellung und Wahrnehmung erweitern ließ.

Wien, im März 2008

Bernhard Fölsner

## **Vorwort**

In meiner Masterarbeit beschäftige ich mich mit zwei Algorithmen aus dem Bereich der Bildbearbeitung und evaluiere ihre Ergebnisse hinsichtlich ihrer Verwendungsmöglichkeit. Ich beleuchte dabei sowohl die theoretische Komponente, die vor Studienbeginn bereits einige Einschätzungen zuließ, als auch die praxisnahe Implementierung segmentierter Bildinhalte auf neuen Hintergründen.

Bereits während meines Studiums absolvierte ich Lehrveranstaltungen mit medienlastigen Schwerpunkten. Dadurch wurde mein Interesse, tiefer in eine dieser Teilmaterien einzutauchen, geweckt. Die Idee, dieses Thema näher zu untersuchen, entstand während fachspezifischen Gesprächen mit Frau Univ.-Prof. Margrit Gelautz und ihrem Assistenten Christoph Rhemann. Im Zuge folgender Gespräche und Recherchen fiel mir auf, dass bei dieser Thematik hauptsächlich der technisch-analytische Aspekt berücksichtigt wird und nur wenig anwendungsorientiert beleuchtet ist. Da segmentierte Bildinhalte qualitativ nicht ausschließlich mit technischen Methoden evaluiert werden können, entstand die Idee der Abhaltung einer Studie, um die Praxistauglichkeit zweier Bildsegmentierungsverfahren zu erfassen.

Die Planung und Durchführung einer Studie stellte eine große Herausforderung dar. Die Schwierigkeit lag primär darin, für dieses spezifische Thema die geeigneten Formen und Methoden herauszufinden, um letztendlich aussagekräftige Resultate auswerten zu können. Im Zuge der Konzipierung mussten alle Einflussfaktoren, wie Anzahl der Probanden, Wahl der Protokollierungs- und Aufnahmeverfahren und zeitliche Dimensionen, durchdacht und in weiterer Folge berücksichtigt werden. Die am Institut greifbare Eye-Tracking Kamera, die mittels infrarotem Licht die Augenbewegungen der Probanden aufzeichnete, erwies sich bereits im Konzept als Schlüsselinstrument meiner Forschung.

Die umfassende Konzipierung und Durchführung einer Studie beanspruchte sehr viel Zeit und gestaltete sich umfangreicher als anfänglich vermutet. Zusammenfassend bin ich jedoch mit den Ergebnissen und dem Ablauf der Studie sehr zufrieden und schätze den Wert meiner Arbeit. Mein persönlicher Gewinn liegt neben der fachspezifischen Wissenserweiterung in der gewonnenen Selbsterfahrung.

## **Formulierung**

Sollten in dieser Masterarbeit geschlechtsspezifische Formulierungen oder Bezeichnungen enthalten sein, so beziehen sie sich gleichermaßen auf Frau und Mann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Theorie und Begriffsklärung</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Das Auge als Basis des visuellen Systems</b> .....	<b>8</b>
2.1.1 Der menschliche Sehapparat.....	8
2.1.1.1 Augenbewegungen.....	8
2.1.1.2 Fokussieren.....	9
2.1.1.3 Netzhaut .....	10
2.1.2 Visuelle Phänomene .....	12
2.1.2.1 Simultankontrast .....	12
2.1.2.2 Amodale Konturen .....	13
2.1.2.3 Phänomenale Transparenz.....	13
2.1.2.4 Multistabilität .....	14
<b>2.2 Farbe</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Farbwahrnehmung .....	16
2.2.2 Farbtheorien .....	17
2.2.3 Metamerie .....	18
<b>2.3 Wahrnehmungsorganisation</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Konstanzphänomene.....	19
2.3.2 Bildwahrnehmung und biologische Informationsverarbeitung .....	21
2.3.3 Gestaltgesetze .....	22
2.3.4 Wahrnehmung von räumlicher Tiefe und Größe .....	23
<b>2.4 Arbeiten mit Bildern</b> .....	<b>25</b>
2.4.1 Bildsegmentierung.....	25
2.4.1.1 Matting .....	26
2.4.1.2 Bildverstehen.....	27
2.4.2 Bildmanipulation.....	28
<b>2.5 Eye-Tracking</b> .....	<b>30</b>
2.5.1 Funktionsweise .....	30
2.5.2 Informationen aus Augenbewegungskameras.....	31
2.5.3 Anwendungsgebiete .....	32
<b>3 Praxisteil – Durchführung einer Studie</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Vorfelduntersuchung</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 Einsatz einer Studie</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3 Herangehensweise an eine Studie</b> .....	<b>36</b>

<b>3.4 Auswertung und Analyse einer Studie .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5 Gestaltung der Studie.....</b>	<b>39</b>
3.5.1 Algorithmus 1 .....	39
3.5.2 Algorithmus 2 .....	39
3.5.3 Methoden und Ziele .....	40
3.5.4 Studienrelevanz .....	41
3.5.5 Planung des Studienablaufs.....	41
3.5.6 Zeitplan des Studienablaufs.....	43
3.5.7 Generierung der Studienbilder .....	44
<b>3.6 Auswertung der Ergebnisse .....</b>	<b>45</b>
3.6.1 Analyse der Einzelbilder.....	48
3.6.1.1 Bild Nr.: 2 .....	48
3.6.1.2 Bild Nr.: 5 .....	53
3.6.1.3 Bild Nr.: 6 .....	57
3.6.1.4 Bild Nr.: 7 .....	63
3.6.1.5 Bild Nr.: 8 .....	68
3.6.1.6 Bild Nr.: 12 .....	71
3.6.1.7 Bild Nr.: 15 .....	76
3.6.1.8 Bild Nr.: 24 .....	80
3.6.1.9 Bild Nr.: 26 .....	85
3.6.2 Zusammenfassung Algorithmus 1 .....	90
3.6.2.1 Probanden .....	90
3.6.2.2 Fehler .....	91
3.6.2.3 Bilder.....	92
3.6.3 Zusammenfassung Algorithmus 2 .....	93
3.6.3.1 Probanden .....	93
3.6.3.2 Fehler .....	94
3.6.3.3 Bilder.....	95
<b>3.7 Zusammenfassung der Studie und Ausblick .....</b>	<b>96</b>
3.7.1 Algorithmen .....	96
3.7.2 Studienteilnehmer .....	98
<b>4 Zusammenfassung der Arbeit.....</b>	<b>99</b>
<b>5 Literatur.....</b>	<b>100</b>
<b>Erklärung .....</b>	<b>103</b>

# 1 Einleitung

Seit Einführung der digitalen Fotografie, die in weiterer Folge das Bearbeiten von Bildinhalten für viele Bereiche interessant machte, mussten Methoden gefunden werden, die ein effizientes Bearbeiten ermöglichen. Bildsegmentierung ist ein sehr weitläufiger Bereich, der sich mit dem Erkennen von Objekten in Bildern beschäftigt, um beispielsweise Bildinhalte zu extrahieren. Die Schwierigkeit besteht darin, aus einem digitalen Bild, das in der Regel aus vielen Tausenden oder Millionen von Bildpunkten besteht, semantisch sinnvolle Strukturen auszulesen. Im menschlichen Wahrnehmungsprozess passiert diese Erkennung und Einteilung automatisch und unwillkürlich und wird somit oftmals unterschätzt. Nicht nur medienbasierte Unternehmen, wie Filmstudios, Verlage und Fotolabore, benötigen computergestützte Verarbeitungsprozesse, die Bildinhalte segmentieren, sondern auch viele Industriezweige, wie Automobilhersteller, oder Forschungsbereiche im Gesundheitswesen, wie der medizinischen Zellforschung. Zwischen einzelnen Bildsegmentierungsaufgaben gilt es jedoch zwei Zielrichtungen zu unterscheiden. Zum einen ist es wichtig die Qualität von Segmentierungen zu bestimmen, indem mögliche Ziele festgelegt werden. Ziel kann es sein Bildinhalte möglichst rasch und gezielt zu erkennen, um eine (automatisierte) Aktion setzen zu können oder segmentierte Inhalte in neue Szenen einzufügen, wobei die Qualität und nicht unbedingt die Berechnungszeit oberste Priorität hat.

Digitales Matting beschäftigt sich auf qualitativer Ebene mit dem Erkennen von Bildstrukturen, das meist auf manuelle Benutzereingaben angewiesen ist. Matting-Algorithmen stehen jedoch vor dem Problem, dass einige Pixelfarben eine Mischung aus einer unbekanntem Vorder- und Hintergrundfarbe sein können. Gemischte Bildpunkte können beispielsweise auf Grund von Subpixelstrukturen, Bewegungsunschärfe oder auf Grund von transparenten Objekten entstehen. Eine binäre Klassifizierung der Pixel in Vorder- und Hintergrund ist für eine qualitativ möglichst hochwertige Segmentierung daher unzureichend. In dieser Arbeit werden zwei State-of-the-Art Matting-Algorithmen evaluiert und miteinander verglichen. Bisher wurden die Resultate der beiden Algorithmen quantitativ auf Basis kleiner Datenbanken verglichen. Diese Arbeit hat zum Ziel die Praxistauglichkeit dieser Algorithmen auf Basis einer qualitativen Studie zu untersuchen. Die Gestaltungsmöglichkeiten einer Studie, die möglichst eindeutige, objektive Ergebnisse im Zuge des Erkenntnisfindungsprozesses liefern sollen, werden in den nachstehenden Kapiteln ebenso intensiv behandelt wie die Auswertung der Resultate selbst. Als additive Unterstützung beim Sammeln von Informationen während der Studie fand eine Eye-Tracking Kamera Verwendung, die eine tiefgehende Analyse der Betrachtungsweisen der Probanden ermöglichte.

Das Arbeiten mit visuellem Content erfordert jedoch auch die Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Aspekte. Der theoretische Teil der Masterarbeit beschäftigt sich daher mit wahrnehmungspsychologischen Aspekten und Hintergründen, sowie physischen Merkmalen des Menschen, die für eine Gestaltung und Abhaltung einer Studie, basierend auf Bildinhalten, relevant sind. Der gesamte menschliche Wahrnehmungsapparat funktioniert präattentiv und attentiv und wird dabei von physischen Gegebenheiten eingeschränkt. In Folge dessen werden der menschliche Sehapparat, visuelle Phänomene, Farbwahrnehmung, psychologische Aspekte der Gestalttheorie und objektbezogene Wahrnehmungsorganisation behandelt. Außerdem beschäftigt sich diese Arbeit mit der Bildsegmentierung und dem Eye-Tracking, das ebenfalls eine Begriffsklärung physischer Natur, besonders möglicher Augenbewegungen, voraussetzt.

## 2 Theorie und Begriffsklärung

### 2.1 Das Auge als Basis des visuellen Systems

Menschliche Wahrnehmung, im Speziellen die Verarbeitung von visuellen Reizen, ist durch körperliche Gegebenheiten eingeschränkt. Bereits im Auge können nicht alle elektromagnetischen Strahlungen, die in einem spezifischen Spektrum für den Menschen als sichtbares Licht definiert werden, unterschieden werden. Abbildung 2.1-1 zeigt, wie einfallendes Licht die Hornhaut passiert, dann durch die Pupille und die Linse dringt und anschließend auf die Netzhaut trifft. So genannte Stäbchen und Zapfen auf der Netzhaut reagieren auf das Licht, indem unterschiedliche Stimuli ausgelöst werden, die nach dem Transport der Information über den Sehnerv später im Gehirn als Helligkeit oder Farbe interpretiert werden. Das Problem dabei ist, dass die Anzahl der Stäbchen und Zapfen beschränkt ist und daher grundsätzlich unendlich viele gleiche Stimuli ausgelöst werden können. Diese Beschränkung der Farbwahrnehmung wird als Metamerie (siehe Kapitel 2.2.3) bezeichnet, die im Weiteren für Medien, die Farbe übertragen oder wiedergeben, eine entscheidende Rolle spielt. Die Vereinfachung des Auges wird technologisch dazu genutzt, spezifische Stimuli gezielt auszulösen, ohne Rücksicht auf „reale“ Information zu nehmen (Goldstein, 1997, 2002; Kebeck, 2006).

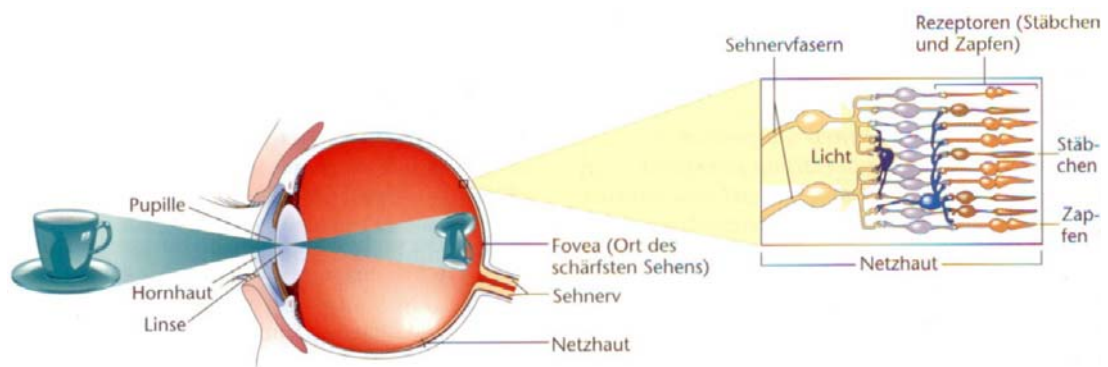


Abbildung 2.1-1 (Goldstein, 2002 :50ff)

#### 2.1.1 Der menschliche Sehapparat

##### 2.1.1.1 Augenbewegungen

Fünf unterschiedliche Arten von Augenbewegungen gilt es zu unterscheiden (Mallot, 2000). Als Augenbewegungen sind zurückgelegte Wege des Auges zu verstehen, um Umgebungsinformation zu erhalten.

- ➔ Sakkaden sind Blicksprünge, die sich durch ihre Schnelligkeit auszeichnen. In nur wenigen Millisekunden springt das Auge zu wesentlich weiter entfernten Punkten und legt dabei bis zu 600 Grad in der Sekunde zurück. Diese Blicksprünge funktionieren größtenteils unwillkürlich, können jedoch teilweise unterdrückt werden.
- ➔ Folgebewegungen entstehen beim visuellen Abtasten eines Objekts. Bewegt es sich mit größerer Geschwindigkeit, werden Sakkaden ausgeführt, um es nicht zu verlieren. Auch wenn das zweite Auge keine visuellen Informationen über das fokussierte Objekt gewinnen kann, bewegt sich dieses immer mit. Diese Folgebewegung passiert ausschließlich unwillkürlich.



- ➔ Glatte und konjugierte Augenbewegungen gleichen Kopf- und Körperbewegung aus. Darunter fallen unter anderem Rückstellbewegungen in Form von Sakkaden, die bei hoher Fortbewegungsgeschwindigkeit (Vergleich Blick aus einem Zugfenster) unwillkürlich ausgeführt werden.
- ➔ Vergenzbewegungen sind langsame, gegensinnige Augenbewegungen, die nur in relativ geringem Ausmaß auftreten. Sie ermöglichen sehr gutes Tiefensehen, indem beide Augen nicht unbedingt genau gleich ausgerichtet werden, sondern leicht unterschiedliche Bewegungen ausführen und somit einen Vergenzanteil enthalten.
- ➔ Restbewegung bei Fixation sind all jene Bewegungen, die ein Abtriften des fixierten Punktes zur Folge haben. Schnelle Zitterbewegungen des Auges verhindern das Halten einer Fixation, die mittels Mikrosakkaden unwillkürlich ausgeglichen wird.

### 2.1.1.2 Fokussieren

Der Sehvorgang beginnt mit dem Fokussieren des einfallenden Lichtes auf der Netzhaut. Die Hornhaut und die Linse passen sich im Prozess der Akkommodation an Umgebungsverhältnisse mittels Krümmung an, um den Brennpunkt des aufgenommenen Lichtes exakt auf die Höhe der Netzhaut zu verschieben. Nur wenn der Brennpunkt exakt auf der Netzhaut liegt, ist scharfes Sehen möglich. Der so genannte Nahpunkt ist jener Punkt, ab dem das Akkomodieren nicht mehr ausreichend funktioniert, weil der Brennpunkt hinter der Netzhaut läge. Ein Objekt zwischen Nahpunkt und Auge kann daher niemals scharf wahrgenommen werden (Goldstein, 1997; Kebeck, 2006).

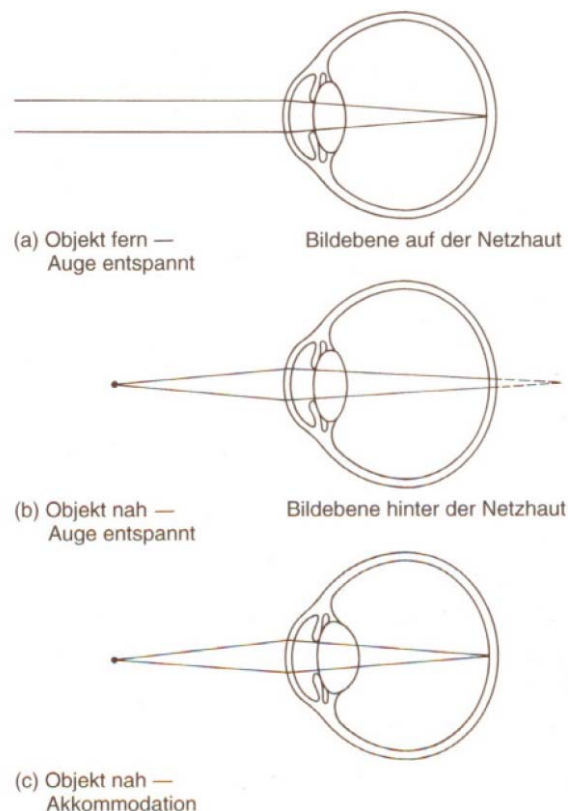


Abbildung 2.1.1.2-1 (Goldstein, 1997 :43)

*„Die Fixationsdauer [...] ist der wohl am häufigsten benutzte Parameter der Augenbewegungen. Eine Fixation wird definiert als der Zustand, bei dem das Auge sich bezüglich eines Sehobjektes in „relativem“ Stillstand befindet.“ (Joos et al., 2003 :18)*

### 2.1.1.3 Netzhaut

Das aufgenommene Licht wird an der Netzhaut mit Hilfe von Photorezeptoren, der Stäbchen und Zapfen, in elektrische Signale umgewandelt. Sie unterscheiden sich nicht nur in ihrer äußeren Erscheinungsform und ihrem unterschiedlichen Ansprechverhalten, sondern sind zum Einen unterschiedlich auf der Netzhaut verteilt und zum Anderen für unterschiedliche Informationsverarbeitung zuständig. Während die Stäbchen fast gleichmäßig verteilt auf der Netzhaut liegen, findet man die Zapfen hauptsächlich im Bereich der Sehgrube, die exakt auf Blicklinie liegt. Die Photorezeptoren weisen Ganglienzellfasern auf, damit die umgewandelten elektrischen Signale weitertransportiert werden können. Diese Leiter werden am blinden Fleck gebündelt und verlassen als Sehnerv das Auge. Am blinden Fleck selbst befinden sich auf Grund der Austrittsstelle des Sehnervs keine Photorezeptoren, deshalb kann an dieser Stelle keine Information gesammelt werden. Da diese Stelle an der Peripherie des Gesichtsfeldes liegt und grundsätzlich ein zweites Auge die fehlende Bildinformation ersetzt, ist diese Schwachstelle des menschlichen Sehapparates normalerweise unmerkbar.

Stäbchen und Zapfen sind jedoch nicht nur unterschiedlich verteilt, sondern zeichnen sich durch ihr unterschiedliches Ansprechverhalten auf Helligkeit sichtbaren Lichts aus. Auf Abbildung 2.1.1.3-1 ist der kurze Bereich sichtbaren Lichts, sowie dessen Aufteilung in Farben, ersichtlich.

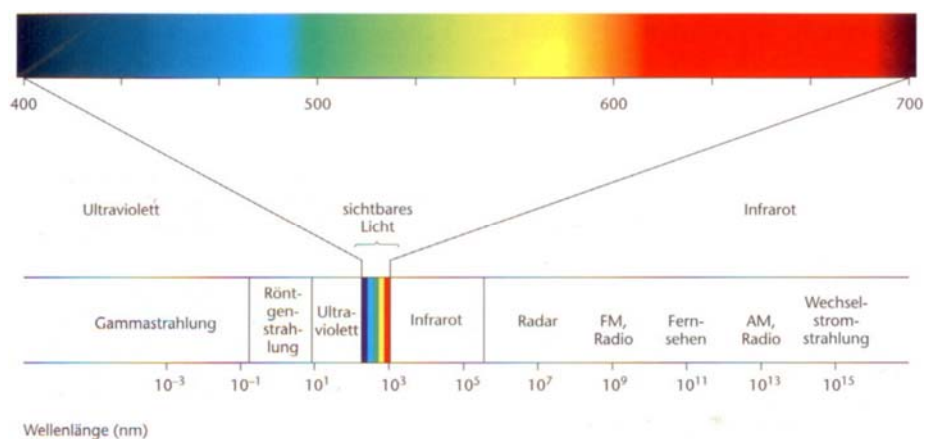


Abbildung 2.1.1.3-1 (Goldstein, 2002 :50f)

Abbildung 2.1.1.3-2 zeigt, dass die Stäbchen nach Einsetzen von Dunkelheit kontinuierlich empfindlicher werden, während die Zapfen in sehr kurzer Zeit ihre wesentlich höhere Empfindlichkeitsgrenze erreichen. Der eingezeichnete Kohlrausch-Knick benennt bei eintretender Dunkelheit die Übernahme der lichtempfindlicheren Stäbchen, die im Dunkeln fast ausschließlich das menschliche Sehen bestimmen. Da der Mensch also zwei unterschiedliche Detektorsysteme mit unterschiedlicher Empfindlichkeit und Anpassungsgeschwindigkeit aufweist, unterscheidet sich auch das Wahrgenommene, ob nun mit den Stäbchen oder den Zapfen bildliche Information aufgenommen wird. Bei hohen Intensitäten sind die weniger empfindlichen Zapfen aktiv, da die hochempfindlichen Stäbchen bei starken Intensitäten überfordert wären.

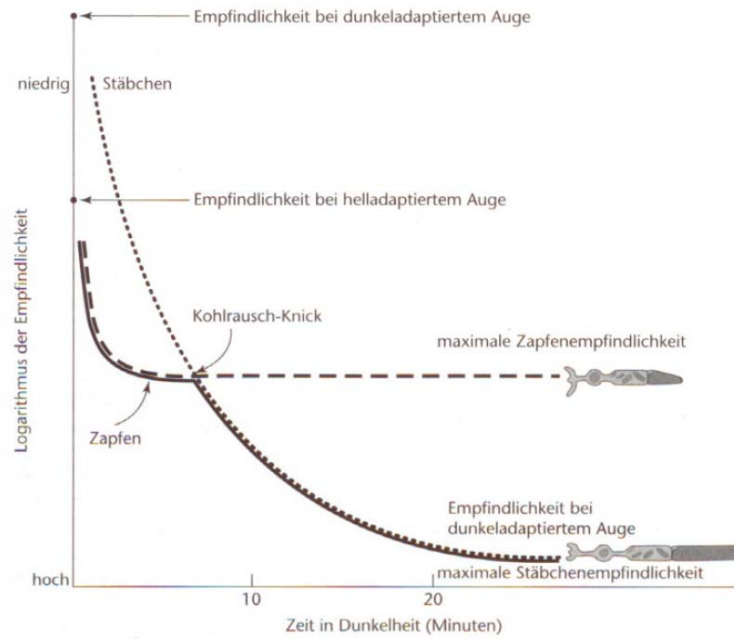


Abbildung 2.1.1.3-2 (Goldstein, 2002 :55)

Abbildung 2.1.1.3-3 zeigt, dass sich die beiden Photorezeptoren nicht nur in ihrem Helligkeitsempfinden unterscheiden, sondern auch in welchen Wellenlängenbereichen sie überhaupt aktiv sind. Da die Stäbchen allerdings lediglich Information über die Helligkeit liefern und nur die Zapfen Farbe wahrnehmen, muss stets genügend Helligkeit empfunden werden, um überhaupt farbig zu sehen (Goldstein, 1997, 2002; Kebeck, 2006; Konecny et al., 2000).

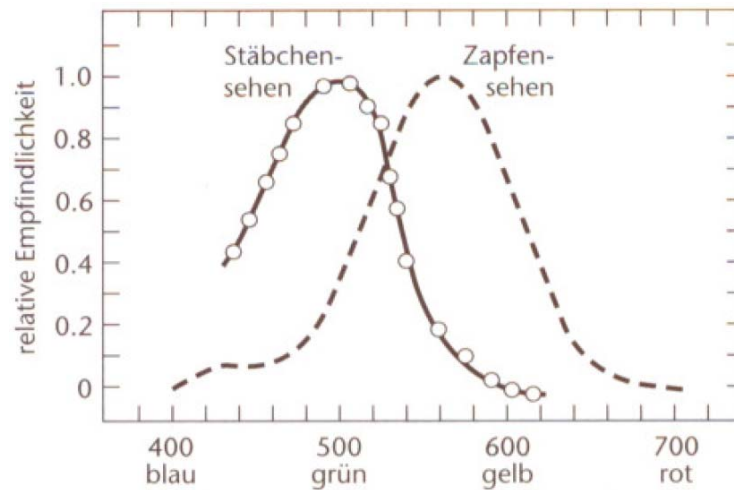


Abbildung 2.1.1.3-3 (Goldstein, 2002 :58)

## 2.1.2 Visuelle Phänomene

Für die Bildwahrnehmung sind vier physikalische Phänomene besonders zu beachten, weil sie für die visuelle Verarbeitung bedeutsam sind (Kebeck, 2006 :19).

### 2.1.2.1 Simultankontrast

Nicht nur die Photorezeptoren bestimmen die physiologische menschliche Wahrnehmung, sondern auch deren neuronale Verarbeitung. Auf Abbildung 2.1.2.1-1 werden zwei völlig idente Quadrate als unterschiedlich hell empfunden. Legt man sie jedoch ohne ihren unterschiedlichen Hintergrund nebeneinander, werden sie als gleich-hell wahrgenommen. Der Simultankontrast, als Beispiel für beeinflussende neuronale Verarbeitung, bezeichnet unterschiedliche Wahrnehmung, trotz physikalischer Deckungsgleichheit. Obwohl die Photorezeptoren exakt die selben Intensitäten für das Quadrat weitergeben, verändert ein Effekt der neuronalen Verarbeitung die ursprüngliche Information.

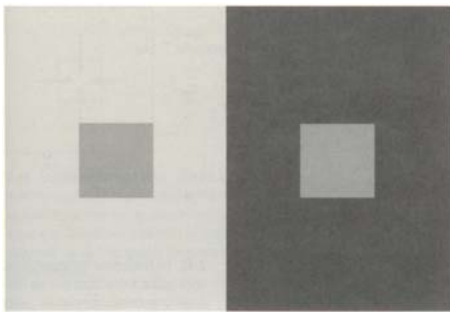


Abbildung 2.1.2.1-1 (Goldstein, 1997 :67)

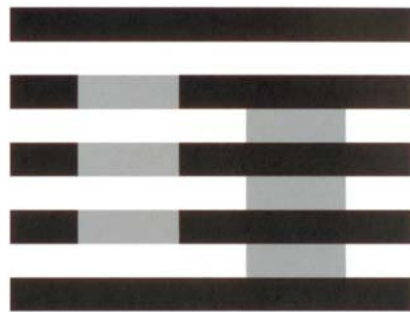


Abbildung 2.1.2.1-2 (Kebeck, 2006 :20)

Besonders deutlich wird dieser Effekt auf Abbildung 2.1.2.1-2. Obwohl die grauen Flächen exakt die gleichen physikalischen Eigenschaften aufweisen, erscheinen die linken Rechtecke wesentlich heller, als die rechten.

*„Aus Sicht der Wahrnehmungsforschung ist ein Bild zunächst nichts anderes als eine Anzahl von Simultankontrasten. Natürlich ist dies keine vollständige [...] Beschreibung etwa einer Landschaft [...], aber den Simultankontrast zu ignorieren, bedeutet nicht nur die relative Wirkung von benachbarten Farben und Helligkeiten falsch einzuschätzen, sondern auch von irreführenden Voraussetzungen im Verhältnis von Wahrnehmung und Wissen auszugehen und die Eigenständigkeit des Sehaktes im Erkenntnisprozeß zu unterschätzen.“ (Kebeck, 2006 :20f)*

### 2.1.2.2 Amodale Konturen

Die beiden Abbildungen 2.1.2.2-1 und 2.1.2.2-2 verdeutlichen den Effekt amodaler Konturen. Trotz fehlender Objektgrenzen versucht das Gehirn auch auf Grund weniger visueller Information Figuren oder Objekte zu vervollständigen. Abbildung 2.1.2.2-2 zeigt außerdem, dass dafür keine klaren oder bekannten Formen vorhanden sein müssen, sondern auch vollkommen unbekannte Gestalten unwillkürlich und automatisch erschlossen werden.

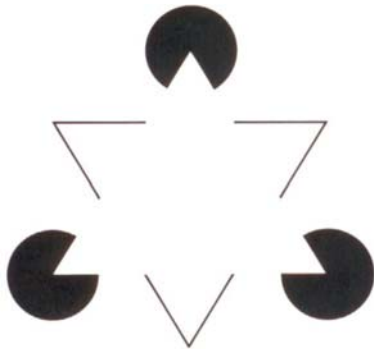


Abbildung 2.1.2.2-1 (Kebeck, 2006 :21)



Abbildung 2.1.2.2-2 (Kebeck, 2006 :22)

*„Amodale Figuren zeigen daher besonders eindringlich den produktiven Charakter der Wahrnehmung. Das Perzept ist nicht einfach eine 1:1 Abbildung der Reizvorlage. Die Ergänzungen sind aber auch nicht willkürlich oder subjektiv im Sinne von „individuell“, sondern folgen den Gesetzmäßigkeiten der visuellen Informationsverarbeitung.“ (Kebeck 2006 :23)*

### 2.1.2.3 Phänomenale Transparenz

Bei zweidimensionalen Bildern versucht der Mensch unwillkürlich und automatisch Räumlichkeit zu erzeugen. Eine Mehrdimensionalität ermöglicht einen eindeutigeren Einblick und schafft somit eher Eindeutigkeit bei der Wahrnehmung. Abbildung 2.1.2.3-1 zeigt eine viereckige Fläche, die transparent erscheint, obwohl sie undurchlässig ist. Der Grund dafür liegt in der interpretierten Dreidimensionalität, die diese Fläche vordergründig erscheinen lässt. Dieser Effekt unterliegt einigen topologischen Voraussetzungen, wie dem Vorhandensein von mindestens vier Bildbereichen, verdeutlicht aber die geistigen Anstrengungen während der Bildwahrnehmung, Eindeutigkeit mit Hilfe von Räumlichkeit zu erreichen.

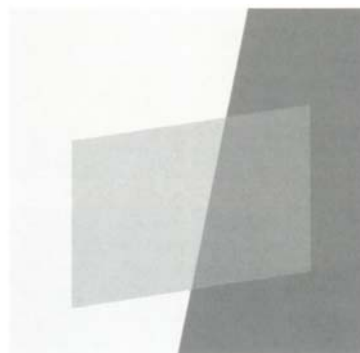


Abbildung 2.1.2.3-1 (Kebeck, 2006 :23)

#### 2.1.2.4 Multistabilität

Der „Necker-Würfel“ aus Abbildung 2.1.2.4-1 zeigt eine Multistabilität dieser Figur. Bei längerem Betrachten dieses Würfels zeigen sich zwei unterschiedliche, annähernd gleich interessante Möglichkeiten dieses Objekt wahrzunehmen. Es ist dem Menschen unmöglich beide Visualisierungen gleichzeitig zu interpretieren.

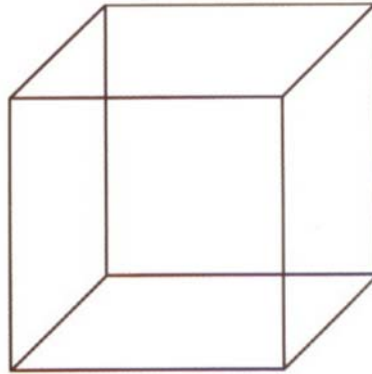


Abbildung 2.1.2.4-1 (Kebeck, 2006 :25)

*„Während die Reizvorlage mehrere gleichwertige Interpretationen zulässt, ist das Wahrnehmungsergebnis zu einem gegebenen Zeitpunkt immer eindeutig, selbst wenn hierfür große Teile der Reizanordnung neu gruppiert und interpretiert werden müssen.“ (Kebeck, 2006 :25)*

Einige unterschiedliche, möglicherweise mehrdeutige Informationen, führen dennoch zu einer konsistenten Lösung. Auf der Suche nach eindeutigen Wahrnehmungsergebnissen interpretiert der Mensch visuelle Information, die auf Grund vorherrschender Bedingungen und Umgebungseinstellungen am effektivsten ein Ergebnis herbeiführt.

## 2.2 Farbe

*„Farbe ist mehr als nur Kolorit. Sie bestimmt die Wahrnehmung, die Erkenntnis und die Darstellung; sie ist so allgegenwärtig, dass sie kaum der Frage wert zu sein scheint.“ (Dünkel, 2006 :7)*

Grafiken, Zeichnungen oder Bilder können auch in Grauwerten wesentliche Hilfestellungen beim Erkennen und Verarbeiten von Information bieten. Der Einsatz von Farbe eröffnet jedoch zusätzlich orientierende Funktionen, wie bei Informationsvisualisierungen, die den Erkenntnisgewinn anhand speziell kodierten Farbeinsatzes unterstützen sollen. Der Einsatz von Farbe ist jedoch in vielen Bereichen noch fraglich, weil der Mensch grundsätzlich Helligkeitsunterschiede weit besser differenzieren kann als jene der Farbe. Der Mensch kann ungefähr 256 Grauwerte auf Grund des Kontrastes unterscheiden. Wird Farbe trotz des geringeren Helligkeitsempfindens des Auges eingesetzt, erreichen Farbtabelle über 16 Millionen –  $256 * 256 * 256$  – unterschiedliche Farbwerte. Diese zusätzlichen Möglichkeiten der Unterscheidung und dessen gezielter Einsatz müssen exakt auf ihr Einsatzgebiet abgestimmt werden. Mit einem gezielten Farbeinsatz können zwar viele Informationen dargestellt und gestaltet werden, dennoch reichen die menschlichen Fähigkeiten nur teilweise aus, um tatsächlich wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen.

Abbildung 2.2-1 zeigt eine Visualisierung aus dem medizinischen Bereich, die eindeutig zeigt, dass der Mensch Helligkeitsunterschiede weit besser erkennen und anschließend interpretieren kann, weil ein übermäßiger Farbeinsatz die Segmentierung von Bereichen nur unter großer Anstrengung zulässt. Eine weitere wichtige Eigenschaft von Farbe, nämlich die Skalierungsvarianz, darf ebenfalls nicht unterschätzt werden. Trotz einer Graustufenabänderung in Teilbild D wird automatisch ein Zusammenhang mit Teilbild C hergestellt, während dies auf unterschiedliche Farbkodierungen (vergleiche Teilbild A mit Teilbild B) nicht zutrifft. Andererseits unterstützt Farbe beim Erkennen von Problembereichen, die mit einem Graustufenbild nur anhand von verschiedenen Intensitäten hervorgehoben werden können. In Folge dessen werden in vielen wissenschaftlichen Gebieten, wie der Medizin, Grauwertbilder mit Farbbildern lediglich überlagert, um Vorteile aus beiden Bereichen zu erhalten. Diese Überlagerung ist auf Abbildung 2.2-2 dargestellt. Der Einsatz von Alarmfarben in der Medizin unterstützt Ärzte beim Lokalisieren eines Fremdkörpers, oder gibt den günstigsten Weg während einer Operation vor.

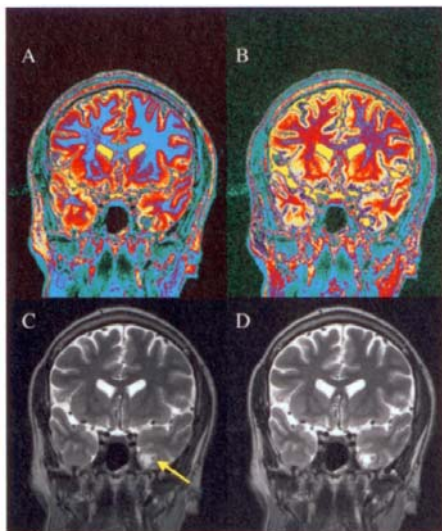


Abbildung 2.2-1 (Dünkel, 2006 :11)

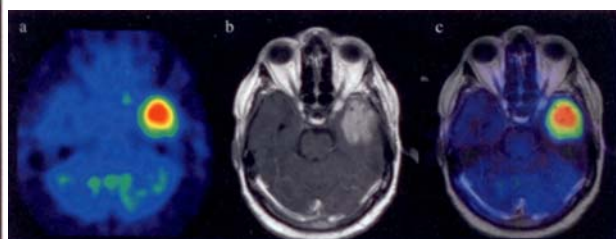


Abbildung 2.2-2 (Dünkel, 2006 :13)

Die Bedeutung von Farbe ist immer in einem spezifischen kulturellen Kontext zu verstehen. Der Mensch kann mehrere Millionen Farbtöne unterscheiden, dennoch werden nur einigen wenigen Haupt- oder Grundfarben, wie Rot, Blau, Grün und Gelb, Bedeutung gegeben. Das menschliche Farbvokabular wird durch lebensnahe Erweiterungen vergrößert, indem man bekannte Gegen- und Zustände voranstellt. Das Ergebnis ist beispielsweise ein Feuerrot, Backsteinrot oder Kupferrot. Obwohl zusätzliche Bezeichnungen für Farbtöne gefunden werden, bleibt die Symbolik einer Farbe dennoch gleich. Abhängig von jeweiliger Kultur und deren Kontext werden wenige Grundfarben als Bedeutungsträger spezifiziert. Eine rote Ampel im Straßenverkehr, eine rote politische Versammlung, eine überreichte rote Rose, ein rotes Herz, u.v.m. – die Farbe Rot hat in allen diesen verschiedenen Kontexten eine unterschiedliche Bedeutung. Rot kann einerseits als Leidenschaft und Erotik verstanden werden, andererseits Wut, Tot und Mord signalisieren.

*„Warum sind wir nicht irritiert davon, dass ein rotes Licht in einer katholischen Kirche die Gegenwart Gottes [...] anzeigen kann, während – vielleicht zwei Gassen weiter – dasselbe rote Licht die Käuflichkeit sexueller Dienste avisiert?“ (Dünkel, 2006 :52)*

Farbe in ihrer Alltäglichkeit und ihre Auswirkungen auf den Menschen kann erst vollständig begriffen werden, wenn die Farbwahrnehmung des Menschen verstanden wird.

*„Die Farben sind ebenso konkret wie abstrakt. Ihre rätselhafte Kontingenz, ihre situative Evidenz, tritt offenbar nicht in Widerstreit mit höchster Allgemeinheit.“ (Dünkel, 2006 :52)*

### **2.2.1 Farbwahrnehmung**

*„Farbe ist eine sehr auffällige und allgegenwärtige Qualität in unserer Umwelt. [...] Farbe hat wichtige Funktionen, die uns helfen, Formen richtig wahrzunehmen, Gegenstände zu erkennen [...]“ (Goldstein, 1997 :123)*

Das Unterscheiden zwischen unterschiedlichen Objekten und die Gliederung einer wahrgenommenen Szene durch die Bestimmung gegenseitig überdeckter Gegenstände, zählt zu den wichtigsten Funktionen der Farbwahrnehmung (Goldstein, 1997). Anhand von Farben lassen sich Kontraste unterscheiden und somit Objekte von Hintergründen differenzieren. Außerdem werden Schatten und Spiegelungen, die durch verschiedenste Beleuchtungen hervorgerufen werden können, als getrennt wahrgenommen.

Das Purkinje-Phänomen, auf den beiden Abbildungen 2.2.1-1 und 2.2.1-2, zeigt den Übergang vom Stäbchensehen – bei Dunkelheit in den achromatischen Farben Weiß, Schwarz und Grau – zum Zapfensehen – bei ausreichend Helligkeit. Der Mensch kann in etwa 200 chromatische Farben unterscheiden, wobei auf Grund von Helligkeitsabstufungen und unter Berücksichtigung der Sättigung zwei Millionen Unterscheidungen getroffen werden können. Aus den vier für den Menschen wahrnehmbaren Grundfarben Rot, Grün, Gelb und Blau, den chromatischen Farben, werden alle anderen wahrnehmbaren Farben, wie Orange und Braun, gemischt. Beim Mischen von Farbe muss jedoch eine wichtige physikalische Eigenschaft berücksichtigt werden, nämlich jene, dass Lichtfarben andere Ergebnisse liefern als Pigment- oder Malfarben. So liefert beispielsweise das Mischen von blauem, rotem und grünem Licht den Farbton Weiß, während ein Mischen der selben Grundfarben bei Malfarben Schwarz liefert. Dieser Effekt ist auf Abbildung 2.2.1-3 visualisiert. Der Grund liegt darin, dass zwischen einer additiven und subtraktiven Farbmischung (siehe Kapitel 2.2.2) unterschieden werden muss.





Abbildung 2.2.1-1 (Goldstein, 1997 :162f)



Abbildung 2.2.1-2 (Goldstein, 1997 :162f)

## 2.2.2 Farbtheorien

Die Forschung in der Farbwahrnehmung gewann ab Ende des 18. Jahrhunderts immer mehr an Bedeutung. Viele bedeutende Wissenschaftler, wie Hermann von Helmholtz, Ewald Hering, Thomas Young und Isaac Newton, befassten sich mit Farbtheorien, um aussagekräftige Erkenntnisse, auch physischer Natur, gewinnen zu können. Letztendlich ist es diesen Forschungsarbeiten zu verdanken, dass bekannte Phänomene, wie Metamerie und Farbfehlsichtigkeit, heutzutage erklärt werden können (Goldstein, 1997).

Als richtungsweisend erwies sich bereits die Entdeckung von Komplementärfarben Newtons. Komplementärfarben sind immer zwei unterschiedliche Farbpaare, die gemischt immer einen Grauton ergeben. Das Wissen um das Vorhandensein von Komplementärfarben unterstützte später auch die Erklärung von Rot-Grün und Blau-Gelb Blindheit bei farbfehl-sichtigen Menschen (Konecny et al., 2000).

Eine Unterscheidung zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung konnte dank dieser Theoretiker getroffen werden. Heutzutage finden diese Farbmischungen bei etlichen Geräten unseres Lebens statt. Peripheriegeräte, wie Bildschirme und Drucker, bauen auf Erkenntnissen der Farbtheorien, wie Metamerie, auf und praktizieren diese.

Additive Farbmischung ist das Überlagern von verschiedenen Lichtquellen, das einer simplen Addition gleicht. Die Wellenlängen zweier Lichter werden addiert und das Ergebnis ist die Summe dieser beiden Summanden, welche als eine spezifische Farbe vom Auge interpretiert wird. Die Lichtmenge wird also durch eine Überlagerung mehrerer Lichter vermehrt. Da nahezu alle Farbeindrücke aus den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau gemischt werden können, müssen Farben lediglich überlagert werden, um letztendlich eine neue Farbe zu erhalten (Goldstein, 1997; Kebeck, 2006, Konecny et al., 2000). Dieser Vorgang findet bei vielen Ausgabemedien, wie Bildschirmen und Druckern, statt (Mallot, 2000).

Exakt gegenteilig funktioniert die subtraktive Farbmischung, weil es sich dabei lediglich um Reflexionsfarben und keine selbstleuchtenden Farbtönen handelt. Objekte erscheinen deshalb in einer bestimmten Farbe, weil sie den jeweiligen Farbanteil absorbieren und nicht reflektieren. Somit wird die reflektierte Lichtmenge, die im Folgenden das Auge erreicht, verringert (Goldstein, 1997; Kebeck, 2006). Der so genannte Vierfarbendruck verwendet subtraktive Farbmischung, bei dem das Aussehen einer Farbe durch das Entfernen bestimmter Strahlungskomponenten verändert wird. Farbige Objekte absorbieren lediglich die eigene Farbe – Subtraktion – während alle anderen Farben zurückgeworfen werden (Konecny et al., 2000).

Die Abbildung 2.2.2-1 illustriert die additive Farbmischung, während Abbildung 2.2.2-2 das Ergebnis subtraktiver Farbmischung zeigt.



Abbildung 2.2.2-1 (Konecny et al., 2000 :50)    Abbildung 2.2.2-2 (Konecny et al., 2000 :50)

Interessant ist, dass auch bei farbigen Objekten das Phänomen des Simultankontrasts (siehe Kapitel 2.1.2.1) auftritt. Farben im Umfeld beeinflussen die Erscheinung der Objektfarbe (Goldstein, 1997, 2002; Kebeck, 2006; Konecny et al., 2000).

### 2.2.3 Metamerie

Da menschliche Wahrnehmung auf dem Aktivitätsmuster mehrerer Photorezeptoren beruht und ihre Möglichkeiten, unterschiedliche Reize auszulösen, endlich beschränkt sind, lässt sich von einer Vereinfachung von Wahrgenommenem sprechen, die bereits im Auge beginnt. Metamere sind im Folgenden Farben mit physikalisch unterschiedlicher Wellenlänge, die jedoch bedingt durch die beschränkten Möglichkeiten der Zapfen als ident wahrgenommen werden.

*„Zwei Farbreize mit unterschiedlichen Spektren erscheinen farblich identisch, wenn sie die Rezeptoren im gleichen Verhältnis erregen.“ (Goldstein, 1997 :137)*

*„Ein Beispiel hierfür ist die Nachmischung eines weißen Lichtes aus den reinen Spektralfarben Rot, Grün und Blau. Das Spektrum der Nachmischung hat die drei Linien im roten, grünen und blauen Bereich. Dieses Linienspektrum führt genauso zu der Wahrnehmung „weiß“, wie ein konstantes Spektrum, das alle Wellenlängen zu gleichen Anteilen enthält. Solche Intensitätsverteilungen, die trotz unterschiedlicher Spektren die gleiche Farbwahrnehmung hervorrufen, heißen metamer.“ (Mallot, 2000 :98)*

## 2.3 Wahrnehmungsorganisation

### 2.3.1 Konstanzphänomene

*„Wahrnehmungskonstanz bedeutet, daß Merkmale von Objekten in unserer Wahrnehmung konstant bleiben, auch wenn sich die Reizbedingungen ändern, unter denen die Objekte wahrgenommen werden.“ (Goldstein, 1997 :145)*

Wahrnehmungskonstanzen (Goldstein, 1997), oder auch Konstanzphänomene (Kebeck, 2006) genannt, sind für den Menschen ein sehr wichtiges Instrument, um Orientierung zu ermöglichen. Verließe sich der Mensch lediglich auf die ständig wechselnde Information der Netzhäute wären allgemeine Entscheidungen über Objekteigenschaften unmöglich zu treffen. Konstanz schaffen dabei einen notwendigen Grad an Stabilität (Goldstein, 1997, 2002; Kebeck, 2006).

Die Wahrnehmungspsychologie unterscheidet drei, für den Menschen sehr wichtige Arten von Wahrnehmungskonstanz (Goldstein, 1997). Die Formkonstanz unterstützt den Wiedererkennungsprozess von Gestalten und Formen von Objekten.

Abbildung 2.3.1-1 visualisiert einen rechteckigen Tisch aus verschiedenen Perspektiven, der trotz unterschiedlicher Information des Auges als rechteckig und nicht als trapezförmig erkannt wird. Obwohl ein Gegenstand aus unterschiedlichen Winkeln betrachtet wird, wird er als gleichbleibend wahrgenommen.

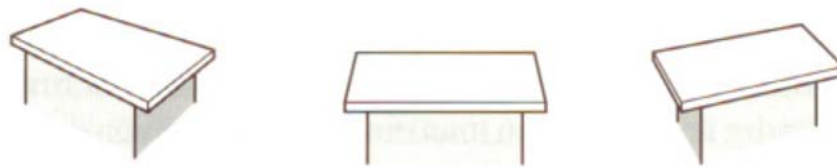


Abbildung 2.3.1-1 (Goldstein, 1997 :145)

Eine weitere wichtige Form der Wahrnehmungskonstanz ist für den Menschen die Farbkonstanz, um subjektiv gültige Entscheidungen treffen zu können. Die Farbe eines Objektes wird nicht nur von den Photorezeptoren der Netzhaut entschieden, die auf Grund lichtspezifischer Gegebenheiten Farbe interpretieren. Auch im Gehirn wird neue Information analysiert und weiterverarbeitet. Außer in möglichen künstlich geschaffenen Laborumgebungen, leiten die Zapfen mehrmals in der Sekunde selbst kleinste Farbänderungen an das Gehirn weiter, wo jedoch diese sich ständig ändernden Informationen unterdrückt werden, indem sie als gleichbleibend und stabil beschrieben werden. Wissenschaftlich konnte dieses Phänomen dadurch erklärt werden, dass der Mensch Farbe eines Objektes abhängig seines Reflektionsspektrums wahrnimmt. Dabei wird nicht die absolute Menge des Lichtes interpretiert, sondern dessen prozentuale Anteile jeder einzelnen Wellenlänge (Goldstein, 1997).

Dieser Mechanismus funktioniert allerdings nicht ganz fehlerfrei, da Objekte im natürlichen Sonnenlicht durchaus den einen oder anderen Farbton heller oder dunkler empfunden werden können als in künstlichem Licht, wie dem aus Leuchtstoffröhren und Glühlampen. Deshalb wird in der Wissenschaft in diesem Zusammenhang von annähernder Farbkonstanz berichtet. Trotz dieses Phänomens lässt sich Farbkonstanz auf Grund dreier weiterer Eigenschaften erklären. Einerseits passen sich die Photorezeptoren im Auge automatisch an vorherrschende, dominierende Lichtbedingungen an, um Unregelmäßigkeiten auszugleichen. Diese Farbadaption ist gerade bei einem Wechsel von natürlichem zu künstlichem Licht entscheidend und ermöglicht dadurch relativ stabile Farbeindrücke von Objekten. Künstli-

ches Licht von Glühlampen weist einen erhöhten Rotanteil auf, weil es langwellig ist (vergleiche Abbildung 2.1.1.3-1). Dieser ständige Rotanteil verringert die Empfindlichkeit der Zapfen des menschlichen Auges auf langwelliges Licht. Diese Dominanz gilt es wieder auszugleichen, um alle Objekte in ihrer „richtigen“ Farbe wahrnehmen zu können. Andererseits spielt auch die Erwartung einer bestimmten Farbe bei der Wahrnehmung einer tatsächlichen Farbe eine entscheidende Rolle.

Unter dem Begriff Gedächtnisfarbe, den bereits 1965 John Delk und Samuel Fillenbaum prägten (Experiment aus 1965, Goldstein, 2002 :171), versteht man die im Gehirn gespeicherte Farbinformation über bekannte Objekte. Damit können erkannte Farbdifferenzen erklärt werden, obwohl physikalisch Farbgleichheit gegeben ist. Dennoch wichtiger ist die Erkenntnis, dass die Umwelt maßgeblich dazu beiträgt, wie Farbe nun tatsächlich wahrgenommen und interpretiert wird. Farbkonstanz funktioniert wesentlich besser, wenn möglichst viele farbige Objekte in der Umgebung als Vergleichs- und Anpassungsmöglichkeit dienen. Einige Wissenschaftler haben gezeigt, dass die Farbkonstanz sogar optimal wird, wenn möglichst alle unterschiedlichen, für den Menschen wahrnehmbaren Farben, im Umfeld des Objekts anzutreffen sind (Goldstein, 1997, 2002).

Die dritte und somit letzte Art der Wahrnehmungskonstanz ist die Helligkeitskonstanz. Sie beschreibt den Effekt der Stabilität und gleichförmigen Erscheinungsform von Objekten, trotz oftmals drastischer Beleuchtungsänderungen. Da sich, physikalisch gesehen, die Helligkeit von Objekten in natürlichen und künstlichen Umgebungen ständig ändert, ist die Helligkeitskonstanz ein wesentliches Instrument für menschliche Orientierung und Wahrnehmung. Sie lässt weißes Papier mit schwarzen Buchstaben sogar bei völlig unterschiedlichen Beleuchtungen immer als reines Weiß und Schwarz erkennen und vernachlässigt physikalische Grauwertabstufung (Goldstein, 1997).

Erst diese Möglichkeit lässt tatsächlich Gegenständen eindeutige Farben zuordnen. Die Helligkeitskonstanz wird von zwei wissenschaftlichen Beweisen gestützt. Das Verhältnisprinzip von Jacobson, Gilchrist (*The ratio principle holds over a million-to-one range of illumination*, 1988, Goldstein, 2002 :172) und Wallach (*The perception of neutral colors*, 1963, Goldstein, 2002 :172) erklärt, wieso zwei tatsächlich unterschiedliche Farbtöne nur anhand ihrer Umgebung als gleich, oder ähnlich, interpretiert werden. Die Erklärung ist ähnlich wie jene der Farbkonstanz. Menschliche Wahrnehmung arbeitet auch dabei lediglich mit Verhältnissen – in Abbildung 2.3.1-2 im Verhältnis der Intensitäten.

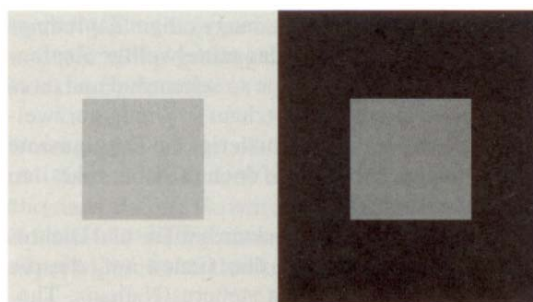


Abbildung 2.3.1-2 (Goldstein, 1997 :146)

„Danach sehen zwei Flächen, die unterschiedliche Lichtmengen reflektieren, gleich aus, wenn man das Verhältnis ihrer Intensitäten zu denen ihrer Umfelder konstant hält.“ (Goldstein, 1997 :146)

Deshalb werden selbst bei völlig unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen die schwarzen Buchstaben auf weißem Papier immer als Schwarz und das Papier selbst als Weiß wahrgenommen.

Die zweite wissenschaftliche Erkenntnis, die das Vorhandensein von Helligkeitskonstanz beschreibt, ist jene, dass sie eng mit der räumlichen Wahrnehmung zusammenspielt und sogar deaktiviert werden kann. Wird beispielsweise Papier gefaltet und unter verschiedenen Beleuchtungen betrachtet, wird das Papier, obwohl es wegen Schattenwürfen teilweise als unterschiedlich hell verstanden werden könnte, als Weiß interpretiert. Betrachtet man allerdings ausschließlich die gefaltete Ecke, also den Übergang von hellem zu wenig beleuchtetem Papier, indem man zum Beispiel durch eine eigens angefertigte Maske blickt, die die räumliche Information nicht zulässt, wird das Papier nicht mehr als zusammengehörig betrachtet und das Gesehene als einerseits Weiß und andererseits als Grau bzw. Schwarz wahrgenommen. Die Helligkeitskonstanz wird demnach durch das Ausbleiben von räumlicher Information schlichtweg deaktiviert.

### **2.3.2 Bildwahrnehmung und biologische Informationsverarbeitung**

Der Mensch verarbeitet Wahrgenommenes im Gehirn. Diese menschliche Form der Informationsverarbeitung lässt sich in vier Bereiche aufgliedern (Mallot, 2000).

- ➔ Die Wahrnehmung umfasst die Aufgabe der Auswertung der Sinneseindrücke.
- ➔ Das Verhalten des Menschen kontrolliert das Gehirn mit Hilfe der Muskeln und Drüsen.
- ➔ Das Gedächtnis lässt sich auf Grund seiner Dauerhaftigkeit in zwei Teilbereiche unterteilen. Das Kurzzeitgedächtnis beinhaltet Information, die für die Verarbeitung relevant ist, wobei das Langzeitgedächtnis jene Information speichert, die den Wissens- und Fähigkeitsstand des Menschen bestimmen.
- ➔ Höhere Funktionen, wie Kognition und Motivation, umfassen jene Bereiche des Gehirns, in denen bestehendes Wissen vernetzt wird, um bspw. Problemlösen zu ermöglichen.

Der Praxisteil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Bildwahrnehmung. Da sowohl das Bild als auch der Betrachter dabei grundsätzlich unbewegt sind, die Studienteilnehmer somit von Umgebungsreizen nicht abgelenkt werden, sind Strukturmerkmale des Bildes von großer Bedeutung. Das visuelle Feld des Betrachters wird dabei weitgehend vom aktuellen Bild geprägt. In diesem Zusammenhang wird von „Betrachtung“ gesprochen, weil die menschliche Wahrnehmung nicht mit dem Ziel der Vorbereitung oder Steuerung einer Handlung funktioniert (Kebeck, 2006). Dieser Vorgang der Anschauung dient dabei nicht primär der Erweiterung von Wissen, löst jedoch höhere kognitive Prozesse aus. Diese sind viel intensiver als in normalen Wahrnehmungssituationen. Ein Wechselspiel von Wahrnehmung und Vorstellung ist die Folge. Ein außerdem recht ausgedehnter Zeitrahmen lässt die Wahrscheinlichkeit von Mehrdeutigkeiten steigen.

*„Die Bildwahrnehmung stellt geringere Anforderungen an die Konstruktion einer stabilen visuellen Welt, aber sie stellt höhere Ansprüche an die Konstruktion einer eindeutigen visuellen Welt.“ (Kebeck, 2006 :74)*

Die oben angeführte Aufschlüsselung der biologischen Informationsverarbeitung, besonders die der höheren kognitiven Funktionen, spielt bei der Betrachtung von Bildern eine äußerst wichtige Rolle. Bestehendes Wissen greift dabei aktiv in die Bildwahrnehmung ein und lässt Interpretationen und Erwartungen zu, die in dieser ausgeprägten Form in realen Bedingungen nicht zu Stande kämen. Dieses menschliche Verhalten zeigt sehr deutlich, wie wichtig die Gestaltung der Studienbilder tatsächlich ist. Es müssen Vorstellung und Erwartung

tung der Probanden erfüllt werden, um überhaupt auswertbare Information zu sammeln. Die These, dass erfahrene Studienteilnehmer mehr Fehler in den Bildern erkennen als Personen, die in den Bereichen der Bildbearbeitung und Bildverarbeitung keine, oder nur wenig Erfahrung aufweisen können, wird durch diese Grundlagen gestärkt. Da die Testpersonen aus gleichen Kulturkreisen stammten, konnte auf das Einbeziehen und Berücksichtigen möglicher kultureller Unterschiede verzichtet werden.

Auf Abbildung 2.3.2-1 lässt sich erkennen, dass Informationsverarbeitung visueller Inhalte nur zu Teilen auf der tatsächlich wahrgenommenen Information beruht. Vier unterschiedliche Verarbeitungsschritte im Gehirn ermöglichen das Anwenden von Wissen und Gedächtnisinhalten. Alle diese Schritte verfolgen das Ziel der Erstellung einer Repräsentation und sind in Summe für das Endergebnis verantwortlich.

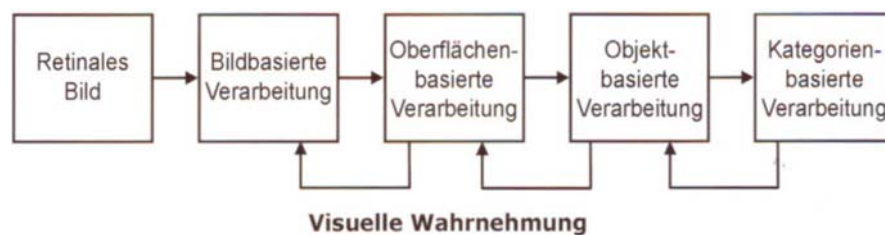


Abbildung 2.3.2-1 (Kebeck, 2006 :100)

### 2.3.3 Gestaltgesetze

*„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“* (Konecny et al., 2000 :8)

*„„Auch wenn kein menschlicher Geist in der Lage sein mag, das Ganze der Schöpfung voll zu erfassen, so ist es uns doch möglich, diese Strukturen zu entdecken; und eine verlässliche Beschreibung jedweden Phänomens kann den innersten Regeln und Prinzipien des Phänomens selbst gerecht werden“* (Wertheimer, 1991 :123-124)“ (Müller, 2003 :171)

Die Gestaltpsychologie beschreibt einige gültige Gesetze, die für die Kreation von Bildern wesentlich sind. Es geht dabei um unwillkürliche Interpretation von Wahrgenommenem, das sich erheblich auf die Bildanschauung auswirkt. Darunter fällt das Gesetz der Ähnlichkeit, welches beschreibt, dass einander ähnliche Objekte automatisch als zusammengehörig gesehen werden. Es erfolgt dabei eine unwillkürliche Gruppierung von Bildinhalten, die einander ähnlich sind. Dieses Gesetz baut, wie auch alle anderen, auf das Gesetz der guten Gestalt auf. Menschliche Wahrnehmung als aktiver Prozess, vereinfacht Bildinformation immer, um möglichst eindeutige und einfache Strukturen zu schaffen. Auch zwei unterschiedliche sich überschneidende Objekte werden dabei immer getrennt gesehen und nicht unwillkürlich zusammengefasst. Erst ein späterer Prozess, im Rahmen einer ausgedehnten Analyse, kann solche Wahrnehmungsmuster brechen und mehrdeutige Schlussfolgerungen zulassen, die bei genauer Betrachtung zielführend sein können.

Das Gesetz der Nähe beschreibt wiederum Objekte, die automatisch als zusammengehörig wahrgenommen werden, wenn sie räumlich oder zeitlich nahe beieinander liegen. Diese Gesetzmäßigkeit wirkt besonders stark und kann andere Gesetze schlichtweg überlagern. Beispielsweise werden ganz unterschiedliche Objekte, auch wenn ähnliche Information verfügbar ist, mit anderen Bildinhalten gruppiert, obwohl sie sich nicht gleichen. Dieses Beispiel zeigt, dass das Gesetz der Nähe stärker wirkt als das Gesetz der Ähnlichkeit.



In der Psychologie sind noch viel mehr Gesetze definiert, die aktiv die Bildbetrachtung beeinflussen. Sie beruhen grundsätzlich alle auf dem Prinzip der Vereinfachung, weil der Mensch unwillkürlich ähnliche Information gruppiert. Es kann dabei auch jederzeit zu einer Überlappung mehrerer Gesetzmäßigkeiten kommen, wodurch sich oftmals Bildinterpretationen verschiedener Personen von einander unterscheiden. Gesetze, wie das der Geschlossenheit, das, obwohl unvollständige Randinformation vorliegt, sogar vollkommen unbekannte Objekte erschließen lässt, oder das Gesetz des gemeinsamen Schicksals, das auf Grund der Ausrichtung von Objekten Bildinhalte gruppiert, wirken sich stark, aktiv und unwillkürlich auf den Bildwahrnehmungsprozess aus. All diese Gesetzmäßigkeiten gelten nicht nur bei der Interpretation von Objektstrukturen, sondern auch bei Helligkeits- und Beleuchtungseigenschaften von Inhalten (Goldstein, 1997, 2002; Konecny et al., 2000).

Das Kennen dieser Gesetze ermöglicht es diese bei der Bildkreation zu berücksichtigen, um bei Bildkompositionen besonders darauf achten zu können, keine segmentierten Inhalte unwillkürlich als Fremdobjekt auf neuem Hintergrund erscheinen zu lassen.

### 2.3.4 Wahrnehmung von räumlicher Tiefe und Größe

Die Wahrnehmung räumlicher Tiefe spielt auch bei der Betrachtung von Einzelbildern eine wesentliche Rolle. Durch das Vorliegen von Schattierungen und Schatten, Texturgradienten und Perspektive, Verdeckung und bekannter Objektgrößen, schließt der Mensch auch bei zweidimensionalen Visualisierungen, wie etwa einem Bild, auf räumliche Tiefe (Mallot, 2000). Alle diese Tiefenhinweise enthalten unterschiedliche Informationstypen, die räumliche Vorstellung erlauben. Beispielsweise geben Schattierungen und Texturen Aufschluss über Oberflächenorientierungen. Schattierungen sind zum Unterschied zur herkömmlichen Bezeichnung des Schattens, Grauwertänderungen am Objekt selbst, die in Form von schattierten Oberflächen sichtbar sind. Als Schatten wird im Gegensatz dazu ein Schattenwurf auf andere Objekte bezeichnet.

Während Schattierungen bei segmentierten Bildern in neuen Umgebungen einen weitaus geringeren Problemanpruch besitzen, verlangen globale Lichtverhältnisse innerhalb eines neuen Hintergrundbildes größtenteils einen Schattenwurf. Diese Komponente gilt es zu minimieren, wenn ein möglichst realitätsgetreues, neues Bild zusammengestellt werden soll. Menschliche Wahrnehmung entlarvt Fehler in räumlicher Tiefe und Größe intuitiv und verringert damit die Glaubwürdigkeit einer Bildkomposition.

Abbildung 2.3.4-1 zeigt, wie sich Schattierungen für die qualitative Bildinterpretation auswirken. Bereits während unbeabsichtigten Suchprozessen, im Zuge der so genannten präattentiven Verarbeitung, lassen sich Auffälligkeiten, die sich später in Form von Tiefen- und Größeneinschätzungen erläutern lassen, unbehindert erkennen.

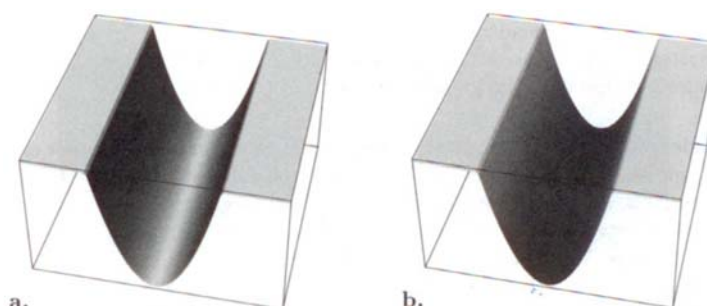


Abbildung 2.3.4-1 (Mallot, 2000 :148)

In Abbildung 2.3.4.2 ist mit ganz schlichten Quadraten visualisiert, wie sich der Einsatz von Schatten auf die menschliche Wahrnehmung auswirkt. Bilder ohne Schatten werden immer als „Figur“ gesehen, während Figuren mit Schatten zu „Objekten“ werden.

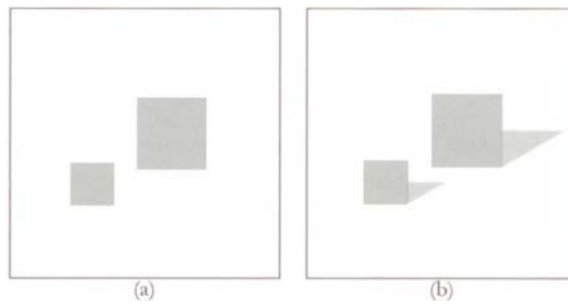


Abbildung 2.3.4-2 (Kebeck, 2006 :112)



## 2.4 Arbeiten mit Bildern

### 2.4.1 Bildsegmentierung

*„Colour image segmentation is a process of extracting from the image domain one or more connected regions satisfying uniformity (homogeneity) criterion which is based on feature(s) derived from spectral components.“ (Skarbek et al., 1994 :5)*

*„Texturgrenzen können ähnlich wie Helligkeits- oder Tiefengrenzen die Einteilung des Bildes in sinnvolle Regionen unterstützen. In der Natur werden umgekehrt Oberflächenzeichnungen gezielt eingesetzt, um die Segmentierung zu erschweren, d.h. zur Tarnung.“ (Mallot, 2000 :161)*

Eine Bildsegmentierung hat zur Aufgabe, Bildinhalte als zusammengehörig zu erkennen und vom restlichen Inhalt zu trennen. Algorithmen berechnen auf Grund vorliegender Regeln, welche Bildbereiche eine zusammenhängende Region beschreiben und welche zu einer anderen gehören. Da die Segmentierung nahezu alle Bildverarbeitungen betrifft, weil sie Teil des Gesamtprozesses (siehe Abbildung 2.4.1-1) ist, gilt es sie näher aufzuschlüsseln. In vielen Bereichen der Bildverarbeitung dient die Segmentierung von Bildinhalten der objektbezogenen Informationsanalyse, wie der Schrift- und Landschaftserkennung (Fuchs, 1997). Dafür muss ein gesamtes Bild immer in eine variable Anzahl von Regionen unterteilt werden, um eine weitere Klassifizierung vornehmen zu können. Dabei werden der Grauwert und lokale oder spektrale Eigenschaften von Bildregionen herangezogen, um Bereiche zu segmentieren.



Abbildung 2.4.1-1 (Abmayr, 1994 :11)

*„Die Bildsegmentierung dient zur Rekonstruktion der geometrischen Grundstrukturen aus den vorliegenden [...] Rasterdaten. [...] Fachübergreifend stellt die Fähigkeit des Menschen, ein beliebiges Bild scheinbar mühelos in semantisch sinnvolle Strukturen zu partitionieren, die angestrebte Zielvorstellung dar.“ (Fuchs, 1997 :18)*

Das Zusammenfassen von Bildregionen, also das Abstandnehmen von einzelnen Bildpunkten, bezeichnet man als Definierung von „regions of interest“ – also das Finden für den jeweiligen Anwendungsfall interessanter Bildregionen (Abmayr, 1994; Radig, 1993). In vielen Bereichen müssen „regions of interest“ automatisch gefunden werden, weil Bilder auch computerunterstützt weiterverarbeitet werden sollen. Solche Anwendungsszenarien generieren zumeist eine binäre Segmentierung des Bildes in Bereiche, die zu dem Objekt gehören und die nicht zu dem Objekt gehören. Dabei handelt es sich um eine Vereinfachung, die in vielen Bereichen, wie Automobilindustrie und Medizin, getroffen werden kann und auf Grund begrenzt vorhandener Rechenkapazitäten getroffen werden muss. Die Zeit steht also bei diesen Anwendungen im Vordergrund und nicht unbedingt die Qualität der Ergebnisse. Sollen lediglich Objekte erkannt werden, um eine Aktion zu setzen (z.B. ein Auto, das Hindernisse auf der Fahrbahn erkennt und den Fahrer warnt oder Zellanalyse in der Medizin) ist es auch nicht erforderlich das Objekt exakt zu segmentieren. Die Wahl eines für die entsprechende Situation möglichst optimalen Schwellwertes bei der Berechnung dient der zielgerechten Erkennung der gewünschten Objekte zur Laufzeit.

Wenn Bildsegmentierungsmethoden verwendet werden, um ein Objekt realistisch in eine neue Umgebung einzubetten, spielt die Qualität der Bildsegmentierung eine wesentliche Rolle. Ein zu extrahierendes Vordergrundobjekt soll später mit einem Hintergrundbild kombiniert eine Bildkomposition ergeben. Objektflächen von Vordergrundobjekten weisen jedoch nicht immer klare Grenzen auf, da manche Pixel eine Mischung aus Vorder- und Hintergrundfarbe darstellen. Gemischte Bildpunkte können beispielsweise auf Grund von Subpixelstrukturen, Bewegungsunschärfe oder auf Grund von transparenten Objekten entstehen. Qualitativ hochwertige Bildsegmentierungen setzen daher weitere Abstufungen voraus, da eine ausschließlich binäre Klassifizierung in Vorder- und Hintergrund unzureichend ist (vergleiche Abbildung 2.4.1.1-1(c)).

*„The success of an image segmentation algorithm is measured by the extent to which acceptable results can be obtained reliably over a range of domains and the computational efficiency with which this objective can be achieved.“ (Bab-Hadiashar et al., 2000 :4)*

#### 2.4.1.1 Matting

Die Aufgabe beim Matting besteht darin, den Transparenz- bzw. Deckungswert, die so genannte „Alpha Matte“ jedes Bildpunktes, zu berechnen. Die Alpha Matte (siehe Abbildung 2.4.1.1-1(c)) kennzeichnet jene Stellen des Originalbildes (siehe Abbildung 2.4.1.1-1(a)), die zum Vorder- bzw. Hintergrundobjekt gehören. Pixel, die dabei eindeutig als Vorder- bzw. Hintergrund klassifiziert wurden, werden in weiß bzw. schwarz dargestellt, während Bildpunkte, die sowohl Vorder- als auch Hintergrundinformation beinhalten, als Grauwerte visualisiert werden (siehe zum Beispiel Chuang et al., 2001).

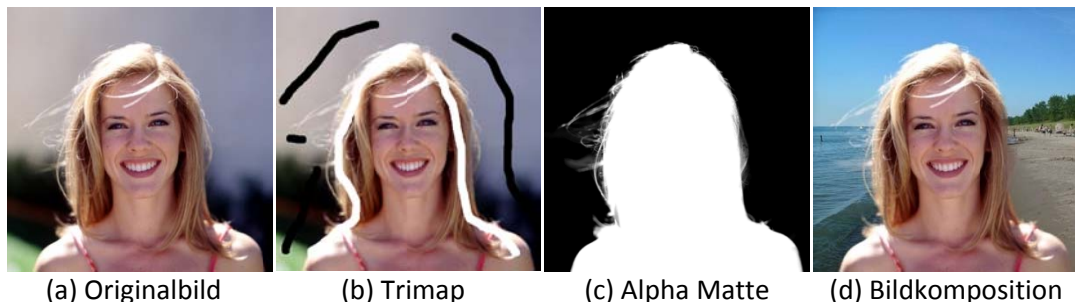


Abbildung 2.4.1.1-1 (Wang et al., 2007): Das Originalbild (a) zeigt die zu segmentierende Person. Der Benutzer erstellt eine Trimap (b), indem er Vorder- und Hintergrund mit weißer bzw. schwarzer Farbe markiert. Der Matting-Algorithmus berechnet auf Basis der aus der Trimap gegebenen Information eine Alpha Matte (c). Mit Hilfe der berechneten Daten kann das Vordergrundobjekt (in diesem Beispiel eine Person) aus dem Originalbild segmentiert und in eine neue Szene eingefügt werden (d).

Im Praxisteil werden zwei Matting-Algorithmen untersucht, die Alpha Mattes generieren, um mit deren Hilfe eine segmentierte Region als möglichst echt wirkendes Objekt in einer neuen Umgebung erscheinen zu lassen. Die dafür notwendigen „regions of interest“ werden dabei jedoch nicht automatisch generiert, sondern vom Benutzer selbst gewählt. Dafür eignet sich die Angabe einer Trimap, die die Bereiche „Vordergrundobjekt“, „Hintergrund“ und „Unbekannt“ unterscheidet.

Der Matting-Algorithmus entscheidet über die Zugehörigkeit in den unbekanntem Bereichen. Die Angabe einer exakten Trimap, die nur kleine Übergangsbereiche aufweist, führt meist zu besseren Ergebnissen, da dem Algorithmus mehr Information zur Verfügung steht. Bei der Erstellung von Trimaps ist jedoch die zeitliche Komponente ihrer Generierung zu be-

rücksichtigen. Schließlich sollte das Ziel sein, durch einfache, schnell generierte Markierungen ein optimales Ergebnis zu erhalten (vergleiche Abbildung 2.4.1.1-2 (a) und (b)).

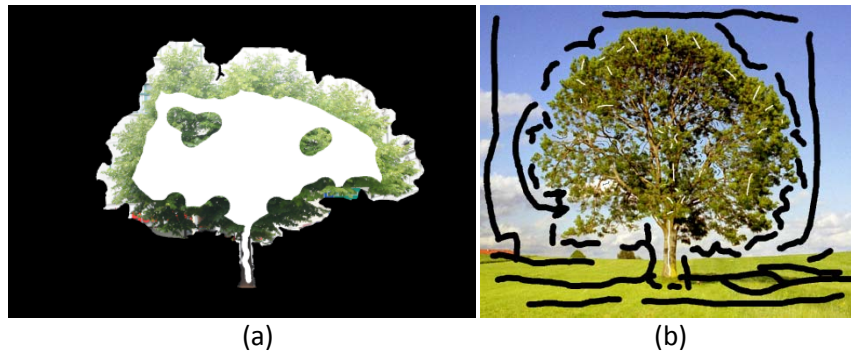


Abbildung 2.4.1.1-2: (a) exakte Trimap; (b) ungenaue Trimap

Ist die wahre Alpha Matte bekannt, so lassen sich Resultate verschiedener Matting-Algorithmen quantitativ vergleichen (siehe zum Beispiel Levin et al., 2007; Wang et al., 2007). Die Qualität lässt sich allerdings nur bedingt messen, da gemessene Fehler oft nicht mit der subjektiv wahrgenommenen Qualität übereinstimmen.

*„Segmentierung ist im hohen Maße ein subjektiver Vorgang.“ (Abmayr, 1994 :223)*

Vorgänge des menschlichen visuellen Systems nehmen im Bereich der Bildsegmentierung eine Vorbildwirkung ein, doch das Messen eines Ergebnisses stellt große Probleme dar. In dieser Arbeit werden daher die Resultate zweier Matting-Algorithmen qualitativ betrachtet (siehe Kapitel 3.6).

#### 2.4.1.2 Bildverstehen

Das Verstehen eines Bildes wird in drei Kategorien aufgeteilt (Radig, 1993):

- ➔ Bedeutungserfassung umfasst das Zuweisen eines Namens.
- ➔ Begreifen beschreibt das Verstehen von kausalen Zusammenhängen.
- ➔ Intuitives Erfassen beschreibt das Verstehen von Zusammenhängen, die begründet werden müssen.

Auch bei der Bildverarbeitung ist das Bildverstehen analog zu menschlichen Abläufen definiert. Computer arbeiten, ähnlich wie der Mensch, in vielschichtigen Prozessen diese Komplexität an Ebenen ab. Im Bereich der Bildverarbeitung spricht man von Bildvorverarbeitung, Segmentierung, Komponenten-, Szenen- und Objekterkennung, will man die grundlegenden Operationen beschreiben.

*„Aus der Sicht der Informatik ist Bildverstehen ein Vorgang, bei dem zuerst Modelle aufgebaut werden müssen, um zu definieren, was überhaupt extrahiert (gemessen) und gesehen werden kann.“ (Abmayr, 1994 :22)*

Es gibt letztendlich viele verschiedene Herangehensweisen, die sich zumeist auch untereinander ergänzen, um eine, für das jeweilige Anwendungsgebiet, optimale Segmentierung zu erhalten. Diese umfassen nicht nur die Definition von Objektformen, weil Objekte von Computern auch anhand fotometrischer Beschreibungen verstanden werden können. Diese beinhalten spektrale Empfindlichkeiten und Einschränkungen in der Farbdarstellung (Abmayr, 1994; Bab-Hadiashar et al., 2000). Objektkanten können oftmals durch eine Intensitätsdifferenz erkannt werden, weil sie von Beleuchtungsänderungen größtenteils unbeein-

flusst bleiben. Aber nicht jede Änderung von Intensität ist auch tatsächlich das Ende oder der Beginn eines neuen Objekts, weil Texturen, Schatten und Muster diese beeinträchtigen. Lokale Bildeigenschaften, wie die räumlicher Tiefe und Farbe, müssen jedenfalls zusätzlich Berücksichtigung erfahren (Mallot, 2000).

Der Einsatz einer Trimap liefert dem Computer eine manuelle Beschreibung einer Fotoszene, indem Vorder- und Hintergrund markiert, sowie Übergangsbereiche gekennzeichnet wurden. Ein Algorithmus entscheidet nun hinsichtlich formal definierter Kategorien, wie fotometrischer Beschreibungen, ob ein gewisser Bildbereich dem Objekt, also dem Vordergrund, zuzuordnen ist.

#### 2.4.2 Bildmanipulation

Werden Bilder verändert, indem beispielsweise spezifische Ausschnitte herausgefiltert werden, stellt sich immer die Frage des Wirklichkeitsanspruchs. Bilder bestehen zum Großteil aus Fotografien. Werden diese Fotos allerdings später mit Hilfe von Computereinsatz verändert, kommt es zu einer Verfremdung des ursprünglichen Inhaltes. In den meisten Unternehmen, die sich mit einer Verarbeitung von Bildmaterial beschäftigen, wie Grafikstudios, werden Technologien eingesetzt, die das digitale Bild verändern. Es gilt jedoch eine klare Abgrenzung zu definieren, unter welchen Umständen von einer Manipulation zu sprechen ist.

*„Manipulation bedeutet die mit einer Täuschungsabsicht verbundene intentionale Veränderung von Informationen durch Auswahl, Zusätze oder Auslassungen.“ (Forster, 2003 :66)*

Die Einführung der digitalen Fotografie Ende des 20. Jahrhunderts führte vermehrt zu Problemen bei der Feststellung, ob ein Bild Realitätsanspruch besitzt. Die Entwicklung und spätere Verbreitung leicht umgänglicher Grafiksoftware, wie Adobe Photoshop® (Adobe Systems Incorporated, [www.adobe.com](http://www.adobe.com)), ermöglicht bis heute selbst unerfahrenen Benutzern das problemlose Manipulieren digitaler Bilder. Die Möglichkeit, für ein breites Publikum, aufgenommenes Bildmaterial nachträglich zu bearbeiten, stellt den Realitätsanspruch von Fotografien in Frage. Obwohl auch analoge Bilder nachträglich bearbeitet werden konnten, erforderte dies praktische Kenntnisse, die nur Experten mitbrachten. Grundsätzlich ist ein Anspruch auf Objektivität einer Kamera niemals gegeben, weil bereits der Fotograf mit dem Einsatz von Material und Umweltverhältnissen das spätere Wirken einer Szene beeinflusst (Grittmann, 2003; Schmoll, 1980), dennoch wirkt sich die breite, nachträgliche, digitale Manipulationsmöglichkeit negativ auf die Glaubwürdigkeit von Bildern aus. Andererseits entsteht ein geschärftes Bewusstsein für mögliche Veränderungen in einer breiten Masse (Forster, 2003; Weidmann, 2006).

Dabei stellt sich heraus, dass Bildmanipulation eng mit der Absicht, die eine Person verfolgt, verbunden ist.

In Abbildung 2.4.2-1 (a) lässt sich die Absicht der Bild-Zeitung erkennen, die mit dieser Publikation verfolgt wurde. Mittels gezielter Bearbeitung des Fotomaterials wurde aus einer Fotografie, die maskierte Menschen – möglicherweise Polizisten – hinter einem Absperrseil zeigt, eine für den späteren Betrachter oder Leser gefährliche aussehende Szene geschaffen, die brutale Schlägereien nahe legt. In diesem Fall kann man, nach Forster, von Bildmanipulation sprechen, da die Herausgeber dieser Tageszeitung gezielt den Leser täuschen wollten, indem sie Bildinformation veränderten. Abbildung 2.4.2-1 (b) zeigt die Originalfo-



tografie, die nach Veröffentlichung der Manipulation am nächsten Tag von einer anderen Tageszeitung publiziert wurde.



Abbildung 2.4.2-1: (a) Bild-Zeitung, 2001 (Müller, 2003 :102); (b) Hamburger Morgenpost, 2001 (Müller, 2003 :103)

Die Abbildungen 2.4.2-2 (a) und (b) zeigen tägliche Arbeit, die in einem Grafikstudio erfolgt. Der Grafiker veränderte gemäß eines Auftrags der Marketingabteilung eines Automobilkonzerns die Ansicht eines Automodells, das später auf Werbeplakaten wiederzufinden sein soll. Dies kann unterschiedliche Gründe, wie die Seitendarstellung auf Grund verschiedener Fahrtrichtungsgebote, wie Links- und Rechtsverkehr, haben. Obwohl hier sehr wohl Information im Bild verändert wurde, wie die Umplatzierung des Lenkrads und die Rekolorierung des gesamten Kraftfahrzeugs, aber mögliche Käufer des Produktes nicht mittels falscher Information getäuscht werden sollen, ist hier grundsätzlich nicht von Bildmanipulation zu sprechen.



Abbildung 2.4.2-2: Mitsubishi Lancer (Reszl, 2007)

## 2.5 Eye-Tracking

*„Die Registrierung von Augenbewegungen ist ein möglicher Weg, die Bildanalyse des Betrachters zu rekonstruieren. [...] Ein häufig verwendetes Verfahren ist die Augenbewegungskamera. Diese wird auf die Pupille justiert und zeichnet den zeitlichen und räumlichen Verlauf der einzelnen Bewegungen und Fixationen auf.“ (Kebeck, 2006 :230)*

Analysen, die auf Eye-Tracking Daten aufbauen, sind besonders auf Sakkaden (siehe Kapitel 2.1.1.1) und Fixationen (siehe Kapitel 2.1.1.2) der Bildbetrachter gestützt. Diese beiden Blickverhalten sind für die Bewertung von Eye-Tracking Resultaten ausschlaggebend (Kebeck, 2006).

*„[...] am häufigsten benutzten Parameter der Registrierung – Sakkaden, Fixationen und Augenbewegungspfade.“ (Joos et al., 2003 :1)*

### 2.5.1 Funktionsweise

Eye-Tracking Kameras dienen der Erfassung von Augenbewegungspfaden, sowie der Aufzeichnung von Fixationen und Sakkaden (siehe Kapitel 2.1.1.1 und 2.1.1.2) von Probanden. Im Zuge einer späteren Auswertung geben diese Informationen näheren Aufschluss über blickrelevante Aufgabengebiete.

Bereits die subjektive Erkennung von Augenbewegungen kann ausreichen, um Erkenntnisse zu gewinnen. Die beiden Methoden, retinale Nachbilder und direkte Beobachtung, sind Beispiele dafür. In Dunkelheit werden in Form von Lichtblitzen Bilder auf die Retina geworfen, die die Probanden auf Grund ihrer individuellen Augenposition auf unterschiedlichen Positionen wahrnehmen. Diese Positionen müssen allerdings verbalisiert werden und unterliegen somit subjektiven Fehleinschätzungen (Joos et al., 2003). Die direkte Beobachtung, also das Beobachten von Augenbewegungen anderer Personen mit den eigenen Augen, findet häufig in medizinischen Eingangsuntersuchungen Verwendung. Dazu zählen unkomplizierte Tests um festzustellen, ob bestimmte Reflexe oder Augenbewegungen ausgeführt werden können (Joos et al., 2003).

Eine digitale Repräsentation von Augenbewegungsdaten zu schaffen, ist mit Hilfe von Eye-Tracking Kameras möglich. Es gibt unterschiedliche Funktionsweisen, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile hinsichtlich Genauigkeit und Bewegungsfreiheit der Personen mit sich bringen:

Die Kontaktlinsenmethode (Joos et al., 2003) zeichnet sich dadurch aus, dass eine Kontaktlinse in die Augen der Testpersonen eingesetzt wird. Diese ist allerdings vorher Maß zu fertigen, um Genauigkeit auch bei schnellen Augenbewegungen sicherstellen zu können. Dieses Messverfahren berechnet mit Hilfe von Spiegeln oder Magneten auf den eingesetzten Linsen die jeweilige Augenposition. Lichtempfindliche Kameras zeichnen Reflexionen gespiegelten Lichts auf und stellen so die Position der Augen fest. Innerhalb eines Magnetfelds kann die Lage der mit Magneten ausgerüsteten Linsen mit Hilfe von Abstandsmessungen bestimmt werden. Andere Systeme machen sich die menschliche Anatomie des Auges zu nutze, indem sie bekannte Strukturen des Auges mittels Lichtstrahlen hervorheben und mit Hilfe einer Kamera einfangen. Licht, im für den Menschen unsichtbaren Bereich, wie Infrarot, eignet sich besonders für diese Methode (Joos et al., 2003).

Eine beispielsweise fest ausgerichtete Kamera sendet infrarotes Licht aus und kann die Pupille des menschlichen Auges nach vorheriger Kalibrierung mit Kameras erfassen, da sie einen Teil des Lichts absorbiert. Die Positionsdaten werden einfach hinsichtlich Kamera- und Probandenposition nach definierten Kalibrierungsrichtlinien automatisch umgerechnet und sind in Echtzeit verfügbar.



Abbildung 2.5.1-1: Im Rahmen der Studie (siehe Kapitel 3.5ff) fand die Eye-Tracking Kamera Tobii x50 (Tobii Technology AB, <http://www.tobii.com>) Verwendung. Die Vorteile ihrer Verwendung sind, dass die Probanden in ihrer Bewegung nur wenig eingeschränkt werden und kein direkter Kontakt mit dem Gerät benötigt wird. Das Aufbauen der Eye-Tracking Kamera nimmt nur wenige Minuten in Anspruch, da die Infrarotsender bereits integriert sind.

## 2.5.2 Informationen aus Augenbewegungskameras

*„Die Wahl der Darstellungsform für die Daten der Augenbewegungen aus dem EyeTracking Experiment richtet sich in der Regel nach dem Einsatzgebiet.“ (Schneider, 2007 :1)*

Mit Eye-Tracking Kameras werden folgende Informationen aufgezeichnet<sup>1</sup>:

- ➔ Fixationen und ihre Dauer: Hotspots visualisieren die Dauer einer Fixation. Jede Fixierung des Auges wird aufgezeichnet und als Punkt auf dem gezeigten Bild dargestellt. Dabei wird zusätzlich die Fixationsdauer ermittelt, um kürzere von länger andauernden Fixationen unterscheiden zu können. Anhand dieser Daten können Fixierungen der Probanden getrennt analysiert werden, indem zum Beispiel kurze Fixierungen nicht angezeigt werden, um jene Bildbereiche näher auswerten zu können, die lang andauernde Fixationen verzeichneten. Eine Zuweisung eines Farbwerts auf Basis der Fixationsdauer lässt besonders intensiv betrachtete Bildregionen hervorheben. Je länger eine Fixation anhält, desto kräftiger wird ihre Farbe in der Hotspots-Visualisierung dargestellt.
- ➔ Zeitliche Reihenfolge der Fixationen: Gaze Views zeigen den zurückgelegten Pfad eines Probanden. Diese Visualisierung legt zurückgelegte Augenpfade der Versuchsperson offen, indem der Weg aufsteigend nummeriert dargestellt wird. Dieser nummerierte Weg berücksichtigt außerdem die zeitliche Komponente, da die Verweildauer des Auges an einer bestimmten Stelle ebenfalls abzulesen ist. Diese Verweildauer kommt den Fixationen des Auges gleich. Zwischen den Fixierungen können Sakkaden, so genannte weitläufige Blicksprünge, abgelesen werden. Eine große Anzahl von Sakkaden deutet beispielsweise auf eine intensive Suche hin. Die Gaze View Darstellung ermöglicht eine Analyse des zurückgelegten Augenpfades auch auf quantitativer Ebene, da Studienteilnehmer problemlos miteinander verglichen werden können.

---

<sup>1</sup> Die Bezeichnungen wurden von der, in der Studie verwendeten, Tobii ClearView™ 2 Analysis Software (Tobii Technology AB, <http://www.tobii.com>) übernommen.

Bei der Analyse von Eye-Tracking Bildern gilt es besonders die Absicht einer Studie oder eines Experiments zu beachten. Analysetools von Eye-Tracking Kameras ermöglichen auch nach Durchführung einer Studie die Daten zu strukturieren (vergleiche Tobii ClearView™ 2 Analysis Software, Tobii Technology AB, <http://www.tobii.com>).

Einige Anwendungsgebiete mit Informationsbeispielen:

- Medizin / Psychologie
    - sämtliche Augenbewegungen (Konvergenzbewegungen, Folgebewegungen, etc.)
    - Pupillengröße
    - Lidschlüsse
  - Leseforschung
    - Sakkadengröße
    - Anzahl und Dauer der Fixationen und Sakkaden
    - Anzahl regressiver Sakkaden
    - Frequenzcharakteristik der Sakkaden (Unsicherheit)
    - Konstanz der Fixationen
  - Werbung / Design
    - Gesamtverweildauer in einer Bildregion (area of interest)
    - Anzahl an Blickkontakten in einer Region
    - Messen der Zeit bis zum ersten Blickkontakt
- (Schneider, 2007)

Im Rahmen der Eye-Tracking Analyse (siehe Kapitel 3.6) wurden Fixationen und ihre Dauer mit so genannten Hotspots visualisiert. Gaze View Darstellungen, die den Bewegungspfad der Augen wiedergeben, ließen das Blickverhalten rekonstruieren.

### 2.5.3 Anwendungsgebiete

Eye-Tracking findet in vielen unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen Verwendung. Die Möglichkeit Augenbewegungen aufzeichnen zu können, um diese später zu analysieren, hilft dabei menschliches Verhalten zu erklären oder Systeme zu schaffen, die menschliche Eigenschaften berücksichtigen. In wissenschaftlichen Bereichen, in denen Verhaltens- und Bewegungsweisen studiert werden, ist es von Vorteil Kameras zu verwenden, die möglichst alle natürlichen Bewegungsfreiheiten zulassen. Aus diesem Grund wurden Eye-Tracking Kameras entwickelt, die am Kopf der Probanden getragen werden können, um möglichst viele Freiheitsgrade zu ermöglichen (Duchowski et al., 2002).

*„The development of eye trackers that can be mounted on the head now allows monitoring of gaze without restricting the observer’s movements.“* (Hayhoe et al., 2002 :1)

Selbst im Bereich von Videokonferenzen sind Eye-Tracking Kameras hilfreich, weil sie das Blickverhalten der Kommunikationspartner erfassen und virtuell korrigieren können, um einen virtuellen direkten Blickkontakt herzustellen.

*„Tracking the eyes and warping the eyes appropriately each frame appears to create natural eye contact between users.“* (Jerald et al., 2002 :1)

Das Erfassen von Augenbewegungen ist auch dann sinnvoll, sollen neuartige Benutzeroberflächen geschaffen werden, die anhand visueller Aufmerksamkeit des Computeranwenders individuell dargestellt werden sollen. Dabei werden personenspezifische Daten der Augen-



bewegungen erfasst, um Bildbereiche erhöhter Aufmerksamkeit zu erfassen und diese Bereiche geeignet darzustellen.

*„An Attentive Interface is a user interface that dynamically prioritizes the information it presents to its users, such that information processing resources of both user and system are optimally distributed across a set of tasks.“ (Vertegaal, 2002 :1)*

Eye-Tracking Kameras eröffnen auch für motorisch eingeschränkte Menschen neue Möglichkeiten im Bereich der Dateneingabe. Das so genannte Eye-Typing ist ein Beispiel dafür. Körperlich eingeschränkte Personen können über Computer mit Programmen oder Personen interagieren, indem Bildbereiche fokussiert werden (Majaranta et al., 2002).

Auch im Sicherheitsbereich kann Eye-Tracking verwendet werden um Hypothesen zu verifizieren. Beispielsweise wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem die Augenbewegungen von Autofahrern erfasst wurden, während sie über ein Mobiltelefon kommunizierten. Diese Studie veranschaulicht, dass während eines Telefonats beim Autofahren ein Großteil der Zeit dazu verwendet wird, nach Ampeln zu suchen. Die Autofahrer konzentrierten sich also primär auf Verkehrszeichen, wodurch die Gefahr steigt, andere Verkehrsteilnehmer zu übersehen.

*„This simulated cellular phone conversation had detrimental effects on reaction time, fixation number and fixation duration.“ (Scialfa et al., 2000 :1)*

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Eye-Tracking nicht nur neue Möglichkeiten im Bereich wissenschaftlicher Analyse eröffnet, sondern auch in vielen anwendungsorientierten Umfeldern bislang Undenkbares möglich machen kann.

## 3 Praxisteil – Durchführung einer Studie

### 3.1 Vorfelduntersuchung

*„[...] the visual counterpart is a physical one and can be influenced by user perception.“ (Bertini et al., 2006 :3)*

Der Helligkeitskanal des menschlichen Auges, der wahrgenommene Reize der Stäbchen transportiert, liefert die meisten Informationen über die Umwelt. Er ermöglicht dem Menschen das Sehen und Erkennen von Formen, Gestalten und Mustern. Die beiden Farbkanäle des menschlichen Auges ermöglichen das Erkennen von Kategorien und unterliegen dem Phänomen des Simultankontrastes (vergleiche Kapitel 2.1.2.1), der Interpretationsfehler bei visuellem Material hervorrufen kann. Soll eine bestimmte Farbsequenz eine spezifische Form oder Gestalt hervorheben, muss die Helligkeitskomponente signifikant unterschiedlich sein, um dem Benutzer das Wahrnehmen der visualisierten Form oder Gestalt zu erleichtern. Wird dies bei Benutzerstudien hinreichend berücksichtigt, erhält man bessere, auswertbare Ergebnisse bei einer späteren Analyse. Wenn Kategorien oder bestimmte Bereiche als zusammengehörig gesehen werden sollen, gelingt dies am besten mit einem gezielten Einsatz von Farbe, obwohl noch nicht wissenschaftlich geklärt werden konnte, welche Farben sich wofür am besten eignen. Dabei sollten nicht nur unterschiedliche Farben verwendet, sondern auch Helligkeitsabstufungen innerhalb einer Farbe vorgenommen werden.

Erkenntnisse aus Wissenschaften, die sich mit der Wahrnehmung von Bildern beschäftigen, ermöglichen das gezielte Unterstützen des menschlichen visuellen Systems. Somit können bereits in der Designphase einer Studie Bilder konstruiert werden, die die Aufmerksamkeit der Teilnehmer in eine beabsichtigte Richtung lenken. Um dem Teilnehmer einer Studie das Erkennen von Gefragtem zu erleichtern, ist es sinnvoll, klar definierte Formen in Höhe, Dichte und räumlicher Regelmäßigkeit darzustellen. Der Benutzer kann durch geschickte Visualisierungen bereits im Unterbewusstsein animiert werden, Gruppierungen vorzunehmen. Die Gesetze der Gestaltpsychologie (vergleiche Kapitel 2.3.3) beschreiben, welches visuelle Material grundsätzlich unterbewusst als Ganzheit betrachtet wird. Des Weiteren können verschiedene Techniken angewendet werden, um die Aufmerksamkeit des Probanden auf einen bestimmten Bereich zu lenken – beispielsweise indem ein Teil des Bildes scharf gestellt und der Rest weichgezeichnet wird. Dadurch wird eine Ablenkung durch Hintergrundinformation ausgeschlossen (Kosara et al., 2003).

Ein Beispiel für eine Gruppierung, die vorgenommen werden könnte, ist jene, die auf Grund unterschiedlicher Helligkeits- bzw. Farbkomponenten unwillkürlich passiert. Kombiniert man Innen- und Außenaufnahmen, trennt der Mensch automatisch diese beiden Bildbereiche.

*„Artificial lights have different color temperatures to sunlight. In indoor pictures, white walls often have a greenish-yellow appearance.“ (Leppäjärvi, 1999 :29)*

### 3.2 Einsatz einer Studie

Bevor man die Abhaltung einer Benutzerstudie in Erwägung ziehen kann, muss geklärt werden, ob sie überhaupt sinnvoll eingesetzt wird. Sinnvoll ist eine Studie immer nur dann, wenn man herausfinden möchte, unter welchen praktischen Umständen eine Technik, ein Algorithmus, eine abstrakte Theorie oder ein Design am besten funktioniert (Ellis et al., 2006; Kosara et al., 2003).

*„[...] if your aim is to understand whether, when and under what circumstances a technique or design principle works or is useful [...]“ (Ellis et al., 2006 :6)*

*„User studies can objectively establish which method is most appropriate for a given situation.“ (Kosara et al., 2003 :1)*

Beim Finden allgemein gültiger Schlüsse sind Benutzerstudien von großer Bedeutung (Bertini et al., 2006).

Studien können Aufschluss darüber geben, unter welchen Gegebenheiten eine bestimmte Methode oder Technik zielführend ist. Diese Erkenntnisse sind nicht nur für das Überprüfen von Praxistauglichkeit, sondern auch für eine Weiterentwicklung und Verbesserung enorm wichtig (Kosara et al., 2003). Das Testen und Überprüfen von Hypothesen ist dafür Voraussetzung.

Grundsätzlich steht bei einer Studie, im Bereich der Informatik, immer die Untersuchung der Praxistauglichkeit im Mittelpunkt, bei der Menschen den Evaluierungsprozess visueller Resultate oder Software unterstützen.

Mit Hilfe von forschungsorientierten Benutzerstudien wird getestet, ob gefestigte Erkenntnisse aus anderen Forschungsdisziplinen bzw. Wissenschaften, wie der Wahrnehmungspsychologie und Farbwissenschaft, angewendet werden können und so zu neuen Erkenntnissen in einem spezifischen Gebiet führen. Wissenschaftliche Erkenntnisse aus anderen Bereichen ermöglichen somit das Schließen der Lücke zwischen Theorie und Praxis (Kosara et al., 2003).

Eine Studie ist nicht zweckmäßig eingesetzt, will man Leistungen oder generell messbare Informationen einer Technik gewinnen. Dafür eignen sich beispielsweise unterschiedliche Algorithmen, die bereits kleinste visuelle Differenzen, wie Helligkeitsunterschiede oder Farbabweichungen, mit Hilfe eines Visual Difference Predictors, messen (Zhou et al., 2002).

### 3.3 Herangehensweise an eine Studie

*„Erfahrene Empiriker sind der Auffassung, dass mindestens 50% der gesamten Arbeitszeit für eine Studie auf die Versuchsplanung entfallen sollten.“ (Bortz et al., 2003 :14)*

Für die Evaluierung unterschiedlicher Resultate visualisierter Information müssen zu allererst die Absichten und das Ziel exakt konzipiert werden (Andrews, 2006; Ellis et al., 2006). Dabei wird eine der drei spezifischen Formen der Evaluierung gewählt, um eindeutige und aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen.

*„Because the techniques used for all kinds of evaluation are similar, it is often unclear which kind of evaluation authors intended to undertake.“ (Ellis et al., 2006 :6)*

Eine summative Evaluierung hat zum Ziel, möglichst viele quantitative Daten aus einer Benutzerstudie zu gewinnen, die später in Form von Statistiken wiedergegeben werden. Voraussetzung dabei ist jedoch, dass genügend Daten gesammelt werden, um individuelle Unterschiede zwischen Benutzern auszuschließen, und somit einzelne Personen keine signifikante Auswirkung auf die abschließende statistische Analyse haben. Ergebnisse summativer Evaluierung liefern Durchschnittswerte, wie die Anzahl benötigter Vorgänge, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, über das Benutzerverhalten bei der Arbeit mit einem Testsystem.

*„It would seem necessary to plan for a minimum of 50 or possibly even 100 users, to have a fair chance of discovering differences with statistical significance in performance data.“ (Andrews, 2006 :2)*

Formative Evaluierung verfolgt immer das Ziel, bestehende Gestaltungsformen und Designs zu verbessern. Dafür ist bereits eine kleine Zahl von drei bis fünf Benutzern ausreichend, um Probleme in diesem Bereich festzustellen. Die Methode „thinking aloud“, bei der die Benutzer laut ihre Gedanken äußern, unterstützt beim Nachvollziehen und Verstehen von Denkvorgängen und eröffnet damit dem Gestalter einen neuen Blickwinkel auf bestehende Realisierungen.

Eine explorative Evaluierung ist dann die beste Evaluierungsform, wenn etwas herausgefunden werden soll, das unter Umständen vorweg noch nicht eindeutig definiert ist, oder wenn spezifische Fragestellungen geklärt werden sollen.

*„Indeed, many evaluations that appear weak or problematic, when viewed as summative or formative evaluations, are far more convincing when seen as explorative.“ (Ellis et al., 2006 :6)*

*„We also emphasise the need to apply formative and summative forms of evaluations in the appropriate context; but in many cases neither may be suitable. We therefore propose explorative evaluation as a method for helping us see new things about our ideas and concepts and revealing those are useful to us.“ (Ellis et al., 2006 :7)*

Nach der Wahl der Evaluierungsform ist es erforderlich die Benutzerstudie so eindeutig als möglich zu gestalten, um bei der Analyse der Ergebnisse gültige Schlüsse ziehen zu können. Um dies sicherzustellen wird von unterschiedlichen Autoren empfohlen nachstehende Schritte zu beachten (Ellis et al., 2006; Kosara et al., 2003; Lütkebohle, 2005; Valiati et al., 2006; Weigle et al., 2005):

1. Zu Beginn erfolgt eine exakte Spezifizierung der gewünschten Informationen, die anhand einer Benutzerstudie gesammelt werden sollen. Eine Fragestellung soll dabei unterstützen, um später für den wissenschaftlichen Prozess relevantes Material zu erhalten. Bei der Festlegung des Studienzwecks muss eine Unterscheidung getroffen werden, die vorgibt, ob es sich um eine gestaltende Studie (beispielsweise zur Verbesserung von Schnittstellen), oder um eine evaluierende Studie (beispielsweise zur Qualitätsmessung oder zum Vergleich von unterschiedlichen Ansätzen) handelt.
2. Anschließend werden die für die Teilnehmer zu bewältigenden Aufgaben und Abläufe während der Benutzerstudie festgelegt. Dabei gilt es die Materialien so zu gestalten, dass die Teilnehmer schnelle und einfache Entscheidungen treffen können. Mögliche Aufgaben für die teilnehmenden Personen sind das Herausfinden von Fehlern oder allgemein von neuen Inhalten und das Vergleichen von verschiedenartig visualisiertem Material, um Unterschiede festzustellen. Generell sollte, falls es die Problemstellungen erfordern, den Personen die Möglichkeit einer Konfiguration, wie Zoom, der visuellen Repräsentation eröffnet werden, um Trends, sowie positiver als auch negativer Natur, zu erkennen.

Die Ähnlichkeit der in der Benutzerstudie teilnehmenden Personen sollte der einer möglichen späteren Zielgruppe entsprechen. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob man eine kleine Auswahl trifft, um eine einheitlich repräsentative Studie durchzuführen, oder viele Probanden auswählt, die allen relevanten Zielgruppen entsprechen. Bei der Wahl der Teilnehmer muss außerdem deren Erfahrung berücksichtigt und gegebenenfalls bei der Auswertung getrennt analysiert werden.

3. Erst jetzt kann die Frage über die Sinnhaftigkeit dieser Studie gestellt werden, indem hinterfragt wird, ob die möglichen Ergebnisse Aufschluss über neue Forschungsfragen liefern. Vor Durchführung einer Studie muss diese Frage der Relevanz jedenfalls geklärt werden.
4. Für das spätere Ausschließen von Interpretationsfehlern der Teilnehmer und somit das Sicherstellen von qualitativ hochwertigen Resultaten empfiehlt sich das Sammeln von vielen unterschiedlichen Daten, wie Video, Audio und Mitschriften. Dabei sollte der Gestalter der Studie möglichst wenig mit dem Benutzer interagieren, sondern vielmehr eine beobachtende Rolle einnehmen, um die Person nicht mehr als notwendig abzulenken.
5. Egal ob qualitative oder quantitative Informationen als Endergebnis einer gesamten Studie herangezogen werden, muss der einzelne Teilnehmer gefragt werden, warum er eine spezifische Antwort gegeben hat. Geben im Laufe der Studie nämlich mehrere Personen dieselbe Antwort mit grundsätzlich derselben Erklärung, können Aussagen zusammengefasst und als gültiges Resultat für einen gewissen Prozentsatz der Teilnehmer beschrieben werden. Dafür eignen sich Methoden, wie „thinking aloud“, bei denen der Teilnehmer seine Überlegungen verbalisiert, am besten.
6. Das Interesse der Teilnehmer muss im Rahmen von Benutzerstudien stets im Mittelpunkt stehen. Am besten lässt sich dies umsetzen, indem man ihnen die Möglichkeit eröffnet Fehler zu finden. Deshalb sollten auch fehlerbehaftete Daten visualisiert werden, um offensichtliche Nachteile aufzuzeigen, die von Probanden mit Leichtigkeit erkannt werden können. Um ein angenehmes Forschungsklima zu schaffen, soll dem Teilnehmer immer mitgeteilt werden, dass nicht er, sondern das System, die Visualisierung, etc., studiert wird.

7. Bevor die einzelnen Teilnehmer zu einer Studie eingeladen werden, soll unbedingt ein Pilotdurchgang mit ein bis zwei Personen durchgeführt werden, damit mögliche Gestaltungsfehler bereits im Vorfeld korrigiert werden können.
8. Bei der exakten Planung des Studienablaufs muss eine Vorbereitungszeit eingerechnet werden, bei der die Person noch nicht anwesend ist. Wenn dann der Teilnehmer erscheint, ist eine kleine Einführung, wie das Ausfüllen eines Fragebogens, das Beschreiben der Studie oder das Erklären des Studienziels vorteilhaft, um einerseits eine möglichst entspannte Atmosphäre zu schaffen und andererseits den Benutzer adäquat vorzubereiten. Entscheidet sich der Gestalter für Fragebogen, ist es vorteilhaft möglichst viele Fragen als Aussage zu formulieren, um eindeutiger Antworten zu erhalten. Dabei bedient man sich am besten der Likert-Skala, bei der der Teilnehmer lediglich den Grad der Übereinstimmung ankreuzt, damit die Person keine individuellen Antworten gibt, die möglicherweise bei der Analyse nicht erfassbar sind.
9. Am Ende einer Benutzerstudie ist ein kurzes Gespräch mit dem Teilnehmer immer von Vorteil, weil unter Umständen zusätzliche Informationen gewonnen werden können. Der Gestalter der Studie schreibt sofort nach Abschluss einen Report, um spätere Erinnerungslücken bei der Auswertung ausschließen zu können.

### **3.4 Auswertung und Analyse einer Studie**

Bei der Analyse der im Rahmen einer Benutzerstudie gesammelten Informationen muss stets bedacht werden, dass grundsätzlich keine Verallgemeinerungen getroffen werden dürfen.

*„In fact it is impossible to generalise data per se; it is always a singular event: whether an ethnography of a particular group at a particular time, or a formal experiment with particular subjects in a particular setting.“ (Ellis et al., 2006 :6)*

Außerdem darf der spätere Leser einer wissenschaftlichen Studie nicht durch die Angabe unnötig vieler Prozentsätze in die Irre geführt werden. Dies lässt sich leicht vermeiden, indem man gerade bei kleineren Datensätzen die absoluten Zahlen angibt. Trotzdem bleibt dabei die Möglichkeit einer allgemein gültigen Schlussfolgerung aufrecht.

Nach der Durchführung einer Studie mit einem gleichverteilten Teilnehmerfeld, in Bezug auf Alter, Geschlecht und Erfahrung, muss eine genaue Beschreibung der Teilnehmer erfolgen (Kosara et al., 2003).

### 3.5 Gestaltung der Studie

In Anlehnung an die in Kapitel 3.3 als relevant beschriebenen Schritte, wurde eine Studie gestaltet, die zum Ziel hat, interaktive Matting-Algorithmen auf ihre Praxistauglichkeit zu untersuchen und neue Erkenntnisse zu sammeln, die Aufschluss über den Algorithmus selbst und mögliche Anwendungsbereiche geben. Im Speziellen werden zwei State-of-the-Art Matting-Algorithmen miteinander verglichen, die vor kurzem anhand weniger Bilder quantitativ untersucht wurden (Wang et al., 2007). Die beiden Algorithmen, die bei dieser Untersuchung fast durchgehend die besten Resultate erzielen konnten, wurden für die in dieser Arbeit angeführte Evaluierung herangezogen. Da eine qualitative Untersuchung von Matting-Algorithmen unter Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Grundlagen bislang nur wenig Beachtung erfuhr und messbare Daten nicht unmittelbar mit visueller Qualität übereinstimmen, war es gerade bei diesen beiden bislang effektivsten Algorithmen (siehe Kapitel 3.5.1 und 3.5.2) interessant, sie einer qualitativen Studie zu unterziehen.

*„[...] MSE values do not always correlate exactly with visual quality.“ (Wang et al., 2007 :7)*

Einheitliche Trimaps, die für beide Algorithmen gute Ergebnisse produzieren, wurden verwendet, um die Unterschiede an gleichem Bildmaterial feststellen zu können. Da menschliches Empfinden subjektiv und von unterschiedlichen wahrnehmungspsychologischen Gesetzen geprägt ist (siehe zum Beispiel Kapitel 2.3.3), trotzdem ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt werden sollte, mussten die Studienteilnehmer in zwei gleichverteilte Gruppen gesplittet werden. Dabei bekam eine Gruppe nur Bildkompositionen (siehe Kapitel 3.5.8 und 3.6) von Algorithmus 1 und die andere nur Ergebnisse von Algorithmus 2 zu Gesicht. Zwei möglichst ähnliche Testgruppen (hinsichtlich den in Kapitel 3.5.3 angeführten Kriterien) untersuchten unabhängig voneinander Bildkompositionen, also Bilder, die Vordergrundobjekte anderer Bilder enthielten. Zwei Matting-Algorithmen (siehe Kapitel 3.5.1 und 3.5.2) errechneten dabei aus einer manuell gestalteten Trimap das Vordergrundobjekt.

#### 3.5.1 Algorithmus 1

Der Robust Matting Algorithmus von Jue Wang und Michael F. Cohen (Wang et al., 2007) wird in dieser Arbeit als Matting-Algorithmus 1 bezeichnet. Robust Matting ist ein auf Farbsamples basierender Matting-Algorithmus zur Berechnung von Transparenzwerten (Alpha Werten) (siehe Kapitel 2.4.1). Auf Basis der aus den Benutzereingaben gewählten Farbsamples werden Vorder- und Hintergrundfarbe geschätzt. Robust Matting verbessert bestehende Ansätze, indem Farbsamples ausgewählt werden, die einen hohen Vertrauensgrad aufweisen. Der Vertrauensgrad in ein Paar von Farbsamples wird dabei auf Grund zweier Kriterien berechnet. Einerseits sollen die Farben der Pixel in unbekanntem Bildregionen eine Mischung aus Vorder- und Hintergrundsamples sein. Andererseits werden jene Vorder- bzw. Hintergrundfarben der unbekanntem Region ausgewählt, die möglichst nahe bei bekannten Farbwerten liegen. Gerade natürliche Bilder, wie Fotografien, weisen sehr komplexe Farbstrukturen auf und verlangen nach realitätsnahen Farbverläufen.

#### 3.5.2 Algorithmus 2

Algorithmus 2 bezeichnet in dieser Arbeit den Matting-Algorithmus von Anat Levin, Dani Lischinski und Yair Weiss (Levin et al., 2006). Auch dieser Ansatz steht vor dem Problem, dass auf Basis von Benutzermarkierungen die Farbwerte des Vorder- und Hintergrundes sowie die Transparenz berechnet werden sollen. Die Autoren dieser Methode verfolgen jedoch

eine andere Herangehensweise bei dieser Aufgabenstellung. Dieser Ansatz schätzt die Vorder- und Hintergrundfarbe nicht, sondern beruht auf der Annahme, dass sich Farbwerte von Bildpunkten in einem kleinen Fenster (z.B.: 3x3 Pixel) auf einer Linie im RGB-Farbraum liegen. Auf Grund dieser Annahme brauchen Vorder- und Hintergrundfarben nicht mehr geschätzt werden. Diese Möglichkeit einer Berechnung soll sicherstellen, dass bereits sehr wenige Benutzereingaben zu einem hochqualitativen Ergebnis (Alpha Matte) führen können.

### 3.5.3 Methoden und Ziele

Die Studie beschäftigte sich mit dem Vergleich von den in den Kapiteln 3.5.1 und 3.5.2 vorgestellten Algorithmen und deren Evaluierung im Bezug auf eine mögliche Praxistauglichkeit. Dabei wurden die beiden unterschiedlichen Methoden nicht gegenübergestellt, sondern von zwei gleichverteilten Probandengruppen separat auf ihre Glaubwürdigkeit geprüft. Das Mischen beider Algorithmen in einem Durchgang hätte eine zusätzliche, aber vermeidbare Dimension an Komplexität mit sich gebracht. Eine Gleichverteilung der Teilnehmer innerhalb der beiden Gruppen in die Bereiche Alter, Geschlecht und Erfahrung und das Visualisieren gleicher Inhalte, die lediglich mit einem anderen Algorithmus errechnet wurden, ermöglichte im Zuge der Analyse und Auswertung der Ergebnisse das Feststellen, welche Methode für welche Aufgaben grundsätzlich die bessere Wahl ist. Die Teilnehmer beschrieben im Zuge der Studie auf Grund von Auffälligkeit und Lokalität möglicher Fehler subjektiv, ob es sich beim gezeigten Material um eine Komposition handelt, oder ihnen ein Original vorliegt. Die Probanden wurden also niemals mit Kompositionen beider Algorithmen konfrontiert, sondern entschieden ausschließlich zwischen Originalbild und Bearbeitung durch einen Algorithmus.

Den Probanden wurden jeweils 27 Studienbilder gezeigt. Neun Bilder waren unveränderte Fotografien, während die verbleibenden 18 Bilder Bildkompositionen waren, die zur einen Hälfte mit exakter und zur anderen Hälfte mit ungenauer Trimap berechnet wurden. Die 18 Abbildungen variierten bezüglich ihrer Qualität, so dass nicht nur beinahe perfekte Resultate gezeigt wurden. Diese Möglichkeit, Fehler auch relativ leicht zu finden, hielt zusätzlich die Motivation der Probanden auf einem hohen Niveau. Im Laufe der Zeit galt es zusätzlich einen möglichen Lerneffekt der Teilnehmer, der die Ergebnisse einseitig beeinflussen konnte, möglichst gering zu halten. Deshalb wurden ihnen am Ende der Einzelbildbetrachtung noch einmal alle Bilder in Form einer Kollage gezeigt. Die Personen hatten also Gelegenheit ihr Wissen, das sie im Zuge der Studie unter Umständen erweitert hatten, auch auf zu Beginn gezeigtes Material anzuwenden. Die Probanden sahen jedes der Studienbilder exakt 20 Sekunden und konnten nach dem Ausblenden des Bildes unbegrenzt über ihre Eindrücke sprechen. Auch bei der Ansicht der Bilderkollage am Ende der Studie konnte jedes Bild erneut für 7 Sekunden in Originalgröße betrachtet werden.

Da menschliches Empfinden subjektiv ist und lediglich eine gleichmäßige Verteilung der Visualisierungen beider Methoden innerhalb der beiden Personengruppen vorgenommen werden konnte, die für ein möglichst objektives Resultat Voraussetzung ist, ließen sich im Vorfeld lediglich Vermutungen über mögliche Resultate konkreter Fragestellungen formulieren. In Folge dessen fiel die Entscheidung auf die Abhaltung einer explorativen Evaluierung in Form einer evaluierenden Benutzerstudie. Dennoch unterstützte dabei die formative Methode „thinking aloud“, um Verständnisschwierigkeiten auszuräumen und intensivere Erkenntnisse über Denkvorgänge der Teilnehmer zu erhalten. Mit 26 Probanden bewegte sich diese Studie, in Bezug auf eine summative und formative Evaluierung, im Mittelfeld. Da möglichst allgemein gültige Schlüsse gezogen werden sollten, die spätere Zielgruppe der Bildbetrachter grundsätzlich nicht einzuschränken und eine Aufteilung innerhalb zweier Be-



nutzergruppen notwendig war, wurden die Teilnehmer in den Bereichen Alter, Geschlecht und Erfahrung gleichmäßig verteilt. Diese Gleichverteilung bedingte eine spätere Aufschlüsselung der einzelnen Teilnehmergruppen (Kosara et al., 2003). Deshalb wurde ein persönlicher Fragebogen entworfen, den jeder Teilnehmer gleich zu Beginn ausfüllte. Damit eine eindeutige Zuteilung möglich war, wurden die sensiblen Daten Name, Alter, Geschlecht und Beruf erfasst. Die Studienteilnehmer wurden jedoch darüber in Kenntnis gesetzt, dass ihre Namen zu keiner Zeit publiziert werden. Die Fragen richteten sich einerseits an die allgemeine Studienerfahrung des Teilnehmers, andererseits wurden die theoretischen bzw. praktischen Kenntnisse im Bereich der Bildverarbeitung erfragt.

#### **3.5.4 Studienrelevanz**

Im Anschluss an diese ersten Vorbereitungen galt es die Sinnhaftigkeit dieser Studie zu hinterfragen (Ellis et al., 2006). Da die beiden Algorithmen, in Bezug auf ihre quantitative Genauigkeit bei der Generierung von Alpha Mattes, bereits miteinander verglichen wurden (Wang et al., 2007), aber eine qualitative Analyse, unter Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Aspekte, von bearbeiteten Bildern, die letztendlich für eine praxisorientierte Nutzung ausschlaggebend ist, bislang wenig Beachtung erfuhr, ist diese Studie als sinnvoll zu bezeichnen (Bertini et al., 2006; Ellis et al., 2006; Kosara et al., 2003).

Die Wahl der Methode „thinking aloud“ war im Laufe der Studie insofern von Vorteil, da hauptsächlich eine beobachtende Rolle eingenommen werden konnte und die Teilnehmer daher so wenig als möglich abgelenkt wurden. Denkvorgänge und jene Informationen, die der Proband verbalisierte, wurden protokolliert. Um Äußerungen der Studienteilnehmer, die den selben Inhalt wiedergaben, zusammenfassen und als gültiges Resultat dieser Probanden entsprechend wiedergeben zu können, wurden gesammelte Daten digital weiterverarbeitet.

Eine Eye-Tracking-Kamera, die die zurückgelegten Wege der Augen aufzeichnete, war eine weitere Unterstützung beim Sammeln unterschiedlicher Daten. Der Einsatz dieser Technologie ermöglichte es im Zuge der Auswertung Informationen einzubeziehen, die unter Berücksichtigung der jeweiligen Erfahrung des Probanden, einerseits Erkenntnisse festigten und andererseits neue, auch nach Abschluss der Studie, noch unbekannte Aspekte aufzeigten.

Vor der Durchführung der eigentlichen Studie wurde ein Pilottest mit einer Testperson durchgeführt, um auf mögliche nicht bedachte Probleme aufmerksam zu werden.

#### **3.5.5 Planung des Studienablaufs**

Die Studienbilder wurden den Probanden über die Eye-Tracking Software Tobii ClearView™ 2 (Tobii Technology, <http://www.tobii.com>) gezeigt. In einer für diese Studie gestalteten online-Plattform wurden die Verbalisierungen der Probanden protokolliert und die Anzeige der Bilderkollage am Studienende verwaltet.

Abbildung 3.5.3-1 zeigt den Aufbau der online-Plattform. Die mittels PHP generierten Applikationsskripts nutzen öffentliche Bibliotheken. Ein Studiendurchgang entspricht einer Sitzung, die nach der letzten Eintragung eines Probanden automatisch beendet wird. Die Skripts warten auf diverse Benutzereingaben, wie Login und Passwort, Fragebogeninhalte und Bewertungen jedes einzelnen Bildes, und tragen diese Informationen in die jeweiligen Tabellen der Datenbank ein. Jeder Eintrag wird dabei auf seine Gültigkeit verifiziert. Am En-

de wird, je nach Studienfortschritt, der passende HTML Output generiert, der auf die Bildbibliotheken zugreift und mit Hilfe eines CSS Stylesheets formatiert wird.

## Struktur

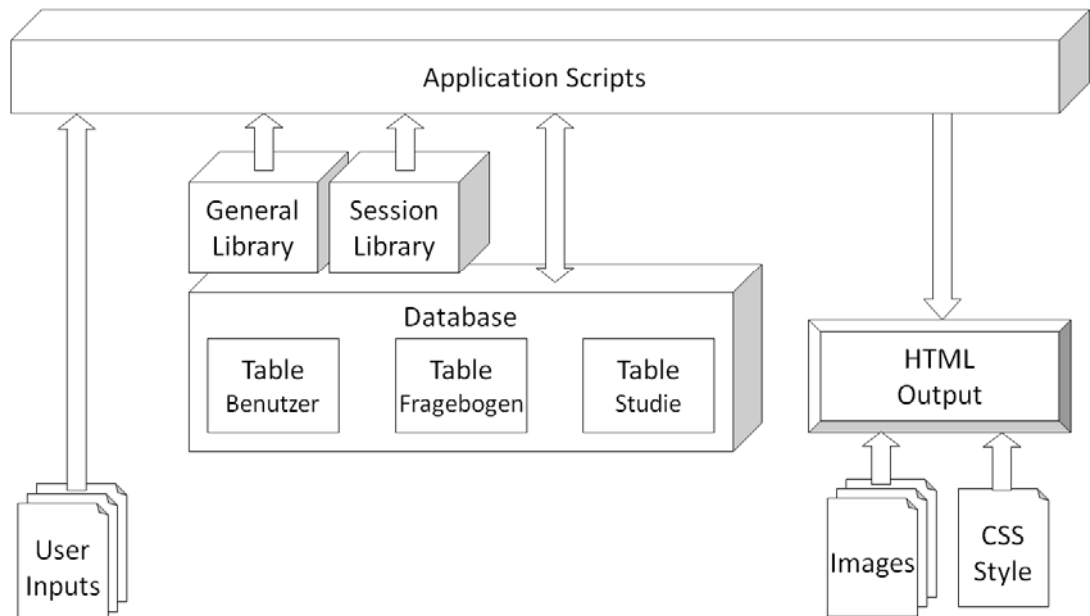


Abbildung 3.5.5-1: Struktur der online-Plattform

Der Ablauf der Studie gestaltete sich wie folgt im Detail. Zu Beginn erfolgte eine kurze Erklärung des Studienablaufs. Danach wurde der Teilnehmer gebeten, den Fragebogen auszufüllen. Dieser wurde mit dem vollständigen Namen in die Datenbank eingetragen, um diese Informationen später eindeutig zuordnen zu können. Anhand bereits vorhandener Datensätze berechnete die Software die Summe der bereits teilgenommenen Probanden und teilte diese auf unterschiedliche Kategorien, wie Alter, Geschlecht und Algorithmus, auf. Dies ermöglichte es während der Studie für eine Gleichverteilung der Teilnehmer zu sorgen. Nach Kalibrierung der Eye-Tracking Kamera, die nur wenige Minuten in Anspruch nahm, betrachteten die Studienteilnehmer jedes der 27 Bilder. Dabei wurden die Testpersonen so wenig als möglich gestört, indem lediglich ihre verbalisierten Gedanken festgehalten wurden.

Generierte Zwischenbilder, die der Benutzer jeweils nach Ablauf der 20 Sekunden zu sehen bekam, informierten ihn laufend über den Studienfortschritt. Erst nach einem beliebigen Tastendruck wurde die Studie fortgesetzt, so blieb in dieser Realisierungsvariante unbegrenzt Zeit, über die visuellen Eindrücke der Testpersonen zu sprechen. Nach Ablauf der Einzelbilder generierte die Software automatisch eine Bilderkollage, die außerdem die Kommentare der Teilnehmer beinhaltete. Hier konnten gegebenenfalls Eindrücke und Beobachtungen nachträglich ergänzt oder geändert werden.

### 3.5.6 Zeitplan des Studienablaufs

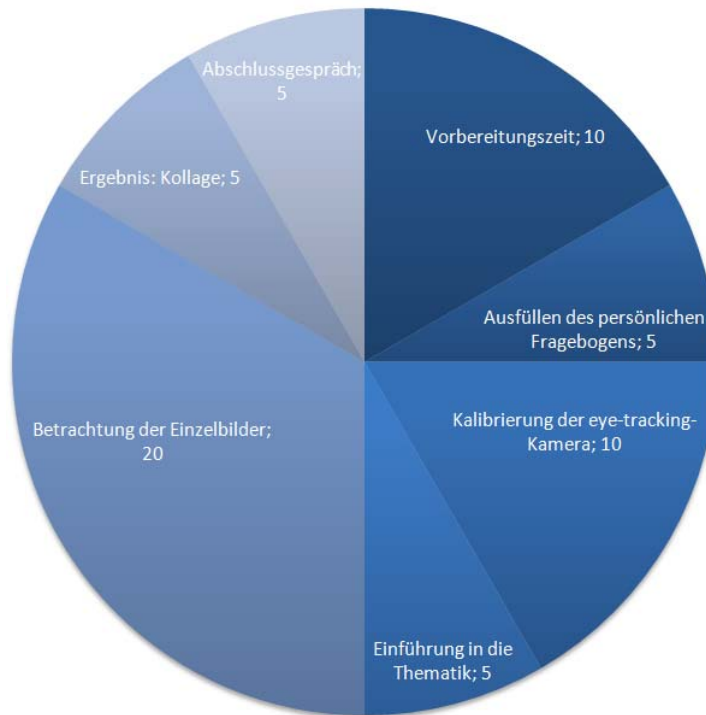


Abbildung 3.5.6-1: Zeitplan des Studienablaufs in Minuten

In einer 10 minütigen Vorbereitungszeit war ausreichend Zeit, eine Ausrichtung und Bereitstellung aller relevanten Materialien, wie der Eye-Tracking Kamera, vorzunehmen.

Anschließend füllten die Teilnehmer den persönlichen Fragebogen vollständig aus. Nach einer kurzen Kalibrierung der Eye-Tracking Kamera wurden die Testpersonen über ihre Aufgabe vorbereitet. Die Aufgabe war es, innerhalb von jeweils 20 Sekunden Einzelbilder auf ihre Glaubwürdigkeit zu überprüfen, indem sie Auffälligkeiten jeglicher Art und somit den Grad der Echtheit beschreiben sollten. Nach Ablauf der Zeit hatten die Benutzer uneingeschränkt Zeit, Wahrgenommenes zu verbalisieren, bevor das nächste Bild angezeigt wurde.

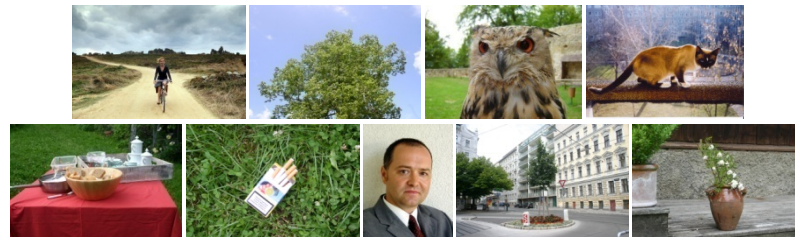
Nach Abschluss der Betrachtung der Einzelbilder wurden in Form einer Kollage alle Bilder nochmals gezeigt. An dieser Stelle hatten die Teilnehmer noch einmal die Möglichkeit ihre Ergebnisse zu verifizieren und, falls notwendig, zu korrigieren.

Am Ende der Benutzerstudie wurde jeder Proband in ein Gespräch verwickelt, um mögliche weitere Aspekte, Probleme oder Anmerkungen bei der Analyse berücksichtigen zu können.

### 3.5.7 Generierung der Studienbilder

Bevor mit der Studie begonnen werden konnte, mussten die Studienbilder gestaltet werden. Für die Studie wurden 9 Originalbilder, sowie 18 Bildkompositionen je Algorithmus benötigt. Der Großteil der Bilder wurde eigens für diese Studie mit einer modernen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 300 D, Auflösung 3072x2048, <http://www.canon.at>) aufgenommen. Aus über 180 selbstgemachten Fotografien und fast 20 Bildern einer Internetrecherche wurden 27 Studienbilder ausgewählt. Abbildung 3.5.7-1 zeigt eine Übersicht aller 18 Bildkompositionen, sowie die neun Originalbilder.

9 Originalbilder:



18 Vordergrundobjekte:

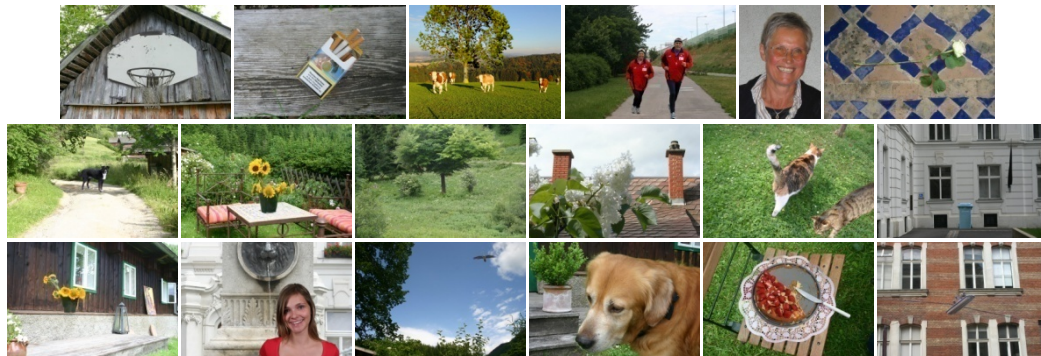


Abbildung 3.5.7-1: Studienbilder

Die Vorteile größtenteils selbst gemachter Fotografien bestanden darin, dass Umweltverhältnisse größtenteils selbst gewählt werden konnten, was eine spätere Abstimmung hinsichtlich einiger entscheidender Kategorien, wie Beleuchtung und Farbgebung, wesentlich erleichterte.

### 3.6 Auswertung der Ergebnisse

Bei der Analyse der unterschiedlich gesammelten Daten ging es letztendlich darum, einen Algorithmus in einer spezifischen Umgebung als „besser“ zu beschreiben. Mit Hilfe der Eye-Tracking Bilder, der Aussagen der Studienteilnehmer und ihren statistisch auswertbaren Entscheidungen hinsichtlich der Praxistauglichkeit eines bestimmten Algorithmus galt es, Tendenzen zu erkennen.

Aussagekräftige Erkenntnisse konnten nur dadurch gewonnen werden, weil sowohl die Algorithmen selbst, als auch die Probanden nach unterschiedlichen Gesichtspunkten analysiert wurden. Dafür wurde folgendes Schema verwendet:

#### Analyse der Algorithmen

Die Analyse der Algorithmen diente dazu, Probleme festzustellen und eindeutig zu beschreiben, die sich durch die Segmentierung von Bildbereichen ergeben konnten.

##### → Fehlerkategorien

Eine Kategorisierung in drei Fehlerbereiche ließ eine Auswertung der Eye-Tracking Bilder zu und eröffnete außerdem die Möglichkeit einer Evaluierung der anwendungsorientierten Berechnungsfehler der Algorithmen, indem die Ergebnisse der Studienteilnehmer einbezogen wurden. Folgende drei Fehlerkategorien wurden dafür herangezogen:

##### → Alpha Matte

Wurde ein Vordergrundobjekt, besonders an den Objektgrenzen, als unzureichend zusammengehörig, oder ein Teil der Umgebung als Teil des Objekts eingestuft, wurde eine fehlerhafte Alpha Matte berechnet. In der Bildkomposition äußert sich das meist daran, dass der Hintergrund an offensichtlich undurchsichtigen Stellen durchscheint. Abbildung 3.6-1 (a) und (b) zeigen, wie sich dieser Effekt als Transparenz in einer neuen Bildkomposition äußerte.

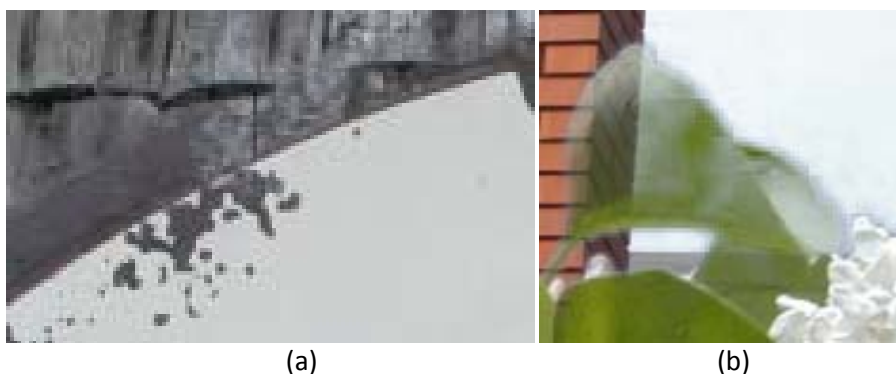


Abbildung 3.6-1: Alpha Matte Fehler

→ Farbe

Bestand die Aufgabe eines Algorithmus darin, ein Objekt mit äußerst feinen Strukturen, wie Haare, zu extrahieren, kam es in vielen Fällen zu einer falschen Farbwiedergabe in diesem Bereich, weil Hintergrundfarben des ursprünglichen Bildes übernommen wurden. Abbildung 3.6-2 (b) zeigt einen vergrößerten Bildausschnitt eines Hundefells, das grüne Rückstände des Originalhintergrundes (siehe Abbildung 3.6-2 (a)) enthält.

*Diese Fehlerkategorie hängt auch mit der berechneten „Alpha Matte“ zusammen, da Fehler in der Farbzuzuweisung entstanden.*

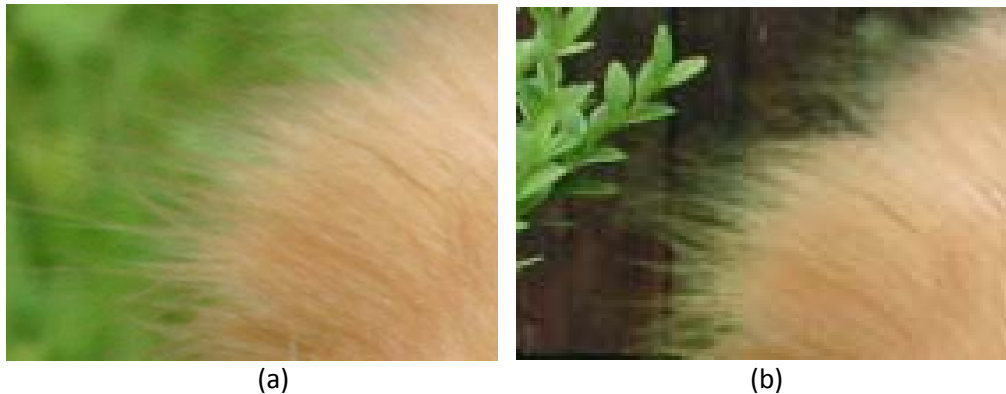


Abbildung 3.6-2: (a) Fotografie; (b) Farbfehler

→ Umgebung

Wenn ein Objekt extrahiert und anschließend in ein neues Bild eingefügt werden sollte, bestand eine große Herausforderung darin, Proportionen, Beleuchtungsverhältnisse und Lokalität des extrahierten Objekts mit jenem des neuen Bildes abzustimmen. Auch dabei konnten Fehler entstehen, die in dieser Kategorie berücksichtigt wurden. Abbildung 3.6-3 (a) zeigt einen Blumentopf, der so nie auf diesem Holzvorsprung hätte stehen können, da Proportion und Ausrichtung nicht der Wirklichkeit entsprechen. Abbildung 3.6-3 (b) verdeutlicht wie stark sich unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse auf die Glaubwürdigkeit einer Bildkomposition auswirken. Die Person wurde in geschlossenen Räumlichkeiten fotografiert, während der Brunnen vor einer Hauswand im Freien fotografiert wurde. Diese beiden unterschiedlichen Lichtverhältnisse (Sonnenlicht – Innenbeleuchtung) legen bereits unwillkürlich die Vermutung nahe, dass dieses Bild keine echte Fotografie ist.



Abbildung 3.6-3: Umgebungsfehler

Bevor nun mit einer Auswertung nach Fehlerkategorien begonnen werden konnte, mussten die Bildkompositionen auf die entsprechenden Kategorien verteilt werden.

## **Analyse der Probanden**

Die Ergebnisse einer Studie können immer nur dann aussagekräftig sein, wenn nicht nur das Untersuchungsziel ausgewertet wird, sondern auch die Studienteilnehmer mit ihren subjektiven und individuellen Unterschieden betrachtet werden.

### **→ Geschlecht**

Das Feststellen geschlechtsspezifischer Unterschiede war unter anderem ein wichtiger Punkt in dieser Studie, da Frauen und Männer ein unterschiedliches Blickverhalten aufweisen. Dadurch kann es zu unterschiedlichen Ergebnissen, besonders bei Aufgaben im Bereich der Bildbetrachtung, kommen.

### **→ Alter**

Das Alter der Probanden musste zwar nicht zwingend Einfluss auf das Ergebnis haben, dennoch war diese Unterscheidung unbedingt zu treffen, da die Sehleistung mit dem Alter abnimmt und selbst Sehbehelfe, wie Gleitsichtgläser, keine optimale Wiederherstellung des visuellen Systems garantieren.

### **→ Erfahrung**

Die Erfahrung der einzelnen Studienteilnehmer im Bereich der Bildverarbeitung, alleine die Kenntnis über Möglichkeiten in diesem Bereich, konnten die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen. Eine Unterscheidung der Resultate von jenen Probanden, die beruflich oder privat mit digitalen Bildern arbeiteten, und jenen, die kein Vorwissen aus diesem Bereich mitbrachten, konnten einen wesentlichen Hinweis darauf geben, in welchen Umgebungen eine praxisorientierte Anwendung der Algorithmen stattfinden kann.

### **→ Richtigkeit**

Um statistische Ausreißer, also jene Probanden, die beispielsweise besonders pessimistisch im Bezug auf die Echtheit der Bilder reagierten, weniger Aussagekraft in der Auswertung zukommen zu lassen, wurde eine Unterteilung der Ergebnisse in Bezug auf Korrektheit ihrer Antworten getroffen.



### 3.6.1 Analyse der Einzelbilder

*Hinweis: Alle 27 Studienbilder, sowohl die Bildkompositionen als auch die Originalfotografien, wurden gleichermaßen sorgfältig untersucht, um alle erdenklich möglichen Erkenntnisse aus dieser Studie zu gewinnen. Aus Gründen der Publikationsgröße dieser Arbeit, wird in diesem Kapitel lediglich ein repräsentativer Auszug einiger Studienbilder veröffentlicht.*

3.6.1.1 Bild Nr.: 2

#### Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

#### Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte

#### Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Der Basketballkorb wurde vom Algorithmus nur teilweise gut erkannt. Die Netzstruktur stellte für ihn keinerlei Probleme dar, doch der dunkle

Der Algorithmus konnte den Basketballkorb nur bedingt gut vom ursprünglichen Hintergrund segmentieren. Die Problemzonen finden sich



Rahmen des Korbes wurde nur äußerst schlecht dem Objekt zugeordnet, was eine schlechte Wiedergabe im Randbereich zur Folge hat. Diese Bildkomposition wurde daher der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ zugeordnet, weil die Fehler im Randbereich auf eine schlechte Erkennung des Objekts zurückzuführen sind.

besonders am dunklen Rand entlang des Spielbretts. Im rechten Abschnitt wurde der Rand hauptsächlich ignoriert und fast gar nicht dem Objekt zugeordnet, während in den oberen und linken Bereichen anhand von transparenten Teilstücken sichtbar ist, dass es an diesen Stellen Probleme gab. Diese Bildkomposition wurde auf Grund dieser aufgetretenen Probleme der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ zugewiesen.

### Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.

**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.

- / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 6/7	unverändertes / verändertes Bild: 4/9
veränderte Objekte: Basketballbrett oben (5), Halterung vom Korb (1), Netz (1)	veränderte Objekte: Randbereich des Basketballbretts (7), Farbgebung des Netzes (1), Schatten fehlt (1), Position des Bretts bzgl. Nutzbarkeit fragwürdig (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 1 / 6	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 2 / 7

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*



$$\text{Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$$

$$\text{Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$$

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild):  
46,15 % (unverän.) / 53,85 % (verändertes Bild)

Mittelwert dieser Kategorie  
(bei nur einer Fehlerkategorie):  
56,73 % / 43,27 %  
[Standardabweichung: 17,02 %]

Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie  
(Mittelwert):  
37,31 % / 62,69 %  
[Standardabweichung: 22,72 %]

Da diese Bildkomposition immerhin von 46,15 % der Probanden als echtes Foto eingestuft wurde, kann von einer durchaus gelungenen Nachbearbeitung gesprochen werden. Dieses Erkenntnis wird vom allgemeinen Wert der

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild):  
30,77 % (unverän.) / 69,23 % (verändertes Bild)

Mittelwert dieser Kategorie  
(bei nur einer Fehlerkategorie):  
43,85 % / 56,15 %  
[Standardabweichung: 7,5 %]

Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie  
(Mittelwert):  
34,32 % / 65,68 %  
[Standardabweichung: 21,41 %]

Diese Bildkomposition liegt mit 30,77 % Falschentscheidungen etwas unter dem allgemeinen Durchschnitt in der Höhe von 34,32 %. Der Mittelwert dieser Fehlerkategorie mit fast 44 % liegt aber dennoch weit über

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ gestärkt, weil ein Auftreten dieses Fehlers durchschnittlich nur 37,31 % der Personen vom Vorliegen einer Fotografie überzeugte. Da dieses passable Ergebnis unter dem des Mittelwerts einer Fehlerkategorie liegt, kann diese Bildkomposition nicht als herausragendes Resultat angeführt werden. Sechs der sieben Studienteilnehmer, die dieses Bild als Komposition beschrieben, bemerkten „Alpha Matte“ Fehler.

diesem Wert, was darauf hindeutet, dass diese Bildkomposition nicht so gut gelungen ist, wie Bilder mit ähnlichen Fehlern. Diese Komposition schließt letztendlich nicht schlecht ab, weil fast ein Drittel der Probanden sie als Fotografie einstufen, trotzdem müsste dieses Bild noch weiter bearbeitet werden, um einen Großteil der Betrachter zu überzeugen.

### Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View



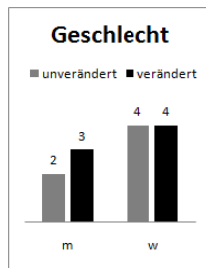
Gaze View

Obwohl die Probanden in Summe keine eindeutige Entscheidung darüber fällen konnten, ob bei diesem Bild eine digitale Nachbearbeitung stattfand, wurde trotzdem der Basketballkorb als ganzheitliches Objekt erkannt und von jedem abgetastet. Letztendlich entschied sich ungefähr die Hälfte aller Studienteilnehmer für eine Fotografie, während die andere Hälfte den eingefügten Basketballkorb erkannte und sich somit für ein verändertes Bild entschied.

Der Großteil der Probanden erkannte Fehler in diesem Bild. Diese Hotspots-Darstellung zeigt ganz deutlich, dass die Randbereiche des Basketballkorbes besonders genau untersucht wurden. Genau an jenen Stellen befinden sich die Artefakte auf Grund der mäßig gelungenen Segmentierung des Algorithmus. In der Gaze-View Darstellung lässt sich zwar erkennen, dass die Blicke immer wieder von einzelnen Stellen weggingen, aber immer wieder zu ihnen zurückkehrten. Dieses Blickverhalten lässt auf eine Unsicherheit der Probanden bezüglich der Randbereiche des Objekts schließen. Weniger genau wurde die rechte Kante des Objekts un-

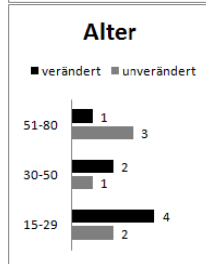
tersucht. Wahrscheinlich, weil an diesen Stellen kein teils transparenter Bereich zu finden ist.

### Analyse der Probanden



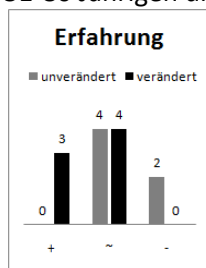
Die Analyse dieser Komposition lässt keine geschlechtsspezifischen Unterschiede erkennen, weil sowohl Frauen, als auch Männer ähnliche Entscheidungen trafen.

Der überwiegende Teil der Probanden hat Fehler in dieser Bildkomposition gefunden. Eine weitere Analyse der persönlichen Daten kann in solchen Fällen keine weiteren Erkenntnisse bringen.



Die unterschiedlichen Ergebnisse der Alterskategorien lassen eine Tendenz erkennen. Vier von sechs der 15 bis 29 Jährigen erkannten eine Veränderung und hielten dieses Bild daher für eine

Bearbeitung. Während die 30 bis 50 Jährigen sehr unschlüssig waren, nahmen drei der vier 51-80 Jährigen dieses Bild als Fotografie wahr.



Ähnlich interessant sind die Ergebnisse der Probanden im Bereich der Erfahrung. Jene Personen, die mit Bildverarbeitung bzw. Bildbearbeitung vertraut sind, erkannten die Fehler dieses Bildes, unerfahrene

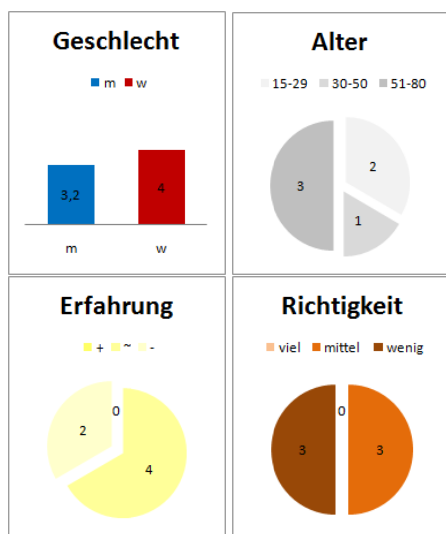
Studienteilnehmer hielten es für echt.

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

Erklärung der grafischen Darstellung „Geschlecht“:  
Da bei dieser Probandengruppe mehr Frauen, als Männer teilnahmen, wurde der Männeranteil dem Anteil der Frauen angeglichen. Dies war notwendig, um eine aussagekräftige Gegenüberstellung darstellen zu können.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6  
Durchschnittliche Fehler dieser Personen: 11



Diese Komposition wurde nur von mäßig erfahrenen und unerfahrenen Studienteilnehmern, also all jenen, die mit digitalen Ver- und Bearbeitungen nicht sonderlich vertraut waren, als Fotografie bewertet. Diese Probanden weisen ebenfalls, verglichen mit dem Studierendurchschnitt, eine wesentlich höhere Zahl, nämlich 36,14 %, an Fehlern auf. Da sowohl ältere als auch jüngere Personen, sowie Frauen und Männer annähernd gleich viele Fehler begingen, lässt sich hier keine weitere Tendenz ablesen.

Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte



Bildkomposition

Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition

Eine etwas ungenauere Trimap, die trotzdem einige Blatzwischenräume markiert, ließ den Algorithmus den Baum gut vom ursprünglichen Hintergrund segmentieren. In der später erstellten Komposition sind jedoch einige Artefakte in Form von blauen Umrandungen an einigen Blättern zu erkennen. Besonders deutlich werden diese Farbfehler an jenen Stellen, an denen der neue Hintergrund farblich vom alten abweicht – in diesem Fall im Bereich der grünen Nadelwä-

Die durchwegs ungenaue Trimap mit teilweise für den Algorithmus wichtigen Einschränkungen, die bei diesem Bild Verwendung fand, sollte brauchbare Ergebnisse bringen. In diesem Fall wurde der Baum zwar auf den ersten Blick auf die Alpha Matte sehr gut erkannt, fügt man dieses Objekt jedoch in eine neue Umgebung ein, werden Artefakte an einigen Zonen sichtbar. Der „Alpha Matte“ Fehler beschreibt die schlechte Erkennung des Objekts, vor allem im

der.

Bereich des Baumstamms. Unklare, nicht eindeutig festgelegte Grenzen irritieren in der Komposition. Die Fehlerkategorie „Farbe“ wurde deshalb hinzugezogen, da entlang der Blätter viele Farbrückstände des ursprünglichen Bildes zu finden sind.

### Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.

**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.

- / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 3/10

veränderte Objekte: Baumstamm (4), Baum (2), Kühe (2), Lichtverhältnisse Baum (1), Randbereiche der Blätter (2)

Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 1 / 1 / 3

unverändertes / verändertes Bild: 3/10

veränderte Objekte: Baumstamm (2), Baum (1), Konturen des Baumes (5), Kuh (2)

Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 5 / - / 3

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*

Fehlerkategorie(n): Alpha Matte	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte, Farbe	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte
Bild 1	Bild 2	Bild 3

Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie) =  $(\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$   
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert) =  $(\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$

Fehlerkategorie „Farbe“ (dieses Bild):  
23,08 % (unverän.) / 76,92 % (verändertes Bild)

Mittelwert der Kategorie „Farbe“  
(bei einer Fehlerkategorie):  
26,92 % / 73,08 %  
[Standardabweichung: 5,44 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie  
„Farbe“ (Mittelwert):  
26,92 % / 73,08 %  
[Standardabweichung: 9,10 %]

Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“  
(dieses Bild):  
23,08 % (unverän.) / 76,92 % (verändertes Bild)

Mittelwert der Kategorie „Farbe“  
(bei zwei Fehlerkategorien):  
24,36 % / 75,64 %  
[Standardabweichung: 21,18 %]

Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“  
(bei zwei Fehlerkategorien):  
30,77 % / 69,23 %  
[Standardabweichung: 17,83 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“  
(Mittelwert):  
17,95 % / 82,05 %  
[Standardabweichung: 18,47 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie  
„Alpha Matte“ (Mittelwert):



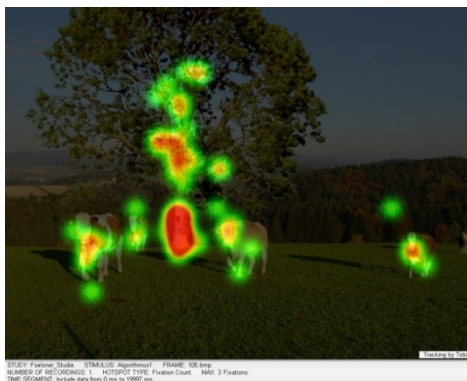
34,32 % / 65,68 %  
 [Standardabweichung: 21,41 %]

Die statistischen Daten dieses Bildes sind problemlos interpretierbar. Zehn der dreizehn Probanden hielten dieses Bild für verändert, vermuteten also eine digitale Bearbeitung, konnten dies aber nicht ausreichend begründen. Dem Großteil der Aussagen zur Folge wurde der Baum nur ungenügend vom Originalhintergrund segmentiert. Fehler wurden vor allem entlang des Baumstammes entdeckt. Die überaus deutlich erkennbaren Farbfehler bei den Blättern des Baumes wurden schlichtweg übersehen. Die statistischen Ergebnisse für dieses Bild liegen sehr knapp bei einander. Dies lässt die Vermutung zu, dass, obwohl die Stellen, an denen die Farbfehler am leichtesten zu sehen sind, nicht fixiert wurden, dieser dennoch ausschlaggebend dafür war, dass dieses Bild weitgehend nicht als Fotografie beschrieben wurde.

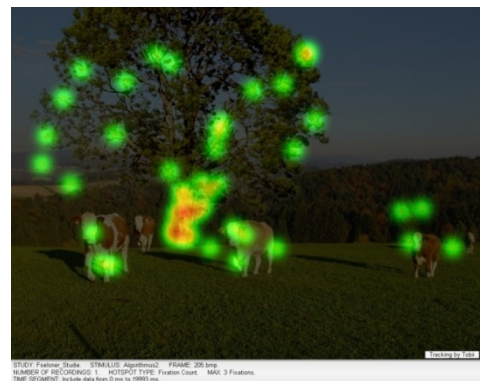
Lediglich jeder vierte Proband hielt dieses Bild für eine Fotografie. Der überwiegende Teil der Studienteilnehmer erkannte, dass es sich bei diesem Bild um eine digitale Bearbeitung handelt. Die statistischen Daten dieses Bildes liegen leicht unter den Mittelwerten der Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“, unter Berücksichtigung beider Kategorien. Diese Daten belegen, dass diese Bildkomposition, verglichen mit anderen, ähnlich fehleranfälligen Bildern, nicht so überzeugend ist wie andere. Grundsätzlich erzielten Bilder, die die Fehlerkategorie „Farbe“ aufweisen, in dieser Studie sehr unzufriedenstellende Ergebnisse. Durchschnittlich ließen sich nur ungefähr 18 % der teilnehmenden Personen von einer Komposition überzeugen, wenn diese Farbfehler aufwies.

### Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View



Gaze View

Obwohl das Ergebnis bei diesem Bild eindeutig zu Gunsten eines bearbeiteten Bildes ausfällt,

Bei diesem Bild wurden vor allem die drei Kühe im Vordergrund und der Baum als eigenständi-

sind die Begründungen umso interessanter. Der Kernfehlerbereich, wie bereits oben kurz beschrieben, ist bei diesem Bild die Blattwiedergabe auf grünem Hintergrund. Interessant ist jedoch, dass die Probanden vor allem die Unregelmäßigkeiten beim Baumstamm hervorhoben. Grund dafür sind mit hoher Wahrscheinlichkeit die Vordergrundobjekte, in Form von Kühen, die vom Baum ablenken.

ge Objekte abgetastet. Obwohl der Baumstamm von nahezu jedem Probanden besonders intensiv betrachtet wurde, konnten nur einige wenige ihre Schlüsse daraus ziehen. Viele Studienteilnehmer konnten, nachdem sie den Baumstamm betrachteten, Artefakte im Bereich der Baumkrone beschreiben. Die Hotspots-Grafik zeigt aber, dass, obwohl blaue Farbkonturen der Blätter offensichtlich sind, diese nicht vorrangig betrachtet und überhaupt nur von der Hälfte der Probanden entdeckt wurden.

---

#### **Analyse der Probanden**

Da lediglich jeweils nur 3 der 13 Probanden an die Echtheit dieses Bildes glaubten, kann eine weitere Analyse der Teilnehmer keine zusätzlichen Erkenntnisse bringen.

---



Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte

Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Obwohl grundsätzlich eine exakte Trimap bessere Ergebnisse liefern sollte, entstanden bei dieser Segmentierung bereits die Fehler bei der Berechnung der Alpha Matte, die jedoch erst bei genauerem Hinschauen in der Komposition sichtbar werden. Die schwarze Laufhose des Joggers wurde im Randbereich äußerst fehlerhaft erkannt und weist schwarze Artefakte auf. Außerdem hatte der Algorithmus Schwierigkeiten die Haare dieser Person zu erkennen. Die

Diese äußerst exakte Trimap, deren Erstellung ein Vielfaches der Zeit in Anspruch nimmt als die einer ungenaueren, lieferte leider trotzdem kein herausragendes Ergebnis. Obwohl dem Algorithmus klare Zugehörigkeiten definiert wurden, entstanden viele Artefakte, die der Kategorie „Alpha Matte“ zuzuordnen sind. Entlang der rechten Seite des männlichen Läufers sind die Fehler, in Form von unwirklichen Objektsgrenzen, offensichtlich. Der Fußbereich der

Laufschuhe der beiden Personen werden nach der Extraktion der Bildteile, verglichen mit dem Originalbild, generell zu verschwommen dargestellt, da auch der Standfuß der weiblichen Person unscharf wiedergegeben wird.	Läuferin ist ebenfalls zu den Problembereichen zu zählen. In diesem Fall werden mögliche Umgebungsfehler ignoriert, die auf einen möglichen fehlenden Schattenwurf zurückzuführen wären.
---	--

### Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.

**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.

- / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 5/8	unverändertes / verändertes Bild: 7*/6
veränderte Objekte: Dame (5), Herr (3), Fußbereich der Dame (4), Licht- und Farbverhältnisse (2)	veränderte Objekte: Fußbereich (3), beide Personen (1), Schatten fehlt (3), Licht- und Farbverhältnisse (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 3 / 4	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 4 / 4

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*



$$\text{Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$$

$$\text{Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$$

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 38,46 % (unverän.) / 61,54 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 50 % (unverän.) / 50 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 56,73 % / 43,27 % [Standardabweichung: 17,02 %]	Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 43,85 % / 56,15 % [Standardabweichung: 7,5 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 37,31 % / 62,69 % [Standardabweichung: 22,72 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 34,32 % / 65,68 % [Standardabweichung: 21,41 %]
Statistisch betrachtet, liegt diese Komposition exakt im Mittelfeld. Mit knapp 40 % an falschen Einschätzungen der Probanden ist die Fehlerkategorie „Alpha Matte“ offensichtlich die unwesentlichste, weil sich trotz dieses Fehlers ein beachtlicher Teil der Studienteilnehmer für das Vorliegen einer Fotografie entschied. Berücksichtigt man jedoch die Aussagen der einzelnen Studienteilnehmer,	Den statistischen Daten zur Folge, schnitt diese Bildkomposition überdurchschnittlich gut ab. Immerhin jede zweite Person, die an der Studie teilnahm, entschied sich nach Betrachten dieses Bildes zu Gunsten einer unveränderten Fotografie. Trotz offensichtlicher „Alpha Matte“ Fehler beschrieben die Hälfte all jener Personen, die Fehler im Bild erkannten, den Umgebungsfehler als ausschlaggebenden

wird deutlich, dass nur die Hälfte jener Probanden, die Fehler in diesem Bild erkannten, auch tatsächlich den „Alpha Matte“ Fehler bemerkten. Die andere Hälfte begründete ihre Entscheidung, indem sie Umgebungsfehler nannte.

Grund, warum dieses Bild keine Fotografie sein soll. Um noch mehr Menschen von diesem Bild zu überzeugen, wären Verbesserungen im Bereich der Beleuchtung, wie Einfügen eines Schattens, die effizienteste Lösung. Trotz allem kann bei dieser Darstellung von einer durchaus gelungenen Komposition gesprochen werden.

## Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View

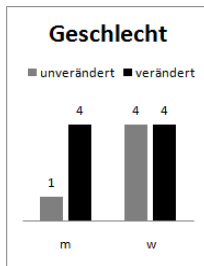


Gaze View

Die beiden Läufer im Zentrum dieses Bildes wurden sofort von den Probanden untersucht. Nur einige wenige Studienteilnehmer untersuchten kurz die Umgebung. Die Füße der Läuferin wurden besonders genau unter die Lupe genommen und waren letztendlich meist ausschlaggebend für eine Entscheidung gegen eine Fotografie. Auch der männliche Läufer wurde entlang der Randbereiche genauer untersucht. Um mögliche Beleuchtungsfehler zu erkennen, suchten die Probanden auch den Bereich um die Füße der Personen ab, besonders an jenen Stellen, an denen sie einen Schatten erwarteten.

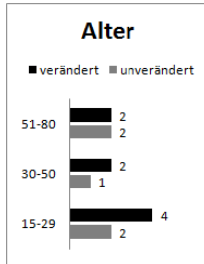
Die Probanden beschränkten sich bei dieser Bildbetrachtung hauptsächlich auf die beiden Personen. Die Gaze-View Darstellung zeigt ganz deutlich, dass die Studienteilnehmer einzelne Teilbereiche der beiden Läufer sehr auffällig verglichen. Dabei standen vor allem die Fußbereiche im Mittelpunkt der Untersuchung. Der Körper der abgebildeten Personen wurde ansonsten nur in Gesichtsnähe intensiver betrachtet.

## Analyse der Probanden

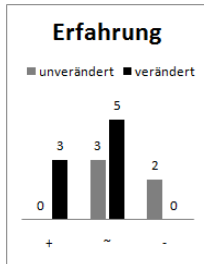


Vier der fünf männlichen Probanden erkannten Artefakte bei diesem Bild und entschieden sich daher für ein digital nachbearbeitetes Bild, während die weiblichen Teilnehmer vollkommen

unentschlossen waren.

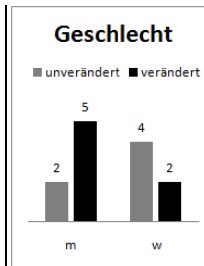


Die Unterteilung in Alterskategorien brachte keinen Aufschluss darüber, wieso Frauen bei dieser Komposition kein einheitliches Ergebnis erzielen konnten.



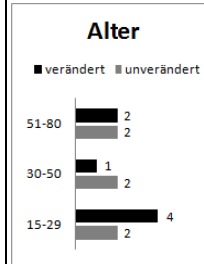
Dieses Diagramm bestätigt die Relevanz von Erfahrung im Bereich der Bildverarbeitung. Alle erfahrenen Probanden konnten Fehler in der Bildkomposition ausmachen, unerfahrene Personen

nicht.

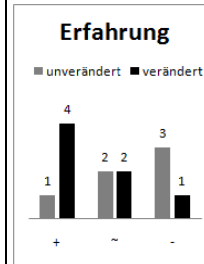


Bei diesem Bild lässt sich eine geschlechtsspezifische Tendenz erkennen. Vor allem Frauen konnten großteils keine Artefakte im Bild erkennen, während der überwiegende Teil der Männer diese auch

benennen konnte.



Diese Unterteilung der Probanden in Alterskategorien kann lediglich zeigen, dass der Großteil der jüngeren Studienteilnehmern diese Bildkomposition richtig einschätzte.



Dieses Diagramm bestätigt die Relevanz von Erfahrung in dieser Studie. Fast alle sehr erfahrenen Probanden erkannten die Fehler des Algorithmus bei der Segmentierung. Unerfahrene Personen hielten dieses Bild

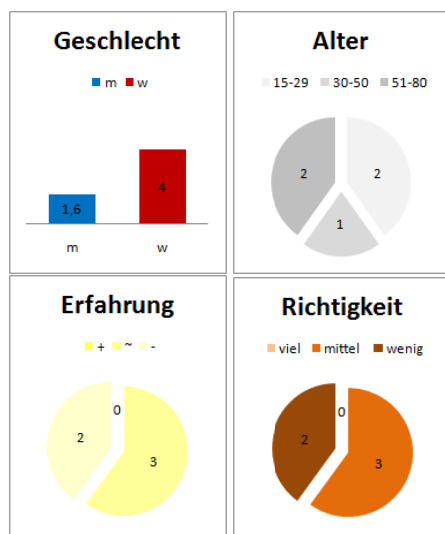
größtenteils für eine Fotografie.

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

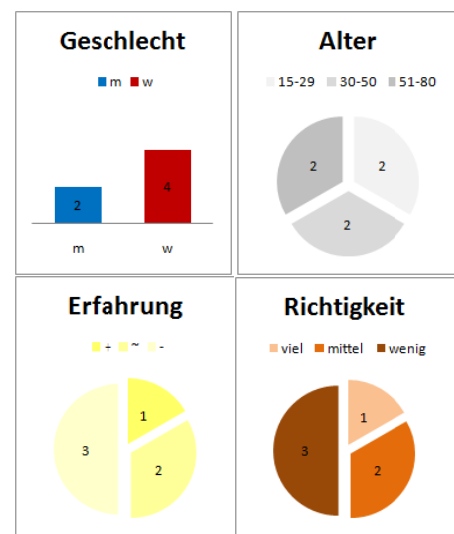
Erklärung der grafischen Darstellung „Geschlecht“:  
Da bei dieser Probandengruppe mehr Frauen, als Männer teilnahmen, wurde der Männeranteil dem Anteil der Frauen angeglichen. Dies war notwendig, um eine aussagekräftige Gegenüberstellung darstellen zu können.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 5  
Durchschnittliche Fehler dieser Personen: 10,4



Dieses Bild wurde eindeutig von jenen Personen falsch eingestuft, die im Laufe der Studie überdurchschnittlich viele Fehler machten. Auch bei diesem Bild kann trotzdem von einer relativ guten Komposition gesprochen werden, weil überdurchschnittlich viele Probanden Fehler übersahen. Auffallend ist außerdem, dass hauptsächlich Frauen dieses Bild als Fotografie bewerteten, das Alter dabei keine wichtige Rolle einnimmt und fehlende Erfahrung in den Bereichen Bildbearbeitung und -verarbeitung das Erkennen von Fehlern in Kompositionen sehr erschwert.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6,5  
Durchschnittliche Fehler dieser Personen: 11,33

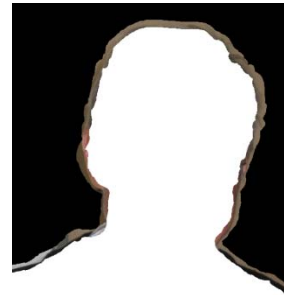


Bei diesem Bild wurden überdurchschnittlich viele Fehler begangen. Der allgemeine Mittelwert von 3,85 steht einem spezifischen Ergebnis von 6,5 gegenüber. Der durchschnittliche Fehlerwert von 8 je Proband wurde mit 11,33 bei dieser Komposition ebenfalls deutlich übertroffen. In weiterer Folge ist aus der Grafik „Richtigkeit“ zu erkennen, dass wiederum eher jene Personen diese Komposition für unverändert einstufen, die im Rahmen dieser Studie überdurchschnittlich viele Fehler begingen. Bei diesem konkreten Bild spielt die Altersverteilung keine Rolle, aber ein Blick auf die Grafik „Erfahrung“ genügt, um feststellen zu können, dass wiederum nur eher mäßig bzw. nicht erfahrene Studienteilnehmer mit ihren Bewertungen falsch lagen.

Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte



Bildkomposition

Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition

Bei dieser Segmentierung wurden im Bereich der Haare dieser Person farbliche Bereiche des ursprünglichen Hintergrundes übernommen, die in weiterer Folge eine unnatürliche Wiedergabe in der Komposition zur Folge haben. Da in diesem Fall ein ungenaues Matting die Schuld an einer schlechten Segmentierung trägt, wurde dieser Fehler der Kategorie „Alpha Matte“ zugeteilt.

Die Haare dieser Person wurden, vor allem auf der linken Seite und teilweise oben, schlecht erkannt. Unschärfe Kanten im Bereich der Schulterpartie zeigen ebenfalls die Probleme des Algorithmus auf, alle Teile dieser Person als zusammengehörig zu erkennen. Da beide dieser Fehlerbereiche in die Kategorie „Alpha Matte“ fallen, wurde dieses Bild auch nur dieser zugewiesen.



## Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.  
**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.  
 - / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 9/4*  veränderte Objekte: Unschärfe bei den Haaren (3), Kragen (1), Augen (1)  Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / - / 3	unverändertes / verändertes Bild: 6/7  veränderte Objekte: Artefakte / Unschärfe bei den Haaren / Kopfbereich (4), Augen (1), Lippen (1), Schatten fehlt (1)  Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 1 / 4
--	---

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*

Fehlerkategorie(n): Alpha Matte	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte, Farbe	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte
Bild 1	Bild 2	Bild 3

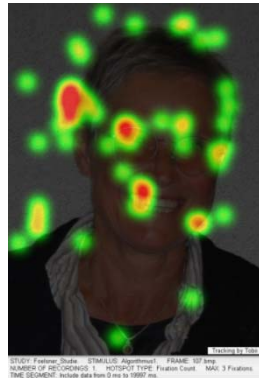
$Mittelwert\ der\ Kategorie\ „Alpha\ Matte“\ (bei\ nur\ einer\ Fehlerkategorie) = (Bild1 + Bild\ 3) \div 2$   
 $Allgemeine\ Daten\ der\ Fehlerkategorie\ „Alpha\ Matte“\ (Mittelwert) = (Bild\ 1 + Bild\ 2 + Bild\ 3) \div 3$

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 73,08 % (unverän.) / 26,92 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 46,15 % (unverän.) / 53,85 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 56,73 % / 43,27 % [Standardabweichung: 17,02 %]	Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 43,85 % / 56,15 % [Standardabweichung: 7,5 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 37,31 % / 62,69 % [Standardabweichung: 22,72 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 34,32 % / 65,68 % [Standardabweichung: 21,41 %]
Die wenigen Probanden, die Fehler bei dieser Komposition erkannten, bemerkten eine gewisse Unschärfe bei den Haaren der Person. Diese Artefakte sind laut Definition als „Alpha Matte“ Fehler zu kategorisieren. Der allgemeine Mittelwert von 37,31 % liegt zwar weit unter jenem dieses Bildes, dennoch ist er der höchste, im Vergleich zu den anderen beiden Fehlerkategorien. Diese Bildkomposition unterstreicht besonders stark, dass „Alpha Matte“ Fehler die Probanden nicht zwingend ein verändertes Bild vermuten lassen – bei diesem Bild irrten sogar fast 75 % der Teilnehmer.	Statistisch betrachtet, schneidet diese Komposition überdurchschnittlich gut ab und ist deshalb als recht gelungene Visualisierung einzuordnen. Fast jeder zweite Proband beschrieb diese Komposition als Fotografie. Grundsätzlich schnitten Bilder, die so genannte „Alpha Matte“ Fehler aufweisen, bei dieser Studie immer recht ordentlich ab, weil diese Art von Fehlern die Testpersonen nicht zwingend veränderte Bilder vermuten ließ.

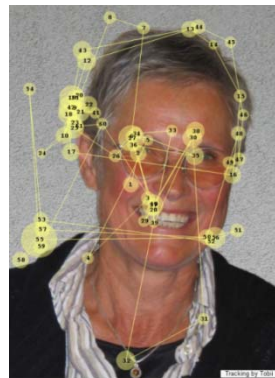


## Analyse der Eye-Tracking Bilder

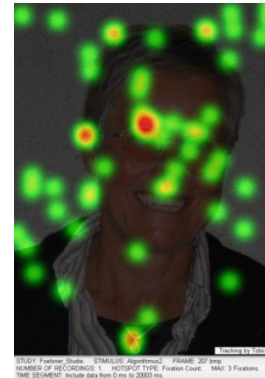
Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Gaze View



Hotspots

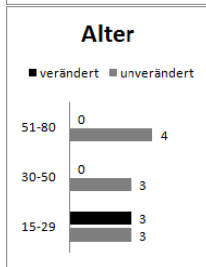
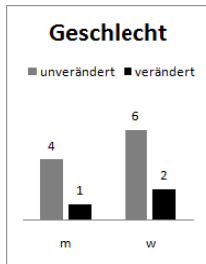


Gaze View

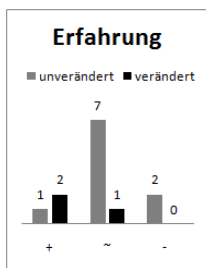
Bei der Prüfung dieses Bildes auf Echtheit entschieden sich die meisten Probanden auf eine Evaluierung der Randbereiche und einigen Bereichen innerhalb des Gesichts. Brille, Zähne, Haare, Kopf und Schultern wurden besonders genau unter die Lupe genommen. Der farblich auf die Haarfarbe der Person ausgerichtete Hintergrund konnte die Problembereiche, vor allem bei den Haaren, die der Algorithmus bei der Berechnung aufwies, gut verdecken. Nur zwei Studienteilnehmer kamen dahinter, während diese Komposition fälschlicherweise von den verbleibenden 10 Personen als Fotografie eingestuft wurde.

Um eine Entscheidung auf Echtheit dieses Bild treffen zu können, fixierten die meisten Studienteilnehmer keine einzelnen Stellen, sondern ließen das Bild als Gesamtheit wirken. Viele Blicksprünge beweisen, dass dieses Bild nicht systematisch abgetastet wurde. Trotz dieses planlos wirkenden Betrachtens dieses Bildes fanden immer mindestens drei Fixierungen im Bereich des rechten Ohres der Person statt. Genau in diesem Bereich lassen Ungenauigkeiten in Form von teilweise transparenten und unscharfen Stellen eine Bildnachbearbeitung vermuten.

## Analyse der Probanden



Fotografie.

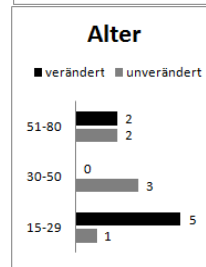
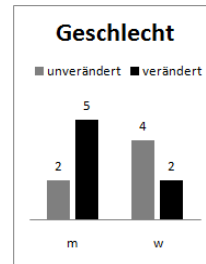


unerfahrenen Personen konnten bei diesem Bild keine Artefakte feststellen.

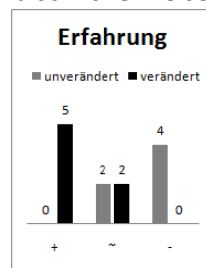
Geschlechtsunterschied lässt sich keiner ausmachen, da sowohl die Mehrheit der Frauen, also auch jene der Männer gegen das Vorliegen einer Bildkomposition stimmte.

15 bis 29 Jährige waren zu recht skeptisch, ob es sich bei diesem Bild nicht doch um eine Komposition handelt. Alle Probanden ab 30 Jahren sahen jedoch keinen Grund dafür und entschieden sich für eine

Die Erfahrung der einzelnen Studienteilnehmer im Bereich der Bildbearbeitung und Bildverarbeitung macht sich bei diesem Bild besonders bemerkbar. Nahezu alle nur mäßig erfahrenen bzw.



ältesten Studienteilnehmer ab 51 Jahren waren sich vollkommen uneinig und zum Gegensatz der jüngsten Teilnehmer stufen die 30 – 50 jährigen diese Bildkomposition fälschlicherweise als Fotografie ein.



mäßig erfahrenen waren sehr unentschlossen und die unerfahrenen Testpersonen stimmten allesamt falsch.

Diese grafische Darstellung lässt lediglich jene Tendenz erkennen, dass eher mehr Frauen als Männer diese Bildkomposition für eine Fotografie hielten.

Für 15 – 29 jährige Probanden stellte eine Entscheidung hinsichtlich der Echtheit dieses Bildes keine große Mühe dar. Nahezu alle Personen dieser Alterskategorie antworteten richtig. Die

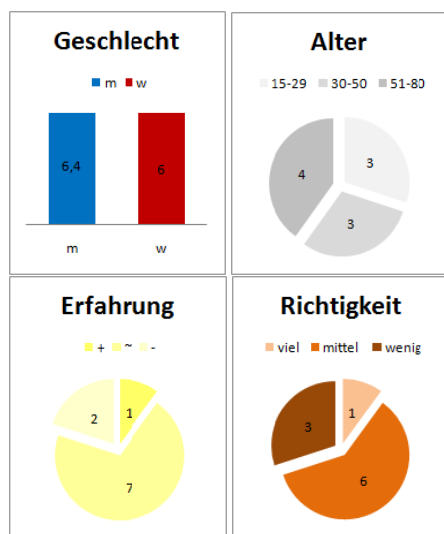
Die Erfahrung im Bereich der Bildver- und -bearbeitung der einzelnen Studienteilnehmer spielt bei diesem Bild eine ganz wichtige Rolle. Die erfahrenen Probanden entschieden alle richtig, die

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

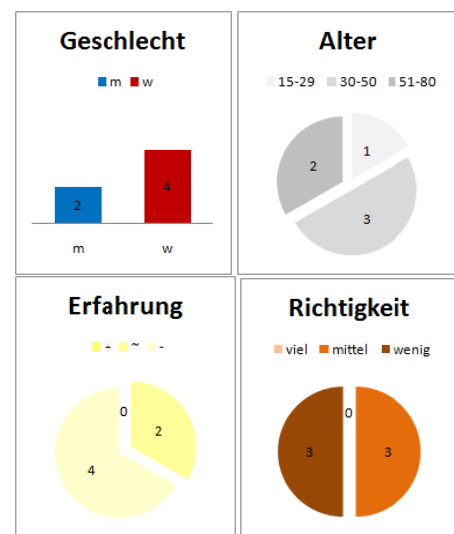
Erklärung der grafischen Darstellung „Geschlecht“:  
Da bei dieser Probandengruppe mehr Frauen, als Männer teilnahmen, wurde der Männeranteil dem Anteil der Frauen angeglichen. Dies war notwendig, um eine aussagekräftige Gegenüberstellung darstellen zu können.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 9,5  
Durchschnittlicher Fehler dieser Personen: 9,89



Der Wert, der weit über dem Durchschnitt liegenden Fehler, jener Probanden, die sich bei dieser Abbildung falsch entschieden, zeigt außerordentlich deutlich, dass vorwiegend jene Studienteilnehmer keine Fehler feststellen konnten, die während der gesamten Studie überdurchschnittlich viele Dinge missinterpretierten bzw. Fehler übersahen. Diese Bildkomposition ist als außerordentlich gelungen einzuordnen, weil über 75% der Personen keine Artefakte in der Visualisierung entdecken konnten.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6  
Durchschnittlicher Fehler dieser Personen: 11,5



Diese vier Übersichtsgrafiken zeigen ganz deutlich, dass hauptsächlich weibliche Studienteilnehmer mit ihrer Entscheidung falsch lagen, nahezu nur Personen ab 30 Jahren Fehler begingen, erfahrene Teilnehmer keine Fehler machten und nur jene Probanden, die während der gesamten Studie oftmals falsch lagen, sich auch bei diesem Bild in die Irre führen ließen.

Allgemeine Daten

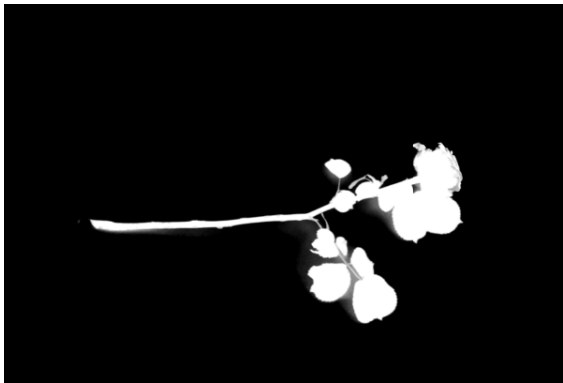


Originalbild

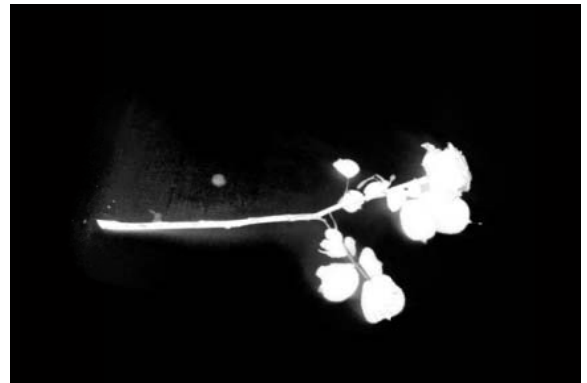


Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Die Rose in der Komposition weist, im Vergleich zum Originalbild, sogar entlang des Stängels einen Rot-Stich auf, der auf einen so genannten „Farbfehler“ des Algorithmus hindeutet. Das rote Tischtuch im Originalbild beeinflusste den Algorithmus bei der Segmentierung so stark, dass Farbrückstände bestehen blieben.

Diese wenigen Markierungen des zu segmentierenden Objekts reichten nur bedingt aus, es tatsächlich zu erkennen. Der Algorithmus berechnete zwar alle Teile dieser Rose, addierte aber einige Bereiche des Hintergrundes des ursprünglichen Bildes zu diesem hinzu. In der Komposition ist vor allem der Farbfehler wahrzunehmen, der entlang des Stängels, der Blätter und des Blütenkopfes zu finden ist. Die Farbe Rot des Tischtuches begleitet dieses segmentierte Objekt auch in neuen Bildkompositionen.

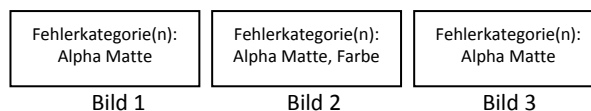
## Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.  
**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.  
 - / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 4/9  veränderte Objekte: rötlicher Schatten (8), Knospe (1), Lichtverhältnisse (1)	unverändertes / verändertes Bild: 4/9  veränderte Objekte: rötlicher Schatten (6), Mosaiksteine (1), Schatten fehlt (1), Umgebung (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 8 / 1 / -	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 6 / 2 / -

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*



$$\text{Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$$

$$\text{Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$$

Fehlerkategorie „Farbe“ (dieses Bild): 30,77 % (unverän.) / 69,23 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorie „Farbe“ (dieses Bild): 30,77 % (unverän.) / 69,23 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei einer Fehlerkategorie): 26,92 % / 73,08 % [Standardabweichung: 5,44 %]	Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei einer Fehlerkategorie): 30,77 % / 69,23 %
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert): 26,92 % / 73,08 % [Standardabweichung: 9,10 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert): 17,95 % / 82,05 % [Standardabweichung: 18,47 %]
Acht der neun Probanden, die in diesem Bild einen Fehler wahrnahmen, bemerkten den Farbfehler in Form eines roten Schattens entlang der Rose. Die Daten lassen zwar einen leicht überdurchschnittlichen Erfolg dieser Komposition erkennen, weil fast jeder dritte Studienteilnehmer diesen Fehler übersah. Dennoch liegen die Ergebnisse klar im Rahmen der Toleranz und beschreiben den Farbfehler, auch bei diesem Bild, als ausschlaggebend dafür, ob eine Komposition als verändert erkannt wurde, oder eben nicht.	Diese Komposition bildet eine Ausnahme, weil es als einziges vorwiegend die Fehlerkategorie „Farbe“ aufweist. Viele alle jener Probanden, die diese Komposition richtigerweise als verändertes Bild einstufen nahmen den Farbfehler wahr und konnten diesen näher beschreiben. Obwohl nur ungefähr drei von zehn Personen dieses Bild für echt hielten, liegt diese Zahl weit über dem allgemeinen Mittelwert dieser Fehlerkategorie in Höhe von gerundeten 18 %. Diese Tatsache deutet auf jeden Fall darauf hin, dass, wenn nur eine Fehlerkategorie definiert wurde, auch das Ergebnis ein besseres ist.

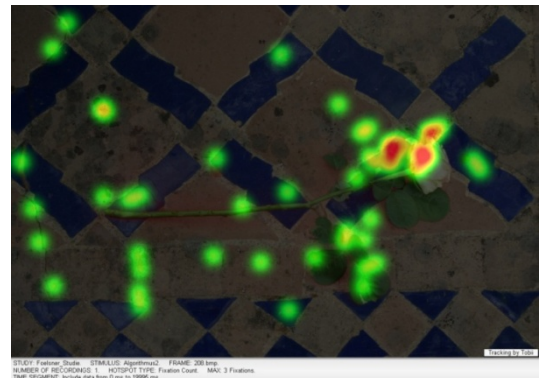


## Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



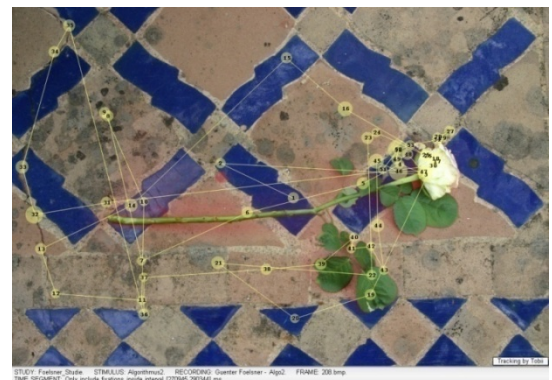
Hotspots



Hotspots



Gaze View



Gaze View

Die Studienteilnehmer tasteten die Rose entlang des Stängels ab. Der Blütenkopf und die Blattzwischenräume wurden ebenfalls besonders genau untersucht. Gerade in diesen Bereichen, unterhalb des Stängels und zwischen den Blättern, ist der Farbfehler des Algorithmus am größten, der dadurch von 8 der 13 Probanden eindeutig identifiziert wurde. Ein weiterer Studienteilnehmer vermisste einen Schatten und nur vier Personen hielten diese Komposition für eine Fotografie.

Dieses Bild wurde vor allem im Bereich der Blüte betrachtet. Dort fixierten die Probanden am meisten. Weil der Hintergrund eher kalte Farben, wie grau und blau, aufweist, konnten sich viele Teilnehmer die roten Farbrückstände im Bild nicht erklären. Sowohl die Hotspots-Grafik, als auch die Gaze-View Darstellung legen suchende Blicke offen, die diese, dieser Umgebung unähnlichen Farbkomponente, zu evaluieren versuchten.

## Analyse der Probanden

Eine weitere Untersuchung der Probanden ist bei diesem Bild irrelevant, weil knapp 70% der Teilnehmer diese Komposition als digitale Bearbeitung einstufen.

Allgemeine Daten



Originalbild

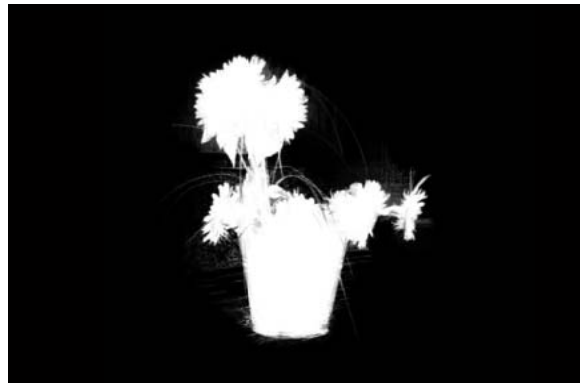


Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Bereits im Alpha Matte ist ersichtlich, dass es Berechnungsfehler bei der Erkennung des Topfes der Sonnenblumen gab. Der Algorithmus hatte Probleme den Topf von den dunklen Holzplatten zu trennen, was bei der Komposition links unten am Objekt ersichtlich ist. Ein weiteres Problem ist die Spiegelung der Holzplatten auf dem glänzenden Topf, weil diese grundsätzlich zu keiner anderen Umgebung passen kann. Dieses Bild ist daher in die beiden Kategorien „Alpha Matte“ und „Umgebung“ einzuordnen.

Die wenigen Fehler des Algorithmus im Bereich des Blumentopfes, die bereits im Alpha Matte ersichtlich sind, führten in weiterer Folge in der Bildkomposition zu offensichtlichen Problemen. Unschärfe und undeutliche Kanten entlang des Topfes lassen dieses Objekt nicht als Teil des Bildes wirken. Die Fehlerkategorie „Umgebung“ beschreibt andererseits jene Bildfehler, die diese neue Umgebung bedingen. Dazu zählen die unwirkliche Spiegelung im Bereich des Blumentopfes und die uneinheitlich wirkende Beleuchtung.

### Aussagen der Probanden

- \*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.
- [[ZAHL]]**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.
- / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 1/12	unverändertes / verändertes Bild: 6/7
veränderte Objekte: Menschen im Hintergrund – Position, Größe (7), Sonnenblumen (3), Schatten der Blumen (2), Sessel rechts (1), Blumen – Hintergrund (1)	veränderte Objekte: Menschen im Hintergrund – Position, Größe (3), Farb- und Beleuchtungsverhältnisse / Position Blumen (3), Blumentopf (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 8 / 2	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 6 / 1

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*

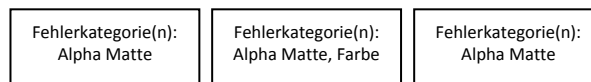


Bild 1

Bild 2

Bild 3

$$\text{Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$$

$$\text{Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$$

Fehlerkategorien „Umgebung“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild): 7,69 % (unverän.) / 92,31 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorien „Umgebung“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild): 46,15 % (unverän.) / 53,85 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Umgebung“ (bei zwei Fehlerkategorien): 30,77 % / 69,23 % [Standardabweichung: 21,07 %]	Mittelwert der Kategorie „Umgebung“ (bei zwei Fehlerkategorien): 40,38 % / 59,62 % [Standardabweichung: 8,16 %]
Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien): 26,15 % / 73,85 % [Standardabweichung: 17,07 %]	Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien): 30,77 % / 69,23 % [Standardabweichung: 17,83 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Umgebung“ (Mittelwert): 23,85 % / 76,15 % [Standardabweichung: 14,71 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Umgebung“ (Mittelwert): 26,07 % / 73,93 % [Standardabweichung: 16,18 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 37,31 % / 62,69 % [Standardabweichung: 22,72 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 34,32 % / 65,68 % [Standardabweichung: 21,41 %]
Über 90 % der Probanden erkannten Fehler in	Nur nahezu die Hälfte der Probanden stufte

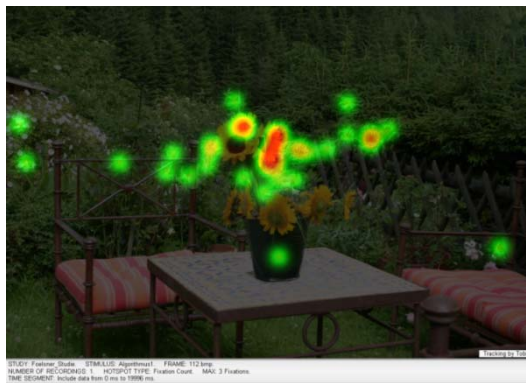


diesem Bild. Der überwiegende Teil beschrieb einen Umgebungsfehler und übersah die Artefakte im Zuge der Segmentierung im Bereich des Blumentopfes. Beim Zusammentreffen mehrerer möglicher Fehler in nur einem Bild schneidet, wie die statistischen Daten belegen, besonders die Fehlerkategorie „Alpha Matte“ unterdurchschnittlich schlecht ab. Dies lässt darauf hindeuten, dass der „Alpha Matte“ Fehler lediglich dann eine große Rolle spielt, falls eine zweite Fehlerkategorie dem Bild zugewiesen werden muss. Ein über 20 % hoher Wert der Standardabweichung beim Mittelwert der Kategorie „Umgebung“ bezeichnet hohe Schwankungsbreiten und somit eher polarisierende, uneinheitliche Ergebnisse. Dennoch ist, besonders bei diesem Bild mit diesen eindeutigen Ergebnissen, die Wichtigkeit der Gestaltung und Auswahl neuer Hintergründe hervorzuheben. Dieses Bild bekommt deshalb nahezu keine Glaubwürdigkeit zuerkannt, weil unterschiedlichste Umgebungsfaktoren die Betrachter irritierten.

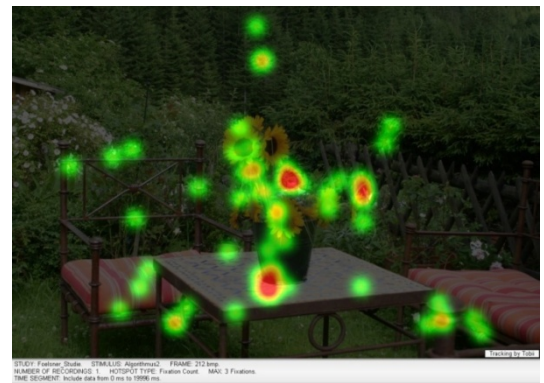
diese Komposition als verändertes Bild ein. Diese Personen beschrieben außerdem vorwiegend umgebungsspezifische Anomalien. Nur eine Aussage deckte den Bereich „Alpha Matte“ ab. Verglichen mit allen anderen Mittelwerten, dieses Bild betreffend, schneidet diese Visualisierung äußerst ordentlich ab. Auf Grund der Personenaussagen lässt sich festhalten, dass der „Alpha Matte“ Fehler bei diesem Bild eher zu vernachlässigen ist, weil sich die Umgebungsfaktoren in diesem Fall wesentlich auf das Ergebnis auswirkten.

### Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View



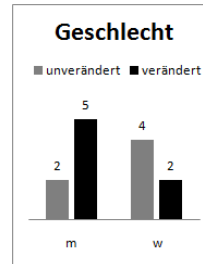
Gaze View

Bei dieser Komposition ist das Ergebnis der Eye-Tracking Bilder besonders interessant. Obwohl die Probanden dieses Bild richtigerweise als nachbearbeitet einstufen, wird hier deutlich wieso. 7 der 12 Studienteilnehmer, die dieses Bild als verändert wahrnahmen, waren von den Personen im Hintergrund irritiert und übersahen eindeutig das relativ ungenaue Matting des Algorithmus im Bereich des Blumentopfes.

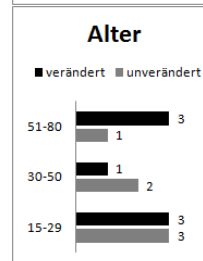
Die Probanden tasteten den Blumentopf sehr genau ab. Die Kante zwischen Tischplatte und Topf wurde ebenfalls genau evaluiert, weil dort mögliche Beleuchtungseigenschaften fehlerhaft sein konnten. Neben dem Blumentopf standen die Personen im Hintergrund im Mittelpunkt der Beobachtungen. Fast die Hälfte aller Fixierungen befindet sich an Stellen, an denen die teilweise verdeckten Menschen durchblicken.

### Analyse der Probanden

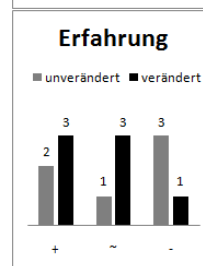
Die Fehler dieser Komposition wurden zwar teilweise übersehen, trotzdem ist das Endergebnis von 12 der 13 Probanden eindeutig zu Gunsten eines bearbeiteten Bildes zu interpretieren, das eine Analyse der Teilnehmer irrelevant macht.



Bei diesem Bild lagen mehr Frauen falsch als Männer.



Diese Grafik macht deutlich, dass besonders viele junge und Probanden mittleren Alters dieses Bild fälschlicherweise als Fotografie einstufen.



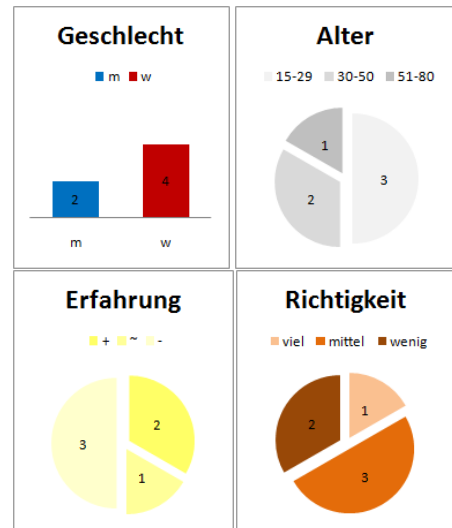
Die Erfahrungswerte der Studienteilnehmer spielten bei den Entscheidungen keine wesentliche Rolle. Trotzdem lässt sich festhalten, dass die Mehrheit der unerfahrenen Probanden dieses Bild falsch einschätzte.

einschätzte.

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6  
Durchschnittliche Fehler dieser Probanden: 10



Bei dieser Bildkomposition fällt auf, dass viele 15 – 29 jährige die Artefakte des Algorithmus nicht erkennen konnten. Der durchschnittliche Fehler dieser Probanden ist mit dem Wert 10 auch nicht wesentlich höher als der Durchschnittswert von 8. Der Grund dafür ist, dass auch Personen, die mehr Erfahrung haben und auch im Laufe der Studie etliche richtige Antworten gaben, ausnahmsweise bei diesem Bild falsch lagen.

## Allgemeine Daten

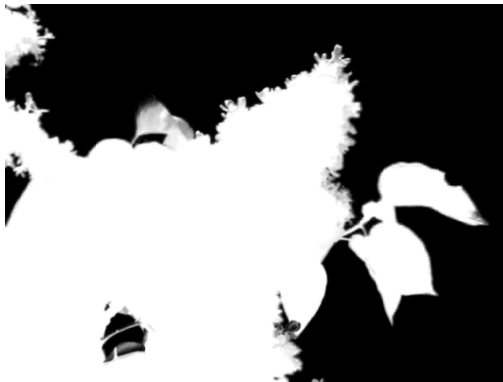


Originalbild



Trimap Overlay

## Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte

## Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Diese Komposition macht ganz besonders deutlich, wie ungenau die Berechnungen des Algorithmus werden können, wenn lediglich eine unexakte Trimap angegeben wird, obwohl grundsätzlich nur der fast gleichförmige Himmel als Hintergrund zu erkennen wäre. In der Mitte des Flieders wurden immer wieder einige Stellen des Himmels der Pflanze zugerechnet, die deshalb bei genauerem Betrachten problemlos als eingefügtes Objekt zu erkennen ist. Ein wei-

Der Hintergrund des zu segmentierenden Fliederbusches ist zwar relativ gleichförmig, dennoch reichte eine ungenaue Trimap für den Algorithmus nicht aus, das gesamte Objekt fehlerfrei zu erkennen. Die entstandenen Berechnungsfehler haben ein Durchscheinen des ursprünglichen Hintergrundes und durchsichtige Blätter zur Folge. Außerdem weisen die Kanten der Blüten und Blätter Farben des Hintergrundes des Ursprungsbildes auf, die unter der Feh-

terer Fehler bei der Berechnung der Alpha Matte ist das Blatt im mittleren Bildbereich, das lediglich teilweise erkannt wurde und in der Komposition daher transparent wiedergegeben wird. Auch der Farbfehler wird bei dieser Segmentierung wieder besonders offensichtlich, weil nahezu alle weißen Fliederblüten von einem blauen Rand des Ursprungsbildes umgeben sind.

lerkategorie „Farbe“ eingeordnet wurden.

### Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.

**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.

- / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 3/10

unverändertes / verändertes Bild: 1\*/12

veränderte Objekte: linker Schornstein (6), durchsichtiges Blatt in der Mitte (2), Konturen des Flieders (3), Himmel am Dach sichtbar (2), linke Seite des Flieders verschwommen (1)

veränderte Objekte: Flieder – Hintergrund / Position, Größe, Tiefenschärfe (3), blaue Konturen an den Blättern (6), durchsichtiges Blatt (6), Artefakte links oben (1), linker Schornstein (1)

Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 3 / 6 / 5

Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 6 / 4 / 6

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*

Fehlerkategorie(n): Alpha Matte	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte, Farbe	Fehlerkategorie(n): Alpha Matte
Bild 1	Bild 2	Bild 3

Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie) = (Bild1 + Bild 3) ÷ 2  
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert) = (Bild 1 + Bild 2 + Bild 3) ÷ 3

Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild):  
23,08 % (unverän.) / 76,92 % (verändertes Bild)

Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild):  
3,85 % (unverän.) / 96,15 % (verändertes Bild)

Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei zwei Fehlerkategorien):  
30,77 % / 69,23 %  
[Standardabweichung: 10,18 %]

Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei zwei Fehlerkategorien):  
24,36 % / 75,64 %  
[Standardabweichung: 21,18 %]

Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien):  
26,15 % / 73,85 %  
[Standardabweichung: 17,07 %]

Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien):  
30,77 % / 69,23 %  
[Standardabweichung: 17,83 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert):

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert):



26,92 % / 73,08 %  
 [Standardabweichung: 9,10 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie  
 „Alpha Matte“ (Mittelwert):  
 37,31 % / 62,69 %  
 [Standardabweichung: 22,72 %]

Die beiden Mittelwerte der Kategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“, im Vergleich mit diesem bildspezifischen Ergebnis, sprechen für eine durchschnittliche Bildkomposition. Berücksichtigt man jedoch die Aussagen der einzelnen Probanden wird deutlich, dass dieses Bild offensichtlich aus einem anderen Grund von nur knapp über 20 % der Studienteilnehmer als Fotografie beschrieben wurde. Bei diesem Bild wurden die Probanden eindeutig von der Umgebung abgelenkt, so bemerkten viele die Fehler der zugewiesenen Kategorien nicht. Da im Nachhinein nicht bewiesen werden kann, wie die Probanden entschieden hätten, wäre ein anderer Hintergrund gewählt worden, dürfen diese statistischen Daten nicht weiter interpretiert werden.

17,95 % / 82,05 %  
 [Standardabweichung: 18,47 %]

Allgemeine Daten der Fehlerkategorie  
 „Alpha Matte“ (Mittelwert):  
 34,32 % / 65,68 %  
 [Standardabweichung: 21,41 %]

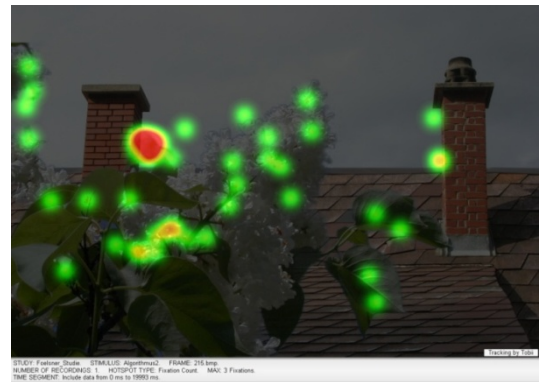
Diese Bildkomposition ist in jedem Fall der Kategorie „ungelungen“ zuzuordnen. Fast alle Probanden haben Fehler entdeckt und sich auf Grund dessen gegen eine Fotografie entschieden. Die ausschlaggebenden Gründe dafür sind einerseits die sehr schlechte Segmentierung des Flieders, die den ursprünglichen Hintergrund an einigen Stellen dem Objekt zuordnete oder Teile der Pflanze zu vorsichtig als zusammengehörig erkannte, und andererseits die Farbrückstände entlang des gesamten Gewächses. Sämtliche Mittelwerte der betroffenen Fehlerkategorien liegen deutlich über dem des Einzelbildes, das, soll diese Komposition jemals als Fotografie beschrieben werden, viele weitere Bearbeitungsschritte notwendig macht.

### Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View



Gaze View

Auch diese Eye-Tracking Bilder geben Aufschluss darüber, wie entscheidend oftmals die Wahl eines neuen Hintergrundbildes die Wahrnehmung der Betrachter beeinflusst. Dieser, gerade in Randbereichen, definitiv schlecht segmentierte Flieder wurde zwar abgetastet, dennoch standen die beiden Schornsteine im Hintergrund bei der Betrachtung im Vordergrund. Mehr als die Hälfte der Personen, die dieses Bild als Nachbearbeitung empfanden, begründeten ihre Entscheidung mit dem Vorhandensein eines äußerst gleichförmigen zweiten Rauchfangs. Diese Studienteilnehmer behielten zwar mit ihrer Entscheidung zu Gunsten einer Bearbeitung recht, übersahen aber offensichtliche Fehler eine Ebene davor. Die Pfade, die die Probanden mit ihren Augen zurücklegten, zeigen, dass sie hauptsächlich zwischen den beiden Schornsteinen hin und her gingen und dabei die Fehler des Algorithmus übersahen.

Diese Eye-Tracking Bilder zeigen deutlich, wie oft und wie genau die Artefakte des Bildes betrachtet wurden. Das durchsichtige Blatt vor dem linken Schornstein wurde dabei besonders genau betrachtet, auf der anderen Seite wurden aber auch nicht-zuordenbare Rückstände des ursprünglichen Hintergrundes wahrgenommen. Die Konturen an den Blättern und Blüten der Pflanze wurden ebenfalls mehrmals fixiert. Diese vielen Fehler lenkten die Probanden vollkommen vom Hintergrund ab, der in weiterer Folge nur unwesentlich betrachtet wurde.

#### **Analyse der Probanden**

Bei dieser Bildkomposition lagen 10 der 13 Studienteilnehmer richtig, indem sie mögliche Fehler dieses Bildes anführten. Die drei Personen, die ihrer Ansicht nach ein Originalbild vorfanden, kann man statistisch nicht analysieren.

Letztendlich lagen alle 13 Probanden bei diesem Bild richtig. Eine Analyse der Probanden ist in diesem Fall nicht erkenntnisbringend.



## Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

## Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte



Bildkomposition

Entlang der Schnauze des Hundes und in der Augengegend hatte der Algorithmus Probleme klare Objektgrenzen zu finden. Hauptsächlich in diesen Bereichen sind Artefakte des Originalhintergrundes zu finden. In der Ohr- und Rückengegend des Hundes wurden an den Übergangsbereichen Farbfehler gemacht. An jenen Stellen hat der Hund nämlich plötzlich grüne Haare, anstatt seiner eigentlichen Fellfarbe.

## Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition

Bereits das Alpha Matte lässt auf eine ungenaue Segmentierung des Hundes, mittels ungenauer Trimap, schließen. Entlang der Schnauze des Tiers sind Artefakte in Form von Überresten des Ursprungsbildes erkennbar. Diese Komposition weist allerdings auch noch den so genannten Farbfehler auf. Entlang den Randbereichen des Hundes, über den gesamten Rücken, fast bis ganz hervor zur Schnauze, ist das Fell grün eingefärbt.

## Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.  
**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.  
 - / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 4*/9  veränderte Objekte: Haare des Hundes im Rückenbereich (2), Schärfe des Hundes (3), Hund (2), Blumentopf (2), Haare des Hundes sind tlw. grün (2), um die Schnauze Bild verschwommen (2)	unverändertes / verändertes Bild: 6/7  veränderte Objekte: Fell ist teilweise grün (5), Tiefenschärfe (3), teilweise unsaubere Konturen (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 2 / 3 / 2	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 5 / 3 / 1

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*



$Mittelwert\ der\ Kategorie\ „Alpha\ Matte“\ (bei\ nur\ einer\ Fehlerkategorie) = (Bild1 + Bild\ 3) \div 2$   
 $Allgemeine\ Daten\ der\ Fehlerkategorie\ „Alpha\ Matte“\ (Mittelwert) = (Bild\ 1 + Bild\ 2 + Bild\ 3) \div 3$

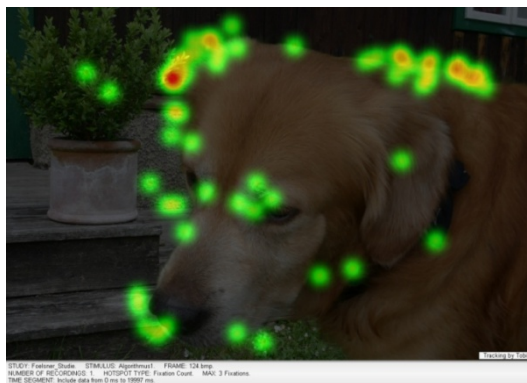
Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild): 26,92 % (unverän.) / 73,08 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“ (dieses Bild): 46,15 % (unverän.) / 53,85 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei zwei Fehlerkategorien): 30,77 % / 69,23 % [Standardabweichung: 10,18 %]	Mittelwert der Kategorie „Farbe“ (bei zwei Fehlerkategorien): 24,36 % / 75,64 % [Standardabweichung: 21,18 %]
Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien): 26,15 % / 73,85 % [Standardabweichung: 17,07 %]	Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei zwei Fehlerkategorien): 30,77 % / 69,23 % [Standardabweichung: 17,83 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert): 26,92 % / 73,08 % [Standardabweichung: 9,10 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Farbe“ (Mittelwert): 17,95 % / 82,05 % [Standardabweichung: 18,47 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 37,31 % / 62,69 % [Standardabweichung: 22,72 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 34,32 % / 65,68 % [Standardabweichung: 21,41 %]
Die Mittelwerte der beiden Kategorien „Farbe“	Vergleicht man die Mittelwerte der beiden

und „Alpha Matte“, im Vergleich mit diesem spezifischen Ergebnis, sprechen für eine durchschnittliche Bildkomposition. Obwohl nur wenige Probanden ihren Verdacht begründen konnten, wurden auch bei dieser Komposition die Personen teilweise vom Hintergrund abgelenkt. Trotz allem erkannte der Großteil der Studienteilnehmer richtig, dass es sich dabei um ein verändertes Bild handelt, weil sich das Tier optisch vom Hintergrund abhebt. Eine besonders niedrige Standardabweichung mit niedrigem Mittelwert bei der Fehlerkategorie „Farbe“ spricht dafür, dass ein Farbfehler doch zumeist erkannt wird. Bilder die diesen Fehler aufweisen, wurden nie größtenteils als Fotografie bewertet.

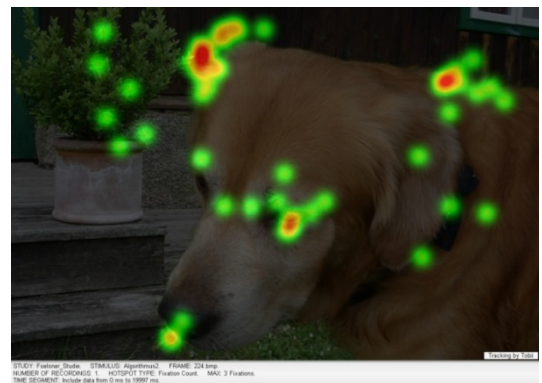
Fehlerkategorien „Farbe“ und „Alpha Matte“ mit dem Ergebnis dieses Bildes, kann man durchaus von einer recht gelungenen Bildkomposition sprechen. Nur knapp über die Hälfte der Studienteilnehmer konnte Artefakte beobachten. Die meisten Probanden begründeten ihre Entscheidung auf wahrgenommenen Farbfehlern an den Randbereichen des Hundes. Die sehr hoch liegenden Werte der Standardabweichungen lassen darauf schließen, dass Bilder nicht unmittelbar wegen ihrer Fehler oftmals als gelungen oder schlecht eingestuft werden, sondern auf Grund bildspezifischer Gegebenheiten polarisieren.

### Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



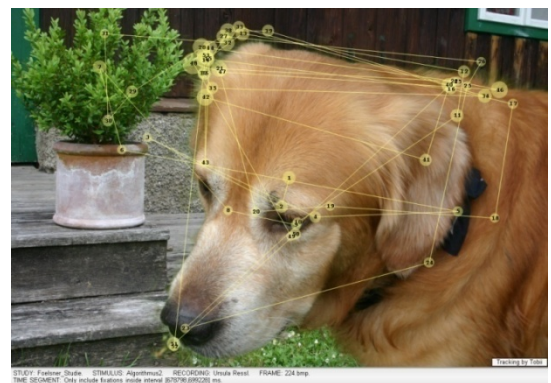
Hotspots



Hotspots



Gaze View



Gaze View

Diese Komposition wurde von den Teilnehmern weitgehend als solche erkannt. Die Begründungen dafür teilten sich in drei Bereiche auf. Einige waren der Überzeugung, dass die Tiefenschärfe unwirklich wäre, andere erkannten die Fehler des Alpha Mattes im Bereich der Schnauze und das letzte Drittel nahm den Farbfehler des Algorithmus bei einem Ohr und dem

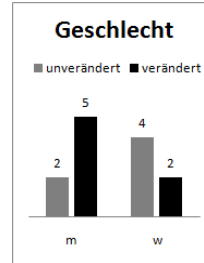
Bei der Analyse der Eye-Tracking Bilder dieser Bildkomposition geht eindeutig hervor, dass die Probanden vorwiegend Randbereiche des Hundes abtasteten. Sie fokussierten besonders jene Bereiche um das rechte Ohr des Tiers, sowie einige Stellen am Rücken. Genau an diesen sensiblen Bildbereichen ist der Farbfehler des Algorithmus am deutlichsten, der das Fell des

Rücken des Hundes wahr. Diese Darstellungen zeigen Ergebnisse jenes Probanden, dem die Farbfehler im Randbereich des Fells auffielen.

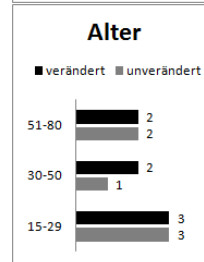
Hundes an diesen Übergangsbereichen, dem ursprünglichen Hintergrund entsprechend, grün einfärbte. Alle anderen Stellen wurden entweder ausgelassen oder nur flüchtig begutachtet.

### Analyse der Probanden

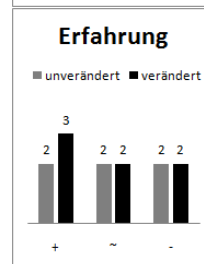
Eine Analyse der Probanden ist bei dieser Komposition nicht notwendig, da 10 von 13 Studienteilnehmern Artefakte fanden, d.h. somit keine weiteren Informationen aus einer persönlichen Analyse gewonnen werden können.



Bei dieser Bildkomposition lässt sich festhalten, dass nur die Mehrheit der Männer Fehler entdecken konnte.



Ein altersspezifischer Grund dafür lässt sich jedoch nicht finden, weil alle Alterskategorien gleichverteilt richtig bzw. falsch antworteten.

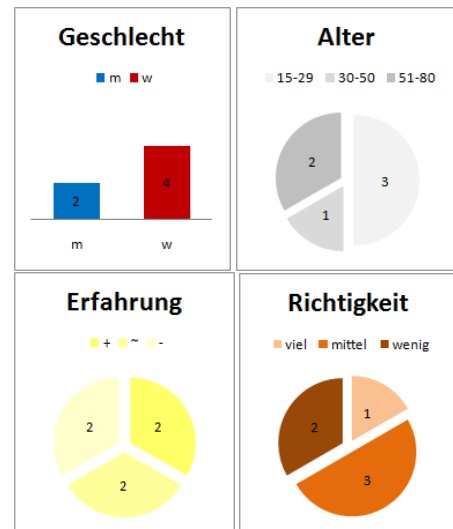


Auch die Erfahrung spielt bei dieser Bildkomposition überhaupt keine Rolle. Personen jeder Erfahrungsstufe lagen zu gleichen Teilen falsch.

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6  
Durchschnittliche Fehler dieser Probanden:  
10,67



Wie das Ergebnis des Erfahrungsschatzes der Studienteilnehmer vermuten lässt, haben bei diesem Bild vor allem jene Probanden keine Artefakte des Algorithmus erkennen können, die bereits auch andere Abbildung falsch einschätzten. Diese Bildkomposition ist in weiterer Folge als recht gut gelungen einzustufen, weil nur Personen, die besonders genau auf versteckte Fehler achteten, diese auch erkennen konnten.



Allgemeine Daten



Originalbild



Trimap Overlay

Auswertung Algorithmus 1



Alpha Matte

Auswertung Algorithmus 2



Alpha Matte



Bildkomposition



Bildkomposition

Die Torte wurde in diesem Fall sehr gut segmentiert, weil gerade derartige Lochbereiche, vergleichbar mit durchscheinendem Hintergrund bei einem Baum, nur im Bereich des unterhalb liegenden Messers und der Serviette Fehler aufweist.

Die Torte wurde vom ursprünglichen Hintergrund nur mäßig gut getrennt. Ein besonders großer Fehler ist das Durchsicheren des alten Hintergrundes im Bereich der löchrigen Tortenaufgabe, das zu Problemen der Glaubwürdigkeit in der neuen Bildkomposition führt. Das Entstehen der Artefakte in dieser Form bedingt eine Zuordnung dieses Bildes in die Fehlerkategorie „Alpha Matte“.

## Aussagen der Probanden

\*...Wert -1, weil Person sich nach erneuter Durchsicht (Kollage am Ende der Studie) anders entschied.  
**([ZAHL])**...Anzahl jener Personen, die den Fehler in diesem Bereich vermuteten.  
 - / - / -...Anzahl der auf Grund der Aussagen der Studienteilnehmer zugeteilten Fehlerbereiche

unverändertes / verändertes Bild: 9/4  veränderte Objekte: roter Bereich links (3), Tortenkante zu gerade (1), Messer müsste fallen (1)	unverändertes / verändertes Bild: 6*/7*  veränderte Objekte: Hintergrund der Tortenaufgabe unecht (4), Messer müsste fallen (1), leichte rote Farbrückstände beim Papier (2), Papier wirft keinen Schatten auf Sessel (1)
Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): - / 1 / 3	Fehlerkategorie (Farbe / Umgebung / Alpha Matte): 2 / 2 / 4

### Statistische Daten

*Erklärung: Eine Unterscheidung in „Mittelwert dieser Kategorie (bei x Fehlerkategorien)“ und in „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ war deshalb zu treffen, um Bildkompositionen, die die gleiche(n) Fehlerkategorie(n) (Alpha Matte, Farbe und/oder Umgebung) aufweisen, gruppieren zu können. Während „Allgemeine Daten dieser Fehlerkategorie“ lediglich den allgemeinen Durchschnitt einer Fehlerkategorie offenlegt, erlaubte eine weitere Unterscheidung („Mittelwert dieser Kategorie“) eine detaillierte Analyse eines Bildes hinsichtlich ähnlich fehlerbehafteter Bildkompositionen.*



$$\text{Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 3}) \div 2$$

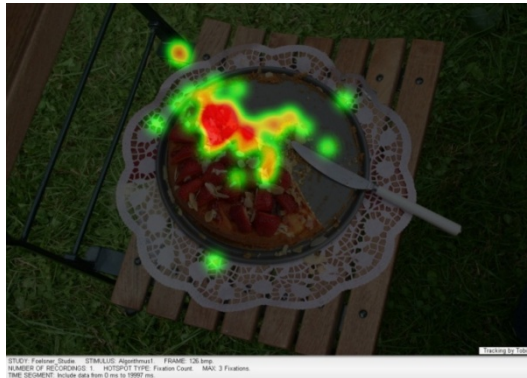
$$\text{Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert)} = (\text{Bild 1} + \text{Bild 2} + \text{Bild 3}) \div 3$$

Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 69,23 % (unverän.) / 30,77 % (verändertes Bild)	Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (dieses Bild): 46,15 % (unverän.) / 53,85 % (verändertes Bild)
Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 56,73 % / 43,27 % [Standardabweichung: 17,02 %]	Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ (bei nur einer Fehlerkategorie): 43,85 % / 56,15 % [Standardabweichung: 7,5 %]
Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 37,31 % / 62,69 % [Standardabweichung: 22,72 %]	Allgemeine Daten der Fehlerkategorie „Alpha Matte“ (Mittelwert): 34,32 % / 65,68 % [Standardabweichung: 21,41 %]
Diese Komposition ist besonders gut gelungen, weil fast 70 % der Probanden keine Artefakte feststellen konnten. Dieser Wert liegt statistisch über dem Mittelwert der Kategorie „Alpha Matte“ bei den Bildern, die nur diese Fehler aufweisen. Mit knapp 40 % an falschen Einschätzungen der Probanden ist diese Fehlerkategorie offensichtlich die unwesentlichste, weil sich trotz dieses Fehlers ein sehr beachtlicher Teil der Studienteilnehmer für das Vorliegen einer Fotografie entschied.	Diese Komposition ist wieder ein Beispiel dafür, wie wenigen Probanden der einzelne „Alpha Matte“ Fehler im Laufe dieser Studie auffiel. Ungefähr 50 % der Studienteilnehmer stufen dieses Bild überhaupt als digitale Nachbearbeitung ein, das für eine recht gelungene Bildkomposition spricht. Von dieser Zahl beschrieb wiederum nur die Hälfte den Fehler „Alpha Matte“. Die niedrige Standardabweichung von unter 8 % beweist, dass andere Bilder mit nur dieser Fehlerkategorie ähnlich gute Ergebnisse erzielen konnten.

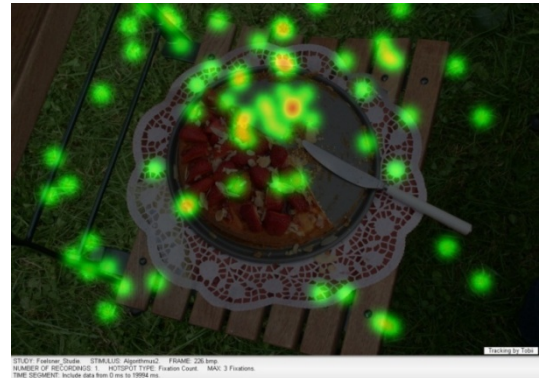


## Analyse der Eye-Tracking Bilder

Erklärung der Farben: grün: eine Fixierung; gelb: zwei Fixierungen; rot: drei Fixierungen oder mehr



Hotspots



Hotspots



Gaze View

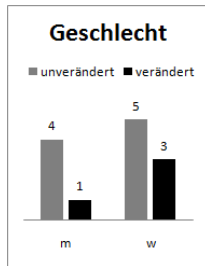


Gaze View

Bei der Analyse der Eye-Tracking Bilder zu dieser Komposition gibt es zwei unterschiedliche Blickverhalten zu unterscheiden. Einige Personen versuchten das Bild als Ganzheit zu analysieren, fokussierten also nicht primär die Torte – andere, wie auf der Hotspots-Darstellung erkennbar, untersuchten die Grenzen der Torte. In diesem Fall behalten jene Personen recht, die das Bild als Ganzes evaluieren, da nur bei genauerer Betrachtung des Sesselzwischenraumes der große Alpha Matte Fehler des Algorithmus erkannt werden kann.

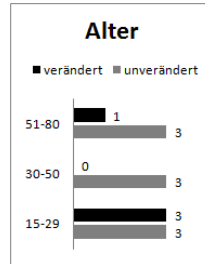
Die Torte im Bildmittelpunkt wird bei dieser Komposition zweifelsfrei am längsten betrachtet. Nahezu alle Probanden untersuchten jedoch auch die Umgebung, um festzustellen, ob die Position der Torte der Realität entsprechen könnte. Dennoch wurde der Sesselzwischenraum, der einen großen „Alpha Matte“ Fehler verdecken sollte, nur flüchtig betrachtet.

## Analyse der Probanden

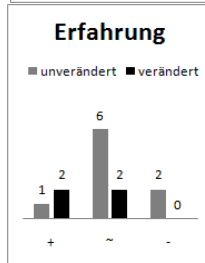


Bei dieser Komposition wurde sowohl von der Mehrheit der weiblichen Probanden, als auch von jener der männlichen Teilnehmer, kein Fehler entdeckt. Dieses Bild wurde daher fälschlicherweise als

Fotografie bewertet.

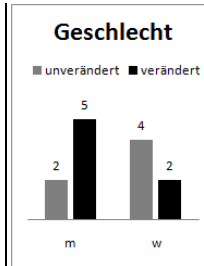


Besonders die Studienteilnehmer ab 30 Jahren stuften dieses Bild falsch ein. Die jüngeren Probanden waren vollkommen uneinig.

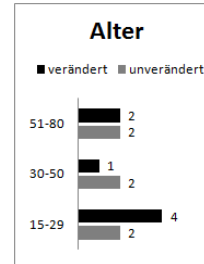


Um diese Bildkomposition richtig einschätzen zu können, mussten die Teilnehmer sehr erfahren sein. 8 der 10 mäßig erfahrenen bzw. unerfahrenen Personen konnten keine Artefakte

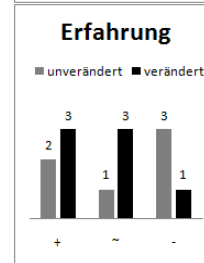
erkennen.



Bei dieser Komposition übersahen mehrheitlich weibliche Studienteilnehmer Artefakte in diesem Bild.



Besondere Tendenzen auf Grund des Alters lassen sich keine ablesen.



Die Erfahrung spielt zwar bei dieser Bildkomposition eine Rolle, dennoch lassen sich daraus keine eindeutigen Erkenntnisse gewinnen. Unerfahrene Probanden hatten Probleme mit der

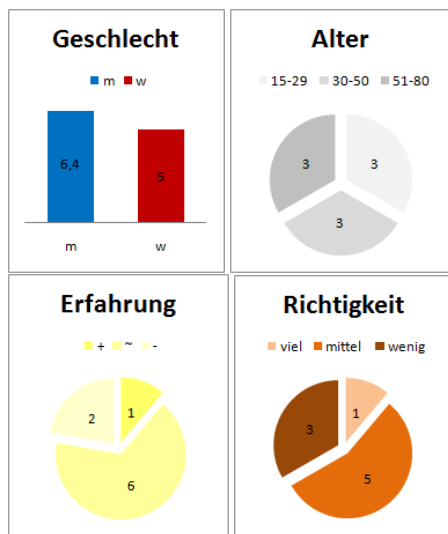
Einschätzung, aber auch sehr erfahrene Testpersonen lagen falsch.

## Richtigkeit

Erklärung „Fehler bei diesem Bild“: Entschied sich ein Proband nach wiederholter Bildansicht (vgl. Lerneffekt) um, wurde 0,5 zum Letztstand addiert.

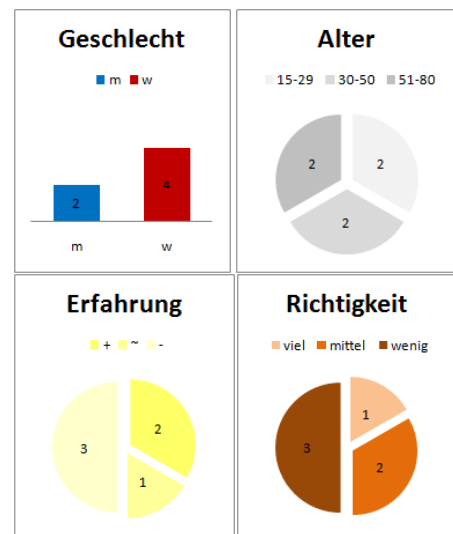
Erklärung der grafischen Darstellung „Geschlecht“:  
Da bei dieser Probandengruppe mehr Frauen, als Männer teilnahmen, wurde der Männeranteil dem Anteil der Frauen angeglichen. Dies war notwendig, um eine aussagekräftige Gegenüberstellung darstellen zu können.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 9  
Durchschnittliche Fehler dieser Personen: 9,44



Wie das Ergebnis des Erfahrungsschatzes der Studienteilnehmer vermuten lässt, konnten bei diesem Bild vor allem jene Probanden keine Artefakte des Algorithmus erkennen, die bereits etliche andere Abbildungen falsch einschätzten. Diese Bildkomposition ist in weiterer Folge als sehr gut gelungen einzustufen, weil nur Personen, die besonders genau auf versteckte Fehler achteten, diese auch erkennen konnten.

Fehler der Probanden gesamt: 104  
Durchschnittliche Fehler je Proband: 8  
Durchschnittliche Fehler je Bild: 3,85  
Fehler bei diesem Bild: 6  
Durchschnittliche Fehler dieser Personen: 10,17



Wie das Ergebnis des Erfahrungsschatzes der Studienteilnehmer vermuten lässt, haben bei diesem Bild vor allem jene Probanden keine Artefakte des Algorithmus erkennen können, die bereits auch andere Abbildung falsch einschätzten. Diese Bildkomposition ist in weiterer Folge als durchaus gut gelungen einzustufen, weil nur Personen, die besonders genau auf versteckte Fehler achteten, diese auch erkennen konnten.

### 3.6.2 Zusammenfassung Algorithmus 1

#### 3.6.2.1 Probanden

Die Abbildung 3.6.2.1-1 zeigt in drei Farbabstufungen die Anzahl der im Laufe der Studie begangenen Fehler aller Studienteilnehmer. Ein Fehler ist in diesem Fall so zu verstehen, dass eine falsche Entscheidung bezüglich Echtheit eines Bildes getroffen wurde. Dabei wurden lediglich die endgültigen Aussagen der Probanden berücksichtigt – entschied sich ein Teilnehmer am Ende der Studie um, wurde das korrigierte Ergebnis gezählt.

				Algorithmus 1: Bildnummern																											
m/w	Alter	Erfahrung	Studie	(1)	2	(3)	4	5	6	7	8	(9)	10	(11)	12	(13)	14	15	(16)	17	(18)	19	20	21	(22)	23	24	(25)	26	27	Fehler / Pers.
m	1	+	-									X		X																X	3
w	1	+	-									X										X	X	X							4
m	1	+	+				X			X									X							X				4	
w	1	~	-				X					X		X					X											4	
w	3	~	-						X	X			X			X				X	X						X			7	
m	2	~	-				X			X	X			X											X	X			X	7	
w	2	~	-	X						X					X			X				X				X	X	X	X	9	
m	1	~	-		X				X	X	X						X	X					X			X	X		X	10	
m	3	~	+	X	X			X		X	X	X		X					X	X									X	10	
w	2	-	-		X				X	X				X					X		X			X	X	X			X	10	
w	3	-	-		X	X	X		X	X	X			X		X					X			X		X		X	X	11	
w	1	-	-	X	X			X	X	X	X		X						X	X	X							X	X	11	
w	3	~	+		X		X	X	X	X		X		X				X				X	X	X		X	X	X	X	14	
<b>Summe Fehler pro Bild</b>				<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	

Abbildung 3.6.2.1-1	Farbe	Fehleranzahl	Altersgruppe	Alter
	Rosa	~ 0 – 20 %	1	15-29 Jahre
	Orange	~ 20 – 40 %	2	30-50 Jahre
	Dunkelrot	~ 40 – 100 %	3	51-80 Jahre

- X ... Falschaussage eines Probanden (korrigierte Aussagen berücksichtigt)
- (Bildnummer) ... Originalbild
- Bildnummer ... Bildkomposition
- Erfahrung „+“ ... Proband hatte viel Wissen im Bereich der Bildbearbeitung (beruflich, privat)
- Erfahrung „~“ ... Studienteilnehmer wusste, was unter einer digitalen Bildnachbearbeitung zu verstehen ist
- Erfahrung „-“ ... Testperson wusste nicht, was eine Bildnachbearbeitung ist
- Studie „+“ ... Proband hatte bereits Studienerfahrung
- Studie „-“ ... Testperson hatte vorher noch nie an einer Studie teilgenommen

Diese Abbildung zeigt nun deutlich, dass hinsichtlich der Fehleranzahl eine durchwegs gerechte Verteilung vorliegt. Vier Studienteilnehmer machten nur bis ungefähr 15 % Fehler, sechs zwischen 25 % und 40 % und drei Personen zwischen 40 % und 52 %. Das Abschneiden dieser Personen lässt sich zum Teil anhand der persönlichen Daten Alter, Geschlecht und Erfahrung erklären. Obwohl sich keine geschlechtsspezifischen und altersbedingten Unterschiede ausmachen lassen, weil sowohl Frauen und Männer relativ gleichverteilt in den Gruppen zu finden sind und sich nur einige 15-29 jährige Teilnehmer etwas abheben, lässt sich hinsichtlich der Erfahrung mit Bildverarbeitung und Bildbearbeitung hingegen eine sehr deutliche Tendenz ablesen. Personen, die Erfahrung in diesen Bereichen aufweisen konnten, schnitten mit Abstand am besten ab. Studienteilnehmer die keine Erfahrung mit digitalen Nachbearbeitungen aufweisen konnten, bewerteten jedenfalls 40 % der Studienbilder falsch. All jene Benutzer, die ihre Kenntnisse durchschnittlich einstuften, sind erwartungsgemäß im Mittelfeld dieser Aufstellung zu finden. Letztendlich ohne Aussage bleibt die Einteilung der Studienteilnehmer nach Studienerfahrung. Beim Fragebogen vor Studienbeginn gaben in diesem Durchgang nur drei Personen an, dass sie bereits an Studien teilgenommen haben. Jede dieser drei Personen schnitt vollkommen unterschiedlich ab, so dass nicht einmal eine mögliche Tendenz zu erkennen ist.

### 3.6.2.2 Fehler

<b>Gewichtung der Personenaussagen (nur Kompositionen)</b>			
	<b>Farbe</b>	<b>Umgebung</b>	<b>Alpha Matte</b>
<b>Summe der Fehler</b>	<b>20</b>	<b>76</b>	<b>50</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>1,11</b>	<b>4,22</b>	<b>2,78</b>
<b>Fehlerrelevanz *</b>	<b>0,19</b>	<b>0,42</b>	<b>0,28</b>
* 6 Farbe / 10 Umgebung / 10 Alpha Matte			

Abbildung 3.6.2.2-1

Ein wichtiges Ziel dieser Studie war unter anderem feststellen zu können, welche Probleme die einzelnen Algorithmen mit der Segmentierung von Objekten haben und wie sich entstandene Artefakte in einer neuen Bildkomposition auswirken.

Die Tabelle 3.6.2.2-1 hilft festzustellen, welche Fehlerkategorie letztendlich ausschlaggebend ist, um einer Komposition den Status einer Fotografie zuerkennen zu können. Sechs Bilder wurden der Kategorie „Farbe“, zehn der Kategorie „Umgebung“ und zehn der Kategorie „Alpha Matte“ zugeteilt<sup>2</sup>.

Bei der Gewichtung der Personenaussagen wurde die Summe der einzelnen Fehlerkategorien aus Kompositionen ermittelt, die die Probanden festhielten. Dividiert man diese Summen durch die Anzahl an Kompositionen, in dieser Studie durch 18, erhält man den Mittelwert einer Fehlerkategorie je bearbeitetem Bild. Um jedoch eine aussagekräftige Analyse vornehmen zu können, musste der Mittelwert mit der Häufigkeit der auftretenden Fehlerkategorie gewichtet werden. Das Ergebnis dieser Berechnung ist letztendlich die für diese Auswertung notwendige Zahl der Fehlerrelevanz. Die Höhe dieses Wertes spiegelt den Einfluss einer Fehlerkategorie wider, den sie auf eine Bildkomposition ausübt. Ein hoher Wert zeigt an, dass man sich bei einer zukünftigen Erstellung einer Bildkomposition mit diesem Bereich intensiver auseinandersetzen muss, will man realitätsgetreue neue Szenen generieren.

Die Fehlerkategorie „Umgebung“ schneidet dabei am höchsten ab und war somit für die Probanden der wichtigste Entscheidungsfaktor. Da die Wahl einer passenden neuen Umgebung für segmentierte Objekte nicht in der Hand des einzelnen Algorithmus liegt, kann nur durch ein intensiveres Auseinandersetzen mit Beleuchtungs- und Positionseinstellungen eine Verbesserung in diesem Bereich erzielt werden.

Ein ebenfalls recht häufig genannter Fehler ist der der Kategorie „Alpha Matte“. Fehler, die in diesem Bereich passieren, entstehen durch falsch berechnete Vordergrundobjekte des Algorithmus, der mittels manuell definierter Trimaps arbeitet. Da in dieser Studie sowohl genaue, als auch weniger exakte Trimaps gleichverteilt zum Einsatz kamen, die Analyse der einzelnen Bilder keine wesentlichen Unterschiede dieser Markierungsarten ergab, ist festzuhalten, dass dieser Algorithmus weiterer Verbesserungen im Bereich der Segmentierung bedarf, um bessere Ergebnisse erzielen zu können.

Ergänzend ist anzumerken, dass der Farbfehler bei bildspezifischen Inhalten eine sehr wichtige Rolle spielt. Der so genannte Farbfehler bezeichnet Artefakte des Algorithmus in Randbereichen von Objekten, die vor allem an sehr feinen, dünnen Strukturen, wie Haaren, die Farbe des ursprünglichen Hintergrunds transportieren.

---

<sup>2</sup> Mehrfachzuordnungen möglich, falls zwei oder sogar alle drei Fehlerkategorien in einer Bildkomposition von den Probanden gefunden wurden.

### 3.6.2.3 Bilder

Die Abbildung 3.6.2.3-1 zeigt deutlich, welche Bildkompositionen sehr gut gelungen sind und welche weniger gut.

	Algorithmus 1: Bildnummern																										
	(1)	2	(3)	4	5	6	7	8	(9)	10	(11)	12	(13)	14	15	(16)	17	(18)	19	20	21	(22)	23	24	(25)	26	27
Summe Fehler pro Bild	4*	6	2*	6*	3	5	9+	4	6	1	7	1	1	3*	3	6	4*	5	4*	3	2	3	7	4*	1	9	2

Abbildung 3.6.2.3-1

**Farbe**  
 Dunkelgrün: ~ 70 – 100 %  
 Mittelgrün: ~ 40 – 70 %  
 Hellgrün: ~ 0 – 40 %

**[Zahl]+** ... [Zahl] Probanden haben sich bei der Bewertung dieses Bildes falsch entschieden.  
 Ein Studienteilnehmer hat seine vormals richtige Entscheidung revidiert.

**[Zahl]\*** ... [Zahl] Probanden haben sich bei der Bewertung dieses Bildes falsch entschieden.  
 Ein Studienteilnehmer korrigierte jedoch nachträglich seine falsche Entscheidung.

**(Bildnummer)** ... Originalbild

**Bildnummer** ... Bildkomposition

Das kräftige Grün hebt die beiden besonders gut gelungenen Bilder hervor. Die Bilder 7 (siehe Kapitel 3.6.1.4) und 26 (siehe Kapitel 3.6.1.9) wurden von einer sehr großen Anzahl an Probanden fälschlicherweise als echte Fotografie beschrieben.

Ebenfalls recht gute Bildkompositionen sind die Bilder 2 (siehe Kapitel 3.6.1.1), 4, 6 (siehe Kapitel 3.6.1.3) und 23, die in der Tabelle in Mittelgrün dargestellt werden. Ungefähr die Hälfte aller Probanden konnte bei diesen Visualisierungen keine Fehler erkennen. Um diese Bilder überzeugend in Praxisanwendungen einsetzen zu können, wären jedenfalls einige wenige weitere Bearbeitungsschritte notwendig.

Alle anderen Kompositionen wurden vom Großteil der Studienteilnehmer als digital verändertes Bild erkannt und bedürfen eines großen Zeitaufwandes, um sie nachhaltig realitätsgetreu zu gestalten.

Die Bilder, die in Klammern eingetragen wurden, bezeichnen alle Originalbilder dieser Studie. Betrachtet man diese, kommt man dabei zum Schluss, dass wenigstens vier der neun Fotografien Zweifel bezüglich ihres Echtheitsgrades bei den Probanden geweckt haben. Diese hohe Anzahl an Fehlinterpretationen der Teilnehmer bestärkt die gute Qualität der sechs gut bzw. besonders gut gelungenen Kompositionen.

### 3.6.3 Zusammenfassung Algorithmus 2

#### 3.6.3.1 Probanden

Eine Analyse der Studienteilnehmer ließ ihre bei der Studie begangenen Fehler näher aufschlüsseln. In Abbildung 3.6.3.1-1 ist eine Einteilung in drei Kategorien abzulesen, die letztendlich gültige Entscheidungen (nach Ansicht der Bilderkollage am Studienende) der Probanden farblich hinterlegt.

		Algorithmus 2: Bildnummern																													
m/w	Alter	Erfahrung	Studie	(1)	2	(3)	4	5	6	7	8	(9)	10	(11)	(12)	(13)	14	15	(16)	17	(18)	19	20	21	(22)	23	24	(25)	26	27	Fehler / Pers.
m	1	+	-																X										X	2	
w	1	~	-																X					X	X					3	
m	1	+	+										X										X		X	X				4	
m	3	+	-									X		X										X	X		X			5	
m	3	~	+	X							X					X		X							X					5	
m	1	+	-				X		X		X						X						X			X				6	
m	2	-	-		X					X		X				X	X					X							X	7	
w	1	+	+	X	X	X	X					X	X	X									X				X	X		10	
w	1	~	-	X			X	X	X			X	X	X								X				X	X			10	
m	2	-	-				X	X	X	X		X	X	X		X							X				X			10	
w	2	-	-	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X	X		X										X	12	
w	3	-	+	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X									X		X	X	X	X	X	14	
w	3	~	-	X			X	X	X		X	X	X				X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	16	
<b>Summe Fehler pro Bild</b>				<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	

Abbildung 3.6.3.1-1	Farbe	Fehleranzahl	Altersgruppe	Alter
	Rosa	~ 0 – 20 %	1	15-29 Jahre
	Orange	~ 20 – 40 %	2	30-50 Jahre
	Dunkelrot	~ 40 – 100 %	3	51-80 Jahre

X ... Falschaussage eines Probanden (korrigierte Aussagen berücksichtigt)

(Bildnummer) ... Originalbild

Bildnummer ... Bildkomposition

Erfahrung „+“ ... Proband hatte viel Wissen im Bereich der Bildbearbeitung (beruflich, privat)

Erfahrung „~“ ... Studienteilnehmer wusste, was unter einer digitalen Bildnachbearbeitung zu verstehen ist

Erfahrung „-“ ... Testperson wusste nicht, was eine Bildnachbearbeitung ist

Studie „+“ ... Proband hatte bereits Studienerfahrung

Studie „-“ ... Testperson hatte vorher noch nie an einer Studie teilgenommen

Fast die Hälfte der Teilnehmer schätzten höchstens 20 % der Bilder falsch ein. Vier Probanden wurden der Kategorie 2 (orangene Farbkodierung) zugewiesen, weil sie zwischen 20 % und 40 % der Originalbilder und Bildkompositionen inkorrekt bewerteten. Lediglich drei Studienteilnehmer hatten große Probleme, bei den Bildern Artefakte zu finden, oder vertraten die Meinung, dass unverfälschte Originalbilder Fehler enthielten. Diese Gruppe (dunkelrote Markierung) schätzte nahezu jedes zweite Bild, teilweise sogar noch mehr, falsch ein. Eine nähere Analyse der Probanden hinsichtlich Geschlecht, Altersgruppe, Erfahrung und Studie gibt Aufschluss darüber, welche Personengruppen in diesem Studienumfeld „schlecht“ abschnitten und welche bessere Ergebnisse erzielen konnten.

Betrachtet man das Geschlecht wird deutlich, dass hauptsächlich Männer richtige Entscheidungen treffen konnten, während Frauen 40 % oder mehr Fehler begingen. Das Alter spielt bei den Männern dabei überhaupt keine Rolle. Ihre Ergebnisse findet man gleichverteilt in jeder Fehlerkategorie. Weibliche Probanden im Alter zwischen 30 und 80 Jahren hingegen hatten die meisten Probleme Bilder korrekt einzustufen. Nur Frauen, die zur Zeit des Studienablaufs zwischen 15 und 29 Jahren alt waren, konnten sehr gute oder zu mindestens befriedigende Ergebnisse erzielen. Der Grund dafür ist in der persönlichen Erfahrung im Bereich der Bildbearbeitung zu finden. Es gaben zwar vier weibliche und fünf männliche Probanden an, wenigstens ein wenig Ahnung in diesem Bereich mitzubringen. Trotzdem kreuzte der Großteil dieser Männer am Fragebogen an, privat oder beruflich mit Bildbearbeitun-



gen zu arbeiten, während zu diesem Zeitpunkt nur eine Frau selbst digitale Nachbearbeitungen erstellte.

Persönliche Erfahrung in den Bereichen Bildverarbeitung und Bildbearbeitung wirkte sich daher positiv auf das Erkennen von Artefakten in den Bildkompositionen aus. Daher ist es nicht überraschend, dass lediglich Probanden mit sehr viel oder zumindest mäßiger Erfahrung die besten Ergebnisse erzielen konnten. Umgekehrt hatten all jene Personen die meisten Probleme, die nur wenig oder keine Ahnung von Bildbearbeitung hatten. Die Daten bezüglich Studierenerfahrung konnten jedoch keinen Aufschluss darüber geben, warum ein Studienteilnehmer besser abschnitt als ein anderer.

### 3.6.3.2 Fehler

<b>Gewichtung der Personenaussagen (nur Kompositionen)</b>			
	<b>Farbe</b>	<b>Umgebung</b>	<b>Alpha Matte</b>
<b>Summe der Fehler</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>45</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>1,94</b>	<b>3,89</b>	<b>2,50</b>
<b>Fehlerrelevanz *</b>	<b>0,32</b>	<b>0,43</b>	<b>0,21</b>
* 6 Farbe / 9 Umgebung / 12 Alpha Matte			

Abbildung 3.6.3.2-1

Die Abbildung 3.6.3.2-1 dient der Feststellung, welche Fehlerkategorien aus Sicht der Probanden für eine möglichst realitätsnahe Komposition ausschlaggebend und welche weniger wichtig sind. Um eine aussagekräftige Zahl zu erhalten, die in weiterer Folge als Fehlerrelevanz bezeichnet wird, wurde die Summe aller Probandenaussagen ermittelt, um den Mittelwert bilden zu können. Die Fehlerrelevanz berücksichtigt außerdem noch die Auftrittshäufigkeit der einzelnen Fehlerkategorie. Eine höhere Fehlerrelevanz gibt an, dass diese Fehlerkategorie großen Einfluss auf die Qualität der Bildkompositionen hat.

Die Fehlerkategorie „Umgebung“ verzeichnete den größten Einfluss. Fehler in dieser Kategorie können jedoch nicht nur durch Verbesserungen des Matting-Algorithmus erreicht werden, sondern durch eine noch bessere, differenzierte Auswahl neuer Hintergründe für segmentierte Objekte. Der Umgebungsfehler beschreibt vor allem Schatten-, Helligkeits- und Beleuchtungsdefizite, die mit Hilfe zusätzlicher Bildbearbeitungsprogramme abgeglichen werden müssen. Ein intensiveres Auseinandersetzen mit dem segmentierten Objekt und seiner neuen Umgebung ist Grundvoraussetzung, um bei Betrachtern ein erhöhtes Maß an Akzeptanz zu erreichen.

Als zweithäufigst genannter Fehler ist der Farbfehler, ein meist durch den Matting-Algorithmus bedingtes Problem. Entlang von Objektkanten, besonders in Bereichen mit großen transparenten Flächen, erkannten die Studienteilnehmer Rückstände des Originalhintergrundes, die in vielen Fällen auf eine schlechte Bestimmung der Vorder- und Hintergrundfarben zurückzuführen sind.

Diesen Fehlern sollte in nächster Zukunft mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, um deutlich besser segmentierte Objekte generieren zu können. Auch der so genannte „Alpha Matte“ Fehler sollte weiter minimiert werden, obwohl er in diesem Studiendurchgang als geringste Fehlerursache beschrieben wurde. Exakte Trimaps liefern allerdings auch im Bereich des Farbfehlers bessere Ergebnisse. Der Grund, warum die Fehlerkategorie „Alpha Matte“ von den Probanden nur selten angeführt wurde (siehe Abbildung 3.6.3.2-1), ist, dass die beiden anderen Kategorien zu offensichtlich waren. Der „Alpha Matte“ Fehler wurde

von den Studienteilnehmern oftmals übersehen, weil andere Bildinhalte sie bereits von einer digitalen Nachbearbeitung überzeugten.

In dieser Studie wurden exakte und ungenaue Trimaps (siehe Kapitel 2.4.1.1) gleichverteilt verwendet. Dies sollte zu einer möglichst objektiven Bewertung dieser Kategorie beitragen.

### 3.6.3.3 Bilder

Die farbliche Abstufung in der Abbildung 3.6.3.3-1 verdeutlicht, wie viel Realitätsanspruch eine Bildkomposition besitzt.

	Algorithmus 2: Bildnummern																										
	(1)	2	(3)	4	5	6	7	8	(9)	10	(11)	12	(13)	14	15	(16)	17	(18)	19	20	21	(22)	23	24	(25)	26	27
Summe Fehler pro Bild	4++	4	1	6***	3	7*	6	4	4	5	7	6	4	6	1*	5	0	2	2	4	4*	5	5	6	2	6*+	1*

Abbildung 3.6.3.3-1

Farbe	Fehlerquote
Dunkelgrün:	~ 70 – 100 %
Mittelgrün:	~ 40 – 70 %
Hellgrün:	~ 0 – 40 %

**[Zahl]+** ... [Zahl] Probanden haben sich bei der Bewertung dieses Bildes falsch entschieden.  
Ein Studienteilnehmer hat seine vormals richtige Entscheidung revidiert.

**[Zahl]\*** ... [Zahl] Probanden haben sich bei der Bewertung dieses Bildes falsch entschieden.  
Ein Studienteilnehmer korrigierte jedoch nachträglich seine falsche Entscheidung.

**(Bildnummer)** ... Originalbild

**Bildnummer** ... Bildkomposition

Leider kann bei diesem Studiendurchgang kein Bild als besonders gute Komposition beschrieben werden. Nicht ein bearbeitetes Bild wurde von den Studienteilnehmern mit 70 % oder mehr als Fotografie eingestuft.

Dennoch sind viele Bildkompositionen dabei, die nach kleinen manuellen Nachbesserungen realitätsgetreuer wirken könnten. Die Bilder mit den Nummern 6 (siehe Kapitel 3.6.1.3), 7 (siehe Kapitel 3.6.1.4), 10, 12 (siehe Kapitel 3.6.1.6), 14, 23, 24 (siehe Kapitel 3.6.1.8) und 26 (siehe Kapitel 3.6.1.9) sind Beispiele für diese Kategorie.

Alle anderen Kompositionen wurden größtenteils als digitale Nachbearbeitung erkannt und bedürfen vieler weiterer Bearbeitungsschritte, um sie realistischer aussehen zu lassen.

Die neun Fotografien in Klammern, also alle unveränderten Studienbilder, sind zur Hälfte im Bereich der recht gut gelungenen Bildkompositionen zu finden. Diese Tatsache stärkt die Kompositionen nachträglich, da etliche Probanden auch viele Fotografien als digitale Nachbearbeitung einstufen, die jedoch nicht verändert wurden. Das Potenzial der generierten Studienbilder für zukünftige Praxisanwendungen wird dadurch gestärkt.

### 3.7 Zusammenfassung der Studie und Ausblick

*Vorweg der Hinweis, dass diese Studie mit 26 Probanden in einem speziell gewählten Setting durchgeführt wurde. 12 Männer und 14 Frauen im Alter zwischen 15 und 80 Jahren betrachteten einzeln jeweils 27 Bilder, von denen 9 Fotografien und 18 Bildkompositionen waren. Alle in weiterer Folge analysierten Zahlen und Werte müssen nicht mit anderen Untersuchungen übereinstimmen und besitzen keinen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit!*

#### 3.7.1 Algorithmen

	<b>Unschlüssigkeit</b>	<b>m/w Differenzen</b>	<b>Einigkeit</b>
<b>Algorithmus 1</b>	~ 30 %	~ 5 %	~ 60 %
<b>Algorithmus 2</b>	~ 45 %	~ 30 %	~ 35 %

Ergebnisse auf fünf Prozentpunkte genau gerundet

**Unschlüssigkeit** ... bei x % der Studienbilder konnten die Probanden in Summe keine eindeutige (~40 % > x < ~60 %) Entscheidung für oder gegen eine digitale Nachbearbeitung treffen

**m/w Differenzen** ... bei x % der Studienbilder gab es eindeutig geschlechtsspezifische Unterschiede (hoher Wert spricht für viele ungleiche Aussagen der Frauen bzw. Männer)

**Einigkeit** ... bei x % der Studienbilder fiel die Auswertung eindeutig (>~80 %) zu Gunsten einer Fotografie oder digitalen Nachbearbeitung aus

Betrachtet man diese Statistik, wird deutlich, dass Algorithmus 1 geschlechtsspezifische Einigkeit (zu ~95 % stimmten Frauen und Männer gleich) hervorrief und größtenteils polarisierte (in ungefähr 70 % aller Fälle konnten die Probanden eindeutige Entscheidungen treffen; zu ~60 % fiel die Auswertung eindeutig zu Gunsten einer Fotografie oder digitalen Nachbearbeitung aus). Jene Probanden, die Bildkompositionen von Algorithmus 2 bewerteten, waren unsicher (fast jedes zweite Bild konnte in Summe nicht eindeutig einer Fotografie oder digitalen Nachbearbeitung zugeordnet werden). Außerdem weist fast jedes dritte Bild geschlechtsspezifische Unterschiede (Frauen und Männer waren bewerteten die Bilder vollkommen unterschiedlich) auf, was lediglich eine weitgehend gleichgeschlechtliche Einigkeit bedeutet.

Bei den Ergebnissen von Algorithmus 1, die zu ungefähr 60 % Einigkeit bedeuteten, ließen sich zwei Bildkompositionen mit besonders hohem Realitätsanspruch ausmachen. Vier weitere Bilder konnten, mit einer Fehlerquote zwischen 40 % und 70 %, zumindest als recht gut gelungen bewertet werden. In weiterer Folge bedeutet das, dass jede dritte Komposition von Algorithmus 1 erhöhtes Potenzial hat, als Fotografie erkannt zu werden. Uneinigkeit bei der Bewertung von Bildern lässt zwar nicht zwingend auf schlechte Objektsegmentierung des Algorithmus 2 schließen, lässt aber auch keine Bildkompositionen ausmachen, die einen sehr hohen Realitätsanspruch besitzen. Acht Bildkompositionen lassen mit einer etwas erhöhten Fehlerquote der Probanden lediglich ein Potenzial erkennen, das es auszuschöpfen gilt, um in Zukunft mehr Menschen vom Vorliegen einer Fotografie zu überzeugen.

Interessant ist, dass beide Matting-Algorithmen bereits anhand weniger Benutzereingaben hochqualitative Objektsegmentierungen vornehmen konnten. Diese Erkenntnis basiert auf den Ergebnissen der Probandenaussagen, die keinen Unterschied zwischen Bildern, die auf Basis ungenauer Trimaps erstellt wurden und jenen mit exakter Trimap, erkennen ließen.

Die Auswertung der Eye-Tracking Kameradaten hob die beiden größten unterschiedlichen Blickverhalten der Teilnehmer deutlich hervor. Während unerfahrene Probanden zumeist

gehobenen Alters den Gesamteindruck eines Bildes bewerteten (siehe Abbildung 3.7.1-1 (a)) – das Bild also global betrachteten und Einzelheiten vernachlässigten, begutachteten erfahrene Testpersonen besonders einzelne Bildinhalte (siehe Abbildung 3.7.1-1 (b)).



Abbildung 3.7.1: (a) unerfahrener Proband weist globales Blickverhalten auf; (b) sehr erfahrener Proband tastet mögliche sensible Bildbereiche besonders exakt ab.

Probanden die Bilder des Matting-Algorithmus 1 untersuchten, konnten etliche Segmentierungsfehler erkennen, weil oftmals keine klaren Objektgrenzen gezogen wurden. Diese in der Kategorie „Alpha Matte“ zusammengefassten Fehlerbereiche wurden als zweithäufigste Ursache angegeben, wieso ein Bild als digitale Nachbearbeitung erkannt wurde. Bildkompositionen von Algorithmus 2 erhielten dabei ganz andere Beschreibungen der Probanden. Den Studienteilnehmern fiel zwar auch der Alpha Matte Fehler auf, doch sie gaben ihn weniger oft an. Grund dafür ist die erhöhte Sensibilität der Probanden auf unerklärliche Farbrückstände. Bei Algorithmus 2 wurden wesentlich mehr Farbfehler beschrieben als bei seinem Herausforderer. Das Auftreten von Farben, die dem aktuellen Bild nicht zuzuordnen sind, war für die Personen offensichtlicher als der Alpha Matte Fehler und ist deshalb bei Algorithmus 2 gleich nach dem Umgebungsfehler die häufigste Ursache für realitätsferne Bildkompositionen.

Fehler in den Bildkompositionen wurden von allen Probanden beschrieben. Dabei wurde der Umgebungsfehler als häufigste Ursache genannt, warum ein Bild als digitale Nachbearbeitung erkannt wurde. Diese Fehlerkategorie bezeichnet all jene Fehler, die Beleuchtungsdifferenzen, wie fehlende Schatten oder lokale Ungereimtheiten, wie falsche Spiegelungen, aufweisen. Dieses Ergebnis, das die Auswertung der Zahlen beider Algorithmen ergab, unterstreicht die Wichtigkeit von Kohärenz segmentierter Inhalte und neuer Hintergründe. Auch die Auswertung der Eye-Tracking Kameradaten zeigt, dass die Aufmerksamkeit der Testpersonen unwillkürlich und automatisch von Beleuchtungsdifferenzen angezogen wurde. Das Suchen, Abstimmen und Einpassen von Objekten in neue Umgebungen ist für viele Kompositionen letztendlich entscheidend, ob sie angenommen oder als unwirklich abgetan werden.

Im Forschungsbereich „Image Compositing“ wird bereits an praktikablen Lösungen gearbeitet, die Vordergrundobjekte realitätsgetreuer in neue Umgebungen integrieren lassen. Dafür ist eine farbliche Adaption des segmentierten Objekts Voraussetzung. Ein Benutzer markiert das zu extrahierende Objekt und ein Algorithmus berechnet auf Grund des neuen Hintergrundes neue Farbwerte für das Vordergrundobjekt. Mit Hilfe solcher Algorithmen ist selbst das Übernehmen von Objektschatten in neue Umgebungen möglich. Ein Beispiel für eine solche Methode ist das Drag-and-Drop Pasting (Jia et al., 2006) (siehe Abbildung 3.7.1-2).

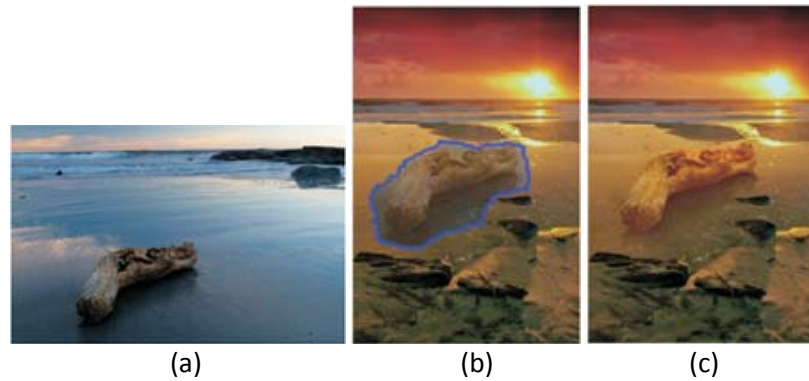


Abbildung 3.7.1-2 (Jia et al., 2006 :1): (a) zeigt das zu extrahierende Vordergrundobjekt; (b) zeigt eine optimierte Benutzermarkierung des Baumstammes; (c) ist das Ergebnis von Drag-and-Drop Pasting.

### 3.7.2 Studienteilnehmer

26 Probanden untersuchten die Bilder sehr gewissenhaft und setzten dabei nicht nur ihre Beobachtungsgabe ein, sondern ließen auch ihr persönliches Wissen einfließen. In einigen Fällen, gerade bei Personen, die nur wenig Erfahrung im Bereich der Bildverarbeitung und Bildbearbeitung aufweisen konnten, wurde deutlich, dass auch Bildinhalte auf ihre allgemeine Gültigkeit verifiziert wurden. Beispielsweise erkannte ein Teilnehmer eine Bildkomposition daran, weil ökologische Bedingungen unwirklich wiedergegeben wurden.

Altersspezifische Unterschiede waren vor allem während der Studie festzustellen. Der Großteil der Personen über 50 Jahren ließ sich vom ersten Eindruck sehr stark beeinflussen, während die jüngeren Probanden erst nach genauerem Hinschauen die ersten Aussagen trafen. Die eingeschränkte Zeit von 20 Sekunden, die jeder Studienteilnehmer vorfand, ein Bild zu betrachten, erwies sich als genau richtig gewählt. Ältere Probanden, die sich auf den Gesamteindruck des Bildes verließen, konnten oftmals schon früher ihre Entscheidung fällen. Erfahrene Teilnehmer, die sich beruflich oder privat mit dieser Materie beschäftigen, hätten manchmal auch gerne etwas mehr Zeit zur Verfügung gehabt. Dieser Wunsch wurde durch die Implementierung der Bilderkollage am Ende erfüllt, die auch unerfahrenen Personen die Möglichkeit eröffnete, während der Studie gesammelte Erfahrung einfließen zu lassen. Diese Möglichkeit minimierte einen möglichen Lerneffekt, der das Ergebnis verzerren hätte können.

Fasst man die Abbildungen 3.6.2.1-1 und 3.6.3.1-1 zusammen, lassen sich sehr wohl Tendenzen bezüglich des Alters und Geschlechts der Teilnehmer, sowie ihrer Erfahrungswerte erkennen. Personen zwischen 15 und 29 Jahren bewerteten Bilder am häufigsten richtig und sind nur mit einer Ausnahme in der schlechtesten Fehlerkategorie zu finden. Studienteilnehmer mittleren Alters erzielten durchwegs durchschnittliche Ergebnisse, während Probanden ab 51 Jahren in allen Kategorien vertreten sind. Auffallend ist, dass über 40 % der weiblichen Teilnehmer mindestens 40 % der Bilder falsch bewerteten und fast 60 % der Männer höchstens 20 % der Bilder inkorrekt einstufte. Ein offensichtlicher Grund hierfür ist, dass Frauen gehobenen Alters viele falsche Entscheidungen trafen, aber Männer in ihrem Alter teilweise sogar zu den erfolgreichsten Teilnehmern zählten. Dies ist auf mehr Erfahrung in Bereichen der Bildverarbeitung und Bildbearbeitung zurückzuführen. Letztendlich ließ sich die Hypothese belegen, dass Studienteilnehmer mit viel Erfahrung durchschnittlich die korrektesten Ergebnisse lieferten.

## 4 Zusammenfassung der Arbeit

Diese Arbeit setzt sich intensiv mit zwei State-of-the-Art Matting-Algorithmen auseinander, die auf vollkommen unterschiedliche Weise Transparenzwerte (Alpha Werte) berechnen. Während einer der Algorithmen die Vorder- und Hintergrundfarben auf Grund von Benutzereingaben schätzt (Algorithmus 1; siehe Kapitel 3.5.1), beruht der andere auf der Annahme, dass Vorder- und Hintergrundfarben über sehr kleine Bildbereiche auf einer Linie im Farbraum liegen (Algorithmus 2; siehe Kapitel 3.5.2). Beide Algorithmen sind auf Grund quantitativer Evaluierungen als die bislang besten Matting-Algorithmen zu bezeichnen. Obwohl digitales Matting darauf abzielt qualitativ hochwertige Ergebnisse zu produzieren, wurden dessen Algorithmen nur unzureichend qualitativ evaluiert. Deshalb gestaltete sich die Abhaltung einer Studie, die subjektive Qualitätsmessungen hinsichtlich einer möglichen Praxistauglichkeit der beiden Matting-Algorithmen durchführt, als besonders interessante Herausforderung.

Das Arbeiten mit visuellem Inhalt setzt immer die Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Grundlagen voraus, damit möglichst objektive und aussagekräftige Information gesammelt werden kann. Zusätzlich zu bekannten Methoden der Aufzeichnung von Studienabläufen, wie einfaches Protokollieren, fand im Zuge der Studie eine Eye-Tracking Kamera Verwendung, die aufschlussreiche Erkenntnisse über das Blickverhalten der Probanden lieferte. Die Testpersonen evaluierten 27 Studienbilder, die zu zwei Dritteln aus Bildkompositionen und zu einem Drittel aus echten Fotografien bestanden, hinsichtlich ihres Realitätsanspruches. Eine Gleichverteilung der Personen hinsichtlich Alter, Geschlecht und Erfahrung stellte sicher, dass beide Personengruppen ähnliche Voraussetzungen mitbrachten, um die Bildkompositionen beider Algorithmen getrennt voneinander zu evaluieren. Diese Studie brachte interessante Erkenntnisse, die den Entwicklungsstand der zwei Matting-Algorithmen anwendungsorientiert widerspiegeln. Zum einen wurden die Bildkompositionen von Algorithmus 1 oftmals als Fotografie eingestuft, was für einen sehr ausgereiften Berechnungsprozess spricht. Lediglich besonders erfahrene Probanden, die sich beruflich oder privat mit Bildverarbeitung auseinandersetzen, konnten an einigen eingefügten Objekten Segmentierungsfehler ausmachen. Algorithmus 2 hatte besonders bei feinen Strukturen Probleme, Objekte korrekt zu segmentieren. Allgemein kann jedoch festgehalten werden, dass beide Algorithmen auch mit relativ geringen Benutzereingaben bei der Objektmarkierung umgehen, und trotzdem qualitativ hochwertige Segmentierungen errechnet werden können.

Die Eye-Tracking Kamera lieferte mit ihren Bildern im Rahmen der Auswertung ausgesprochen detaillierte Ergebnisse über die Unterschiede hinsichtlich des Blickverhaltens der Teilnehmer. Hier ist anzumerken, dass Testpersonen, auf Grund unterschiedlicher persönlicher Erfahrungswerte, Bilder grundsätzlich als Ganzheit betrachteten oder lediglich einige lokale Bildinhalte besonders genau abtasteten. Eine Analyse von möglichen Fehlerkategorien bestätigte, dass so genannte Umgebungsfehler, wie ungleiche Lichtverhältnisse, die Probanden unwillkürlich vom Vorliegen einer Bildkomposition überzeugten. Diese Fehlerkategorie ist jedoch nicht auf Probleme bei der Berechnung von Bildstrukturen der Matting-Algorithmen, sondern auf Schwierigkeiten beim Bildabgleich im Zuge der Bildkomposition zurückzuführen. Der Forschungsbereich Image Compositing beschäftigt sich bereits mit dieser Problematik und lässt auf zukünftige Anwendungen hoffen, die einen Bildabgleich automatisieren, um die Qualität von Bildkompositionen wieder ein Stück näher an echte Fotografien heranzuführen.

## 5 Literatur

Abmayr, Wolfgang: *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung*. B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.

Andrews, Keith: *Evaluating Information Visualisations*. ACM Proceedings of the 2006 AVI workshop on BEyond time and errors novel evaluation methods for information visualization, 2006.

Bab-Hadiashar, Alireza, Suter, David: *Data Segmentation and Model Selection for Computer Vision, A Statistical Approach*. Springer-Verlag New York, Monash Universität Clayton, Victoria, 2000.

Bertini, Enrico, Santucci, Giuseppe: *Visual Quality Metrics*. ACM Proceedings of the 2006 AVI workshop on BEyond time and errors novel evaluation methods for information visualization, 2006.

Bortz, Jürgen, Lienert, Gustav A.: *Kurzgefasste Statistik für die Klinische Forschung - Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2003.

Chuang, Yung-Yu, Curless, Brian, Salesin, David H., Szeliski, Richard: *A Bayesian Approach to Digital Matting*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.

Duchowski, Andrew T., Karn, Keith S., Senders, John W.: *Eye Tracking Research & Applications Symposium*. Clemson Universität, New Orleans, 2000.

Duchowski, Andrew T., Vertegaal, Roel, Senders, John W.: *Eye Tracking Research & Applications Symposium*. Clemson Universität, New Orleans, 2002.

Dünkel, Vera: *Bilderwelten des Wissens 4,1 – Farbstrategien*. Akademie Verlag, Berlin, 2006.

Ellis, Geoffrey, Dix, Alan: *An Explorative Analysis of User Evaluation Studies in Information Visualisation*. ACM Proceedings of the 2006 AVI workshop on BEyond time and errors novel evaluation methods for information visualization, 2006.

Forster, Klaus: *Rezeption von Bildmanipulationen*. Knieper, Thomas, Müller, Marion G.: Authentizität und Inszenierung von Bilderwelten. Herbert von Halem Verlag, Köln, 2003.

Fuchs, Claudia: *Extraktion polymorpher Bildstrukturen und ihre topologische und geometrische Gruppierung*. Dissertation, Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1997.

Goldstein, E. Bruce: *Wahrnehmungspsychologie, Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1997.

Goldstein, E. Bruce: *Wahrnehmungspsychologie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2002.

Grittmann, Elke: *Die Konstruktion von Authentizität, Was ist echt an den Pressefotos im Informationsjournalismus?* Knieper, Thomas, Müller, Marion G.: Authentizität und Inszenierung von Bilderwelten. Herbert von Halem Verlag, Köln, 2003.



Hayhoe, Mary M., Ballard, Dana H., Triesch, Jochen, Shinoda, Hiroyuki, Aivar, Pilar, Sullivan, Brian: *Vision in Natural and Virtual Environments*. Duchowski et al.: Eye Tracking Research & Applications Symposium. Universitäten Rochester, California, Ritsumekia und Oviedo, 2002.

Jerald, Jason, Daily, Mike: *Eye Gaze Correction for Videoconferencing*. Duchowski et al.: Eye Tracking Research & Applications Symposium. HRL Laboratories, Malibu, 2002.

Jia, Jiaya, Sun, Jian, Tang, Chi-Keung, Shum, Heung-Yeung: *Drag-and-Drop Pasting*. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2006.

Joos, Markus, Rötting, Matthias, Velichkovsky, Boris M.: *Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen*. Rickheit, G., Herrmann T., Deutsch, W. (Hrsg.): Psycholinguistik / Psycholinguistics - Ein internationales Handbuch / An International Handbook. de Gruyter, Berlin, 2003.

Kebeck, Günther: *Bild und Betrachter, Auf der Suche nach Eindeutigkeit*. Schnell & Steiner, Regensburg, 2006.

Konecny, Edith, Leitner, Maria-Luise: *Psychologie*. Braumüller, Wien, 2000.

Kosara, R., Healey, C. G., Interrante, V., Laidlaw, D. H., Ware, C.: *Visualization Viewpoints*. IEEE Computer Graphics and Applications, 2003.

Leppäjärvi, Seppo: *Image Segmentation and Analysis for Automatic Color Correction*. Dissertation, Technische Universität Lappeenranta, 1999.

Levin, Anat, Lischinski, Dani, Weiss, Yair: *A Closed Form Solution to Natural Image Matting*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006.

Levin, Anat, Rav-Acha, Alex, Lischinski, Dani: *Spectral Matting*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.

Lütkebohle, Ingo: *Session 12 – Techniken der Projektentwicklung - Interface Design*. Universität Bielefeld, 2005. <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~iluetkeb/2005/session12.pdf> 18.05.2007.

Majaranta, Päivi, Räihä, Kari-Jouko: *Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues*. Duchowski et al.: Eye Tracking Research & Applications Symposium. Universität Tampere, Finland, 2002.

Mallot, Hanspeter A.: *Sehen und die Verarbeitung visueller Information*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2000.

Müller, Marion G.: *Grundlagen der visuellen Kommunikation*. UVK Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz, 2003.

Radig, Bernd: *Verarbeiten und Verstehen von Bildern*. R. Oldenbourg Verlag, München, 1993.

Ressl, Lukas: *Mitsubishi Lancer*. Studio Erich C. Auböck Werbegesellschaft m.b.H., <http://www.auboeck.at/>, 2007.

Schmoll, J. Adolf: *Vom Sinn der Fotografie, Texte aus den Jahren 1952-1980*. Prestel, München, 1980.

Schneider, Gerd: "EyeTracking" *Darstellung und Analyse der Daten*. Humboldt-Universität zu Berlin, 2007. <http://www2.hu-berlin.de/reha/eye/EyeTrackerDarstellung.pdf> 08.12.2007.

Scialfa, Charles T., McPhee, Lisa, Ho, Geoffrey: *The Effects of A Simulated Cellular Phone Conversation on Search For Traffic Signs in an Elderly Sample*. Duchowski et al.: Eye Tracking Research & Applications Symposium. Universität Calgary, 2000.

Skarbek, Wladyslaw, Koschan, Andreas: *Colour Image Segmentation – A Survey*. Bericht aus dem Fachbereich Informatik, Technische Universität Berlin, 1994.

Valiati, Eliane R. A., Pimenta, Marcelo S., Freitas, Carla M. D. S.: *A Taxonomy of Tasks for Guiding the Evaluation of Multidimensional Visualizations*. ACM Proceedings of the 2006 AVI workshop on BEyond time and errors novel evaluation methods for information visualization, 2006.

Vertegaal, Roel: *Designing Attentive Interfaces*. Duchowski et al.: Eye Tracking Research & Applications Symposium. Queen's Universität, Kingston, 2002.

Wang, Jue, Cohen, Michael F.: *Optimized Color Sampling for Robust Matting*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.

Weidmann, Alina: *Das veränderte Bild – Die Digitalisierung der Fotografie und ihre Auswirkungen auf die Glaubwürdigkeit des Bildjournalismus aus der Sicht der Rezipienten*. Diplomarbeit, Universität Wien, 2006.

Weigle, C., Taylor, R. M.: *Visualizing Intersecting Surfaces with Nested-Surface Techniques*. IEEE Visual, 2005.

Zhou, Hualin, Chen, Min, Webster, Mike F.: *Comparative Evaluation of Visualization and Experimental Results Using Image Comparison Metrics*. ACM Proceedings of the Conference on Visualization, 2002.

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Bernhard Fölsner, diese Masterarbeit eigenständig formuliert und alle von mir benutzten Quellen angeführt zu haben.

Mir ist bekannt, dass ein Verstoßen gegen Zitierregeln, auch bei nachträglichem Entdecken, und das Zurückhalten von verwendeten Quellen nicht erlaubt sind und in Folge dessen diese Arbeit als Plagiat bewertet werden kann.

Wien, am 26.03.2008