

# Die EMPA erforscht neue Reproverfahren

Eric A. Soder, Uster

**Was heute Stand der Technik ist, muss noch lange nicht das einzig Richtige sein. In der Abteilung Medientechnik untersucht das Team um Prof. Dr. Klaus Simon neue Ansätze und Methoden, die Bildwiedergabe in den Medien der menschlichen Wahrnehmung anzupassen.**

Unser Sehen ist ein hoch komplexer Vorgang, der sich technisch nur schwer fassen lässt, wenn es darum geht, ein «realitätsgetreues» Abbild einer Originalszene einzufangen und zu reproduzieren.

Wir sehen nicht nur mit den Augen, sondern vor allem auch mit dem Hirn. Denn die Lichtreize, die auf unsere Netzhaut treffen, durchlaufen eine vielschichtige Signalverarbeitung und werden im Gehirn kontextabhängig interpretiert. Als Rezeptorzellen dienen die empfindlichen Stäbchen für das schwarzweisse Dämmerungssehen und drei Typen Zapfen für das Farbsehen bei hellem Tageslicht. Die Rezeptoren sind mit weiteren Zellen vernetzt, die aus den einzelnen Sinnesimpulsen die Helligkeits- und Farbinformation noch in der Netzhaut filtern und konzentrieren, bevor Sehnerven sie ans Gehirn weiterleiten. Dabei verstärkt unser Wahrnehmungssystem vor allem Kanten und Kontraste im ursprünglichen Netzhautbild, so dass wir – gemessen an der eher bescheidenen «Pixelzahl» der Augen – einen scharfen und detailreichen Eindruck von unserer Umwelt erhalten. Im Unterschied zu Messgeräten sehen wir Farben stets relativ zur Farbe der vorherrschenden

Beleuchtung und zu ihrem direkten Umfeld innerhalb einer Szene.

Ausserdem gibt es so genannte «Erinnerungsfarben», die wir aus Erfahrung kennen. Zum Beispiel das Blau des Himmels, einen Hautton oder das Gelb einer Banane. Wenn solche Farben in einem Foto nicht mit der Farbigkeit des Gesamtbildes harmonisieren, registriert unsere Wahrnehmung schnell einen Farbstich. Es gibt auch Fälle, in denen wir Farbe sehen, wo eigentlich gar keine vorhanden ist, wie im Einstiegsbild, in dem der Simultankontrast zum cyan getönten Umfeld den grauen Bus rötlich erscheinen lässt. Oder wir sehen subjektiv eine andere Farbe als die objektiv vorhandene; eine Schneefläche oder ein Blatt Papier im Schatten etwa erscheint nach wie vor weiss, obwohl das reflektierte Licht im Vergleich zu besonntem Schnee oder Papier in ein und derselben Szene einen eindeutig blauen Farbton hat.

## Anwendungsorientierte Themen

Prof. Simon – der auch als Dozent für Informatik an der ETH arbeitet – ist es ein Anliegen, dass die Forschungsthemen einen direkten Bezug zur Praxis haben. Bei der vo-

rausschauenden Grundlagenforschung geht es ihm weniger nur um abstrakte Fragestellungen, sondern vor allem um bedarfsorientierte Ansätze, die helfen, bestehende Anwendungen zu verbessern oder neue Methoden zu finden. Die Abteilung Medientechnik untersucht denn auch im Auftrag von Industrieunternehmen Probleme aus dem Produktionsalltag oder entwickelt konkrete Verfahren für bestimmte Aufgaben. Durch solche Aufträge stehen dann natürlich auch mehr finanzielle Mittel für die entsprechenden Projekte zur Verfügung.

Nah am Markt ist insbesondere das Bestreben, Algorithmen zu verbessern, um so eine weitergehende und/oder zuverlässigere Automatisierung der Medienproduktion zu ermöglichen. Die beiden bedeutendsten Bereiche sind hierbei das Farbmanagement und die Rasterung, im Fachjargon «Halftoning» genannt. Das Farbmanagement dient der möglichst farbtreuen Wiedergabe auf unterschiedlichen Geräten bzw. Ausgabeverfahren durch automatische Farbraumtransformationen. Das Halftoning ist Bestandteil der meisten gängigen Druckverfahren, weil diese in der Regel pro Druckerpixel und Grundfarbe nur die beiden Zustände bedruckt/unbedruckt darstellen können. In einem Rasteralgorithmus werden jeweils mehrere Gerätepixel zu einem Rasterpunkt zusammengefasst, der dann je nach dem Verhältnis von bedruckten zu unbedruckten Pixeln mehrere Abstufungen zwischen dem Papierweiss und dem vollflächigen Farbauftrag annehmen kann. Bei einer Rasterpunktgrösse von 16 mal 16 Pixeln beispielsweise sind 256 Helligkeitsstufen je Farbe darstellbar.

## Grenzen der ICC-Technik

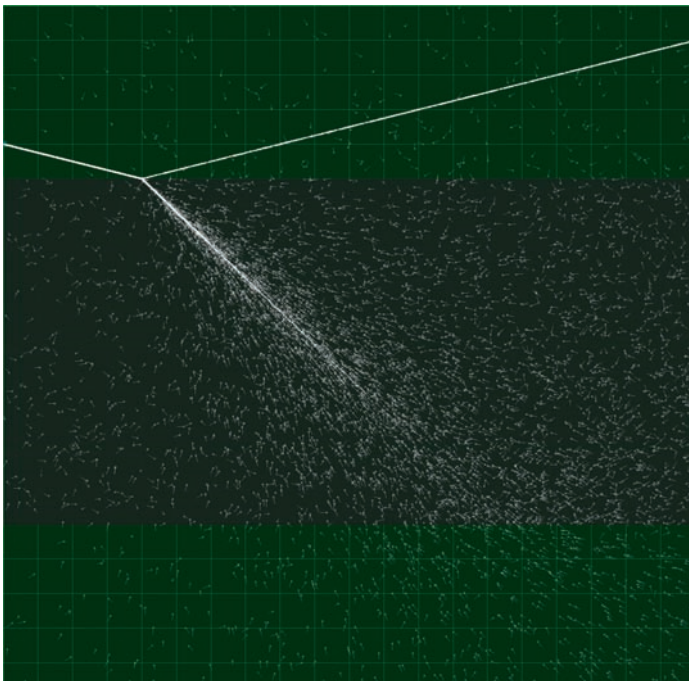
Die Farbverwaltung nach dem ICC-Standard beruht auf der Verrechnung fest vorgegebener Farbtabellen des Quell- und Zielfarbraumprofils bei jeder Transformation. In einem ICC-Profil sind jeweils die Farbwerte des betreffenden (evtl. gerätespezifischen) Farbraums mit ihrer Entsprechung im Referenzfarbraum als Tabelle verknüpft. Alle Umrechnungen von einem Profil in ein anderes erfolgen dann fürs ganze Bild einheitlich über den Referenzfarbraum. Dies hat in der Praxis gewisse Nachteile, wenn sich Quell- und Zielfarbraum stark unterscheiden oder wenn die Transformation bestimmte Eigenschaften der Quelle erhalten oder im Ziel spezifisch umsetzen soll. Typi-



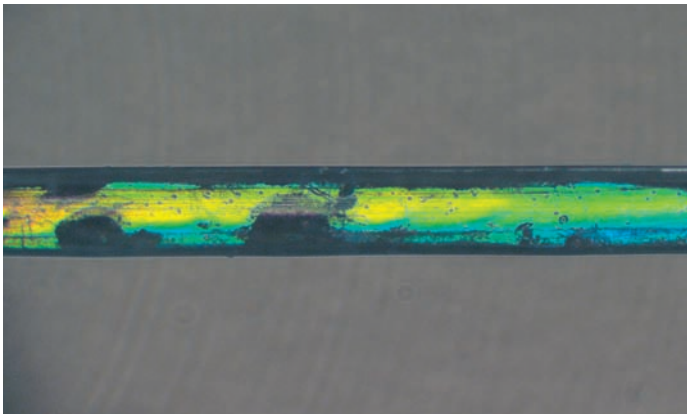
Farbe von Geisterhand: Der Simultankontrast lässt uns Rot sehen, wo nur schwarze Farbe gedruckt ist. Die Wahrnehmung interpretiert das Duplexbild mit Schwarz und Cyan als neutral und «färbt» die im Cyan ausgesparten Bereiche mit der Komplementärfarbe Rot ein.



Es gibt unterschiedliche Lichtarten; deren jeweilige Spektralwertfunktion beeinflusst die Wahrnehmung und Wiedergabe von Körperfarben.



Simulation der Lichtstreuung durch verschiedene optische Effekte an der Oberfläche und innerhalb eines Mediums (z.B. Papier).



Für die Textilabteilung an der EMPA untersucht der Physiker Dr. Peter Zolliker Interferenzfarben bei nanostrukturierten Fasern; hier eine lichtmikroskopische Aufnahme einer 200 Mikrometer dicken Faser aus PMMA mit einer periodischen Oberflächenstruktur von 1 Mikrometer unter weissem Licht.

sche Problemfälle sind CMYK-zu-CMYK-Konvertierungen, bei denen der Separationsaufbau im Schwarzkanal verloren geht, oder kombinierte Dokumente mit Pixelbildern und Vektorobjekten, die teils unterschiedlich gehandhabt werden müssen, damit zum Beispiel schwarze Schrift aus einem

RGB-Dokument nicht in alle vier Farbauszüge separiert wird, sondern nur in den Schwarzkanal. Besonders akut sind solche Schwierigkeiten bei der PDF-Verarbeitung, wo es neben RGB und CMYK im Idealfall auch Sonderfarben und Multicolor-Separationen sicher zu beherrschen gilt – Dinge,

die in der ICC-Spezifikation gegenwärtig unzureichend oder gar nicht geregelt sind. Erschwerend kommt hinzu, dass bei der heutigen Software eine Transaktionskontrolle fehlt; Farbmanagement-Funktionen sind auf Stufe Betriebssystem, Anwendungsprogramm und Gerätetreiber/Firmware teils unabhängig voneinander und redundant implementiert. Das macht es für Anwender schwierig, die Mechanismen zu verstehen und alles so zu konfigurieren, dass die einzelnen Komponenten einander nicht gegenseitig reinpfuschen. Bei der Standardisierung herrscht hier klar Handlungsbedarf.

Raum für Verbesserungen lässt auch das Gamut Mapping bei verschiedenen grossen Farbräumen. Das Forschungsteam befasste sich in einem jüngeren Projekt mit einem Ansatz, der die Pixel nicht stur nach einer vorberechneten Tabelle transformiert, sondern kontextbezogen, das heisst abhängig vom farblichen Umfeld des jeweiligen Bildpunkts. So wird eine der menschlichen Wahrnehmung gerechtere Wiedergabe erzielt, speziell wenn der Quellfarbraum stark komprimiert werden muss, wie etwa im Zeitungsdruck. Diese Methode erfordert mehr Rechenaufwand und ist mit dem aktuellen ICC-Verfahren nicht kompatibel.

#### Druckverfahren optimieren

Die genaue Art und Weise, wie ein Rasteralgorithmus die bedruckten und unbedruckten Pixel innerhalb der Rasterzelle anordnet, hat einen erheblichen Einfluss darauf, wie schliesslich der Tonwertverlauf und die Detailwiedergabe des gerasterten Bildes wahrgenommen werden. Bei einem autotypischen (= amplitudenmodulierten, kurz AM) Raster werden die bedruckten Pixel stets von der Mitte der Rasterzelle her direkt aneinander angeordnet, so dass ein mehr oder weniger grosser Farbpunkt entsteht. Beim Übereinanderdruck der Farben C, M, Y, K mit jeweils unterschiedlichen Rasterwinkeln im Offsetdruck ergibt das die typischen Rosetten. Demgegenüber werden in einem FM-Raster (frequenzmoduliert) die bedruckten Pixel möglichst gleichmässig über die gesamte Rasterzelle verteilt, somit ist der aus mehreren verstreuten Pixeln bestehende «Rasterpunkt» nicht mehr einzeln als solcher erkennbar, sondern verschmilzt mit seinen Nachbarpunkten zu einem feinen Sandkorn- oder Würmchenmuster, das von blossem Auge nicht mehr aufgelöst wird.

Versuche mit FM-Rastern zeigen, dass Halftoning und Farbwiedergabe eng miteinander verflochten sind; dies legt nahe, die Farbkorrektur im Rahmen des Gamut Mappings direkt ins Halftoning zu integrieren, statt sie im Voraus anzuwenden wie bei der Separation mittels ICC-Profilen. Die unterschiedliche Tonwertzunahme (Dot Gain) und Farbwiedergabe je nach Rasterung kann man im zweiten Fall streng genommen kaum noch sinnvoll ausgleichen.

### Die EMPA

Die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt widmet sich der praxisbezogenen Erforschung von Materialien und Verfahren in verschiedenen Bereichen wie Bautechnik, industrieller Fertigung, Akustik und eben auch Medientechnik.

Ende 1952 wurde der «Verein zur Förderung wissenschaftlicher Untersuchungen in der Grafischen Industrie» – kurz Ugra – gegründet, der sich an der EMPA St. Gallen zum Schweizer Kompetenzzentrum für Medien- und Druckertechnologie entwickelte und sich auch an Projekten auf internationaler Ebene beteiligt, insbesondere in Zusammenarbeit mit der deutschen FOGRA, deren wohl wichtigstes Produkt der Ugra/ FOGRA Medienkeil ist, das offizielle Kontrollmittel zur Überprüfung von Farbproofs nach dem einschlägigen ISO-Standard.

Am 1. Januar 2005 wurde die Ugra als selbständige Trägerschaft aus der EMPA ausgegliedert, sie ist jedoch nach wie vor im EMPA-Haus eingemietet. Parallel wurde die Abteilung Medientechnik enger mit der ETH vernetzt und mehrheitlich nach Dübendorf verlegt.

Weitere Informationen sind auf der eigenen Homepage der Abteilung enthalten:

<http://empamedia.ethz.ch>.

Dort findet sich insbesondere auch ein Link zum aktuellen psychovisuellen Test. Dabei geht es, wie im Artikel erläutert, primär ums Testen von Bildkriterien; die Wahrnehmungs-«Leistung» der Probanden ist eher von zweitrangigem Interesse, ausser etwa bei Fehlsichtigkeit oder hinsichtlich des Einflusses von uneinheitlichen Betrachtungsbedingungen auf die Test-Statistik.

In einem aktuellen Projekt versucht Tobias Stamm, ein Dot-Gain-Modell für eine modellbasierte FM-Rasterung für Laserdrucker zu entwickeln. Bei solchen Geräten liesse sich die Bildqualität mit einem FM-Raster erheblich verbessern, weil dieser bei gleich grossen Gerätepixeln eine viel feinere Detailwiedergabe erlaubt als ein AM-Raster; den Effekt kennen wir etwa von Tintenstrahl-Fotodruckern. Das Problem dabei ist allerdings die geringere Präzision der Pixel beim elektrofotografischen Druck; der Rasteralgorithmus müsste gegenüber den Schwankungen tolerant sein, um ein farblich zufriedenstellendes Resultat zu ermöglichen.

### Kriterien für die Bildqualität

Abgeleitet vom Gamut-Mapping-Projekt beschäftigen sich Zofia Baranczuk-Turska bei ihrem Doktorat und Iris Sprow für ihre Masterarbeit mit der visuellen Beurteilung von Bildern. In so genannten psychovisuellen Tests überprüfen sie die «hit rate», d.h. die Genauigkeit, der aus einem Modell abgeleiteten Voraussage über die relative Qua-

lität zweier Transformationen. Dabei arbeiten sie mit einer Methode aus der Marktforschung, der «conjoint analysis», mit der sich durch parallele Vergleiche gleichzeitig mehrere Einflussgrössen messen und statistisch auswerten lassen. Bei den zu bewertenden Testbildern sind dies die Parameter Gamut Mapping, Rauschen, Schärfe, Farbverschiebung und Kontrast. Einer grösseren Anzahl Personen werden hierzu paarweise Fotos vorgelegt, jeweils zwei Varianten eines Bildes mit unterschiedlichen Parametereinstellungen, von denen die subjektiv bessere Variante auszusuchen ist. So lässt sich statistisch verfolgen, wie stark die einzelnen Parameter gewichtet werden. In einer ersten Stufe will man das Mass finden, in der zweiten dann einen Algorithmus für die Optimierung. Das Fernziel ist, ein ganzheitliches Modell für die quantitative Bewertung der Bildqualität zu entwickeln; dieses könnte dann helfen, Fotos automatisch zu analysieren und wo nötig zu verbessern.

Die psychovisuellen Tests am Monitor und mit Ausdrucken auf Papier wurden im September 2008 anlässlich der europäischen Nacht der Forschung in Zürich einem breiten Publikum präsentiert. Eine ähnliche Testserie kann auch übers Internet am eigenen Rechner absolviert werden (siehe Kasten); damit helfen Sie, die Datenbasis der Untersuchung und damit die statistische Relevanz zu vergrössern. Die provisorische Auswertung von etwa 4500 Vergleichen deutet übrigens darauf hin, dass in jenem konkreten Test als wichtigstes Kriterium bei der Bildbeurteilung das Rauschen wahrgenommen wird, dann folgen Farbe und Helligkeit.

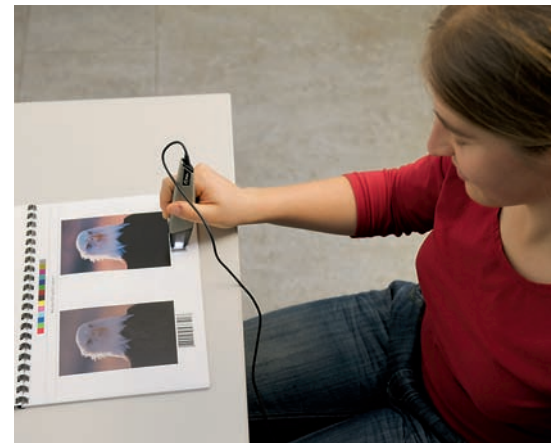
### Fragen für die Zukunft

Die Fotografie und Reprotechnik beinhalten noch manche Knacknuss bei den Bemühungen, die Technik der Abbildung mit der menschlichen Wahrnehmung so gut wie möglich in Einklang zu bringen. Unser kontextabhängiges und aktives Sehen erfordert dafür komplexe physikalische Modelle, um beispielsweise die Interaktion des Lichtes mit der Motivszene bei der Farbkorrektur des Fotos zu berücksichtigen. Lediglich einen durchschnittlichen Weisspunkt für das ganze Bild zu erfassen, wie in der Digitalfotografie üblich, ist zu simpel.

Bei der industriellen Druckproduktion wird der Einsatz von Messtechnik und automatischen Regelsystemen zur Stabilisierung der Prozesse die heute noch mehrheitlich praktizierte Steuerung der Druckmaschine durch einen Menschen, den Drucker, vollständig ablösen. Nach Einschätzung von Prof. Simon dürfte die Dauer dieser Entwicklung noch ein bis zwei Jahrzehnte betragen. Als State of the Art existieren bereits heute Systeme, die aus online an der Druckmaschine erfolgenden Nassmes-



Tobias Stamm arbeitet am Dot Gain Modelling für Laserdrucker, an der Wand hängen ausgedruckte Charts aus den Messreihen.



Zofia Baranczuk-Turska demonstriert den psychovisuellen Test in der Variante mit Ausdruck; das jeweils bevorzugte Bild eines Paares wird mit einem Barcodeleser elektronisch erfasst.

sungen der Druckbogen das Trockenresultat extrapolieren, um die Farbführung entsprechend nachzuregulieren. Schwierigkeiten dabei sind derzeit unter anderem noch der Einfluss der Druckgeschwindigkeit und das je nach Papier unterschiedliche Verhalten in Bezug auf Farbbildung und Lichtstreuung. Hierzu führt die EMPA Untersuchungen durch, bei denen mikroskopische Analysen sowie eine selbst entwickelte Simulationssoftware namens «Scatter 3D» eingesetzt werden.