

DIGITALE KONTRAST-STEUERUNG BEI DER BILDREPRODUKTION

Gerd Nowack

Kurzfassung. Mit dem Auge besitzt der Mensch ein durch nichts übertroffenes Bildaufnahmesystem. Die in der Natur vorkommene Leuchtdichtedynamik von über 100 dB muß durch Regelsysteme auf die Empfindlichkeit der Sehzellen angepaßt werden. Die Wirkung der Pupille beträgt nur etwa 20 dB und ist integral Helligkeits-gesteuert, so daß der objektmäßige Kontrast von ca. 4 bis 5 Zehnerpotenzen bei Sonnenlicht bis zur Netzhaut gelangt. Die lokale Adaption der Empfindlichkeit der Netzhaut von über 60 dB ist der entscheidende Faktor der Kontrastminderung. Eine selektive, lokale Belichtungssteuerung ist auch das Ziel dieser Arbeit. Dabei werden mit Hilfe einer rechnergesteuerten LCD-Blende elektronische Masken realisiert. Als Anwendung steht die Bildreproduktion (vom Film-Negativ zum Papier-Positiv) im Vordergrund.

1. Problemstellung

1.1 Der Abbildungsprozeß

Beim Abbildungsprozeß müssen die oft sehr hohen Leuchtdichten des Originals auf die recht niedrigen des Bildes übertragen werden. Naturgetreue Bildwiedergabe bezieht sich nun nicht auf identische Leuchtdichten sondern auf die je nach der Adaption des Auges empfundenen Helligkeiten. Vereinfachend kann dazu die Gültigkeit des Weber-Fechner'schen Gesetzes angenommen werden, nach dem bei der Stufung der Helligkeiten die relative Änderung konstant ist, d.h. die Leuchtdichtedifferenzierung des Auges bei kleinen Leuchtdichten entspricht in etwa der bei großen.

Physiologische Messungen haben allerdings gezeigt, daß doch erhebliche Abweichungen auftreten können. Dazu werden auf einer großen Fläche, die die Adaption des Auges bestimmt, kleine Flächenelemente mit zunehmender

Manuscript received February 13, 1995.

Author ist an der Lehrstuhl für Datenverarbeitung Ruhr-Universität Bochum, D-44721 Bochum, Deutschland.

Dichte bis zum Eindruck "schwarz, als erkennbare minimale Helligkeit" verwendet. Die gemessenen Helligkeiten werden dann über der Leuchtdichte aufgetragen. Die Ergebnisse zeigen:

- 1) daß im schwachen Licht (künstliche Beleuchtung: etwa 500 Lx) die unterscheidbaren Helligkeitsstufen abnehmen (auf etwa die Hälfte – im Vergleich zu hellem Licht) und
- 2) daß die Grauwerteskala bei hellem Licht eine Leuchtdichtedynamik vom Faktor 200 umfaßt, dagegen nur 50 bei schwachem Licht. Abb. 1 zeigt rechts die Helligkeiten im Original (O), links diejenigen im Bild (B) der gleichen Szene. Die Konstruktionslinien beziehen sich auf die Übertragungsfunktion a (in etwa linear), die allerdings zu dunkle Abzüge liefert. Optimale Abzüge liefert die Kurve b , bei der das "Mittelgrau" des Bildes oberhalb des Mittelgraus des Originals liegt. Das Bild ist hierbei von einem weißen Passepartout umgeben, dem mit der Leuchtdichte von 100 asb die maximale Helligkeit (V'_{max}) zukommt.

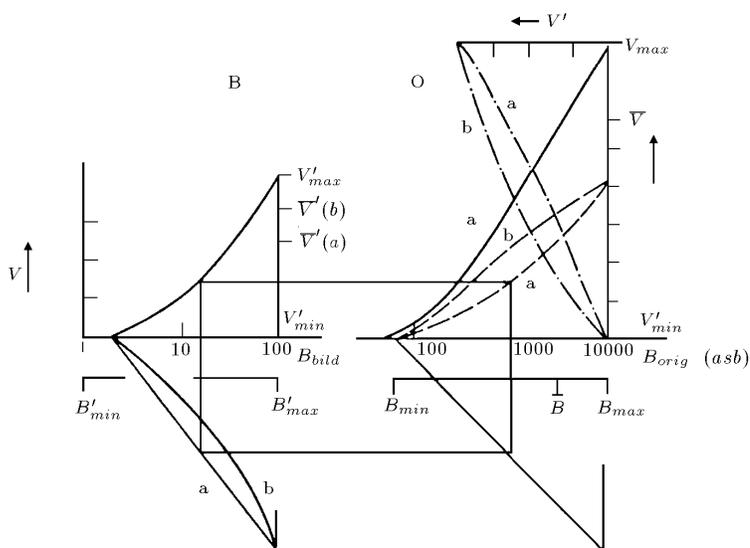


Bild 1. Leuchtdichte und Helligkeit bei der realen Reproduktion aus [1], S. 22

1.2 Der optimale Kontrast

Filmmaterialien, sowie teure CCD-Chips können noch ein Kontrast-Verhältnis von 3 Zehnerpotenzen verarbeiten, Photopapiere dagegen nur noch

den Faktor 100. Durch die starken Nichtlinearitäten in der Schwärzungskurve photographischer Materialien (s.Abb.2) ist eine naturgetreue Wiedergabe unmöglich: die Licht- und Schattenbereiche werden undifferenziert und kontrastarm, wenn die Belichtung auf den Mittelwert eingestellt wurde. Innerhalb des linearen Abschnittes muß die Bedingung gelten, daß Leuchtdichteunterschiede im Original und im Bild gleich wiedergegeben werden, d.h., daß die Schwärzungskurve über alle Prozeßstufen im doppeltlogarithmischen Maßstab die Steigung von genau - 45 Grad besitzen muß. Üblicherweise arbeiten Negativfilme sehr weich, d.h. ein Helligkeitsumfang von ca. 3-4 Potenzen wird auf einem Schwärzungsumfang von 2-3 Potenzen abgebildet. In diesem weichen Negativbild ist die technisch größtmögliche Informationsdichte erreicht. Für den Positivabzug werden nun Papiere verwendet, die die Kontrastminderung des Films gerade wieder ausgleichen. Da sie selbst aber maximal ein Kontrastverhältnis von nur 100 besitzen, wird die Belichtung in der Regel so eingestellt, daß die Licht-Bereiche gerade nicht überbelichtet werden. Das hat zur Folge, daß Schatten-Bereiche undifferenziert schwarz werden. Der Informationsverlust bedeutet, daß in diesen Bildbereichen, die Dreidimensionalität des Originals nicht mehr sichtbar werden kann. Das Bild verliert an "Tiefe", wirkt graphisch und plakativ. Deshalb soll die Belichtungszeit in den Schattenpartien wesentlich reduziert werden.

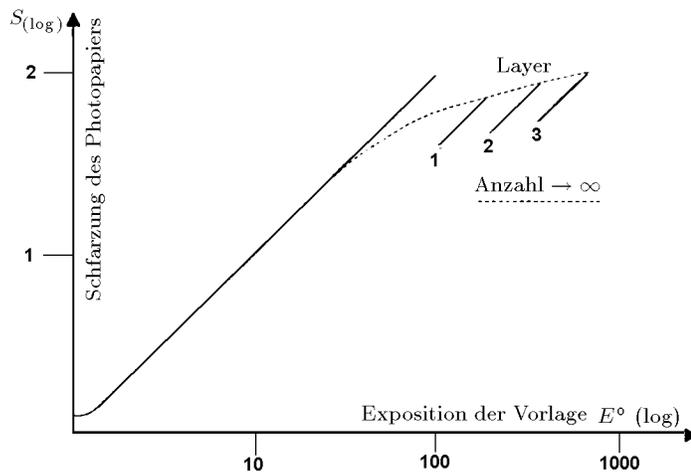


Bild 2. Wirkung selektiver Blenden (Layer)

Um diesen Prozeß zu automatisieren, wird die Filmvorlage mit einer Video-Kamera aufgenommen (s.Abb. 3). Schattenbereiche mit zu großen

Beleuchtungsstärken werden über ein Software-Schwellwertfilter erkannt. Auf der Grundlage dieser Information wird eine LCD-Blende, die direkt unterhalb der Filmbühne angebracht ist, pixelweise gesetzt (1 Layer-Technik).

Der Belichtungsvorgang besteht aus zwei Schritten:

1. Belichtung des Gesamtbildes, mit der für die Schatten korrekten Belichtungszeit und
2. Belichtung für die Zusatzbelichtung in den Licht-Bereichen mit selektiver Abblendung der Schatten.

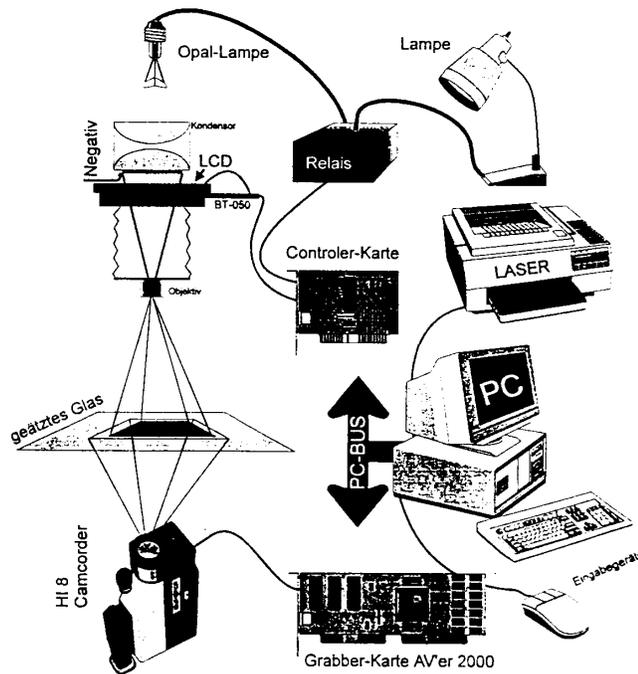


Bild 3. Hardware-Überblick

Die Abbildungsschärfe der durch die LCD-Blende erzeugten, elektronischen Maske wird durch die Tiefenschärfe, also durch die Blendeneinstellung des Projektionsobjektives bestimmt. Die Kontur der Maske sollte eine bestimmte Unschärfe besitzen, um einen gleitenden, unmerklichen Übergang zu erreichen. Sollte das mit der Stärke der Abblendung allein nicht erreicht werden können, so kann die Belichtungszeit in zusätzliche Zeitabschnitte un-

terteilt werden (Mehr-Layer-Technik), um einen gewünschten Übergang zu erzeugen.

Das hier vorgestellte Verfahren läßt sich auf die Farb- und Schwarz/Weiß-Reproduktionstechnik anwenden. Oftmals ist es wünschenswert, auch die Gradation, also die "Härte der Reproduktion" (genauso wie die Belichtungsstärken) selektiv zu verändern. Bei großen Aufnahmekontrasten könnten auf dem Film sowohl die Lichtwie die Schattenpartien durch Nichtlinearitäten (Über- bzw. Unterbelichtung) im Kontrast stark abgemindert worden sein. Bei Schwarz/Schweiß-Vorlagen kann dann gradationsvariables Photopapier verwendet werden (z.B.. "Multigrade" der Fa. Ilford oder "Multicontrast Premium" von Agfa). Hierbei bestimmt die Farbe des Projektionslichtes die Kontraststärke des S/W-Abzuges. Erfolgt die selektive Belichtung zeitlich nacheinander, kann das jeweils notwendige Farbfilter in den Strahlengang eingeschoben werden. In der Regel sind die hellen Bildpartien korrekt belichtet, so daß eine zusätzliche Kontrastverstärkung meist nur in den Schattenpartien sinnvoll ist.

Bei Farbabzügen bestimmt die Dauer der Erstentwicklung die Kontrastverhältnisse der Reproduktion. Eine selektive Entwicklungsdauer ist technisch mit den verfügbaren Geräten nicht realisierbar- dennoch aber in einem Entwicklerbad mit rechnergesteuerten Temperaturfeldern denkbar. Der im Prozeß folgende Farbreakt entwickelt über seine Wirkdauer die Höhe der Farbsättigung.

2. Systemtechnische Grundlagen

Die realisierte Hardware läßt sich beschreiben als eine *rechnerorientierte Integration komplexer Einzelkomponenten* zu einer technischen Gesamteinrichtung, mit dessen Hilfe eine ortsselektive Kontraststeuerung bei der Bildreproduktion möglich ist. Die Planung komplexer Systeme beruht auf dem notwendigen Expertenwissen, welcher funktionelle Ablauf zu einem gewünschten Gesamtverhalten führt.

Folgende Arbeitsschritte müssen durchgeführt werden:

1. Aufnahme des Negativs mit einem digitalen Bildaufnahmesystem.
2. Rechnerische Korrektur der Bildaufnahmefehler, z.B. Vignettierung und Verzeichnung des optischen Systems.
3. Programmgesteuerte Bilddatenanalyse, z.B. mit Hilfe von Schwellwertfunktionen, Kantenoperatoren.
4. Dialogtechnische Bearbeitung der elektronischen Masken.
5. Bilddatentransformation auf das Format der LCD-Blende.

6. Maßstabskorrektur, da LCD-Blende nicht exakt auf Filmebene.
7. Planung der selektiv anzuwendenden Belichtungszeiten.
8. Herstellung der Reproduktion: Belichtung und Entwicklung.

Für den Hardwareaufbau wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Umbau eines 6x6-Vergrößerungsgerätes: (Doppelkondensator, 220 V - Opalglaslampe).
 - 1.1 Einbau der LCD-Blende in Höhe der Filmbühne.
 - 1.2 Neukonstruktion einer Filmhalterung: (ohne Kraftschluß mit der LCD-Blende).
 - 1.3 Neubau des Projektionstisches/-standes: Einbau einer Glasmattscheibe als Projektionsfläche Montage eines Stativkopfes in Bodenhöhe für die Videokamera (Sie sitzt in der optische Achse, d.h.: es ergeben sich verzerrungsfreie, aber seitenverkehrte Projektionsbilder).
 - 1.4 Übernahme der Videodaten in den PC (über Grabberkarte).
 - 1.5 Aufbau einer PC-Einsteckkarte zur Ansteuerung des LCD-Blenden-Controllers und des Belichtungs-Schaltrelais.
 - 1.6 Aufbau des Schaltrelais für die Belichtungssteuerung des Reproduktionsgerätes und für das Raumlicht.

3. Wesentlichen Einzeldaten der Hardware-Komponenten

1. Reproduktionsgerät: Standard 6x6 - S/W-Vergrößerer.
2. Reproduktionsobjektiv: Minolta E.-Rokkor 1:4,5; 75 mm.
3. Standard-Mattscheibe aus Rauhglas (Ätztechnik).
4. Sony Hi8-Camcorder (CCIR-PAL) mit 1/3 Zoll-CCD: brutto 470000 Pixel, netto $752(H) \times 582(V) = 437664$, min.150 Lx
5. Grabber Karte AV'er 2000: "Video Window Card". Neben dem Video Digitizer steht als Herzstück der Video Windowing Controller, der alle Datenflüsse und die Bildschirmausgabe steuert: Synchronisierung mit dem VGA-Anzeigetakt Echtzeitaufnahme und Darstellung in programmierbaren Video-Windows (Größe von 1/64 bis 64/64, also 1:1) Anwendung der Overlay-Technik mit dem VGA-Bild.
6. PC-386 unter Windows 3.11.
7. PC-Einsteck-Controller für IBM-AT-Bus (20 Adressen, 8 Daten, 19 Steuerlinien, 6 Interrupt, 8 Versorgung)
8. LCD-Controller Board (Fa.Data-Modul: BT 050) mit Controller: OKI MSM 6255, Speicher, LCD-Treiber

9. Kyocera Chip-on-Glas Display KL 2412 A.

Mechanische Daten:

Abmessungen: $162 \times 94 \times 3,7$ mm,

Bildfläche: 124×68 mm,

Dots: 240×128 ,

Dot-Größe: $0,47 \times 0,47$ mm,

Dot-Raster: $0,5 \times 0,5$ mm,

Gewicht: 90 g.

Optische Daten:

Lichtwinkel: -40 bis +35 Grad

Kontrastverhältnis: durchscheinend, 25 Grad C

CR = von min.2 bis max.13,0 (!) (Zusätzliche Ventilator Kühlung eingebaut!)

4. Ergebnisse

Im Vergleich:

- (1) Reproduktionsbelichtung, bezogen auf Lichterpartien (Schattenpartien sind zu dunkel! s. Abb.4)



Bild 4. Bekanntes Motiv, Venedig, ohne Beeinflussung

- (2) Selektive Belichtung mit elektronischer Maske (Räumliche Bildwirkung durch Schattenaufhellung: s.Abb.5)



Bild 5. wie Bild 4, aber digitale, selektive Beeinflussung.

5. Danksagungen

Der Aufbau dieser völlig neuen Reproduktionstechnik (Hard- und Software) wäre nicht möglich gewesen ohne die Mithilfe meines Freundes Thorsten Grünendahl, der dies im Rahmen seiner Diplomarbeit tat. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weber sei hiermit für sein unterstützendes Interesse an dem Reproduktionsgerät gedankt.

REFERENCES

1. HELLMUT FRIESER: *Photographische Informationsaufzeichnung*. R.Oldenburger-Verlag, München 1975.