

räumlichen und zeitlichen Diskretisierung. Damit ist pauschal die Gewinnung einer Teilmenge aus einer kontinuierlichen Daten- oder Informationsmenge gemeint, die das Ziel hat, die Übertragung wirtschaftlicher beziehungsweise effizienter zu gestalten. Dabei werden die Bildpunktinformationen seriell statt parallel übertragen, was zur Folge hat, dass die Menge der Bildpunkte reduziert werden kann und damit eine schnellere Übertragung möglich ist.

Bildrate/-frequenzen (24 bis 120 Hz)

Die klassische Methode zur Bildübertragung seit der Erfindung des Fernsehens bildet das sogenannte Zeilensprung- oder Halbbildverfahren. Dabei werden zwei Halbbilder (Abbildung 45) nacheinander und Zeile für Zeile gesendet und empfangen, wobei beim ersten Halbbild mit der ersten Bildzeile begonnen wird. Demnach erfolgt zuerst die Abtastung der ungeraden Zeilen und im Anschluss die der geraden Bildzeilen. Als zweite Variante der Bildübertragung entwickelte sich das Vollbildverfahren, bei dem die vollwertigen Bilder nacheinander übertragen werden. Als einer der wichtigsten Parameter des Videosignals ist deshalb die Bildwechselfrequenz zu betrachten, die auch als zeitliche Diskretisierung oder Zeitauflösung bezeichnet wird.

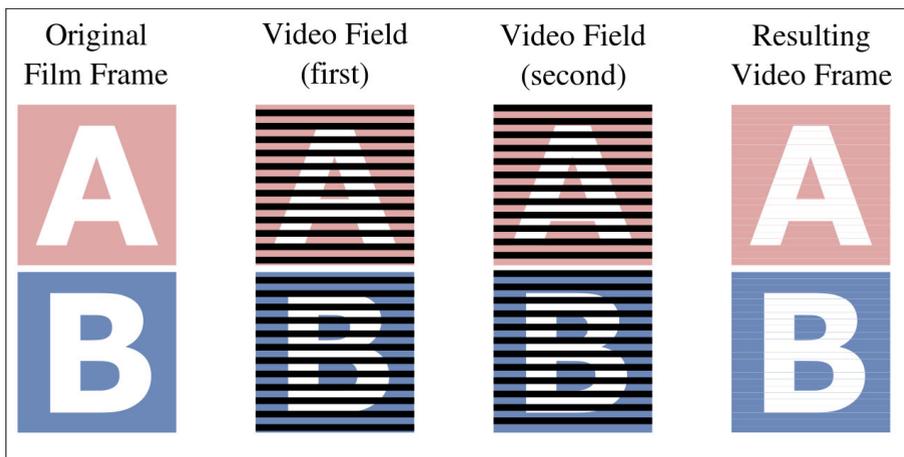


Abbildung 45: Halbbilder im Zeilensprungverfahren (Wikimedia Commons)

Damit der menschliche Gesichtssinn die bewegten Bilder als einen zusammenhängenden Bewegungsablauf erfassen kann, war seinerzeit die Frage zu klären, wie viele Bilder pro Sekunde übertragen werden müssen. Als die Fernsehtechnik noch in den Kinderschuhen steckte, wurde bereits mithilfe des Daumenkinos (Abbildung 46) festgestellt, dass mindestens 20 Bilder

pro Sekunde ausreichend sind, damit unser Auge beziehungsweise unser Gehirn eine scheinbar gleichmäßige Bewegung wahrnimmt.

Bevor das Fernsehen Einzug in die heimischen Wohnzimmer hielt, waren Filme nur im Kino zu sehen. Hier wurden 24 (Voll-)Bilder pro Sekunde gezeigt, wie es auch heute noch im modernen Cinema grundsätzlich üblich ist.

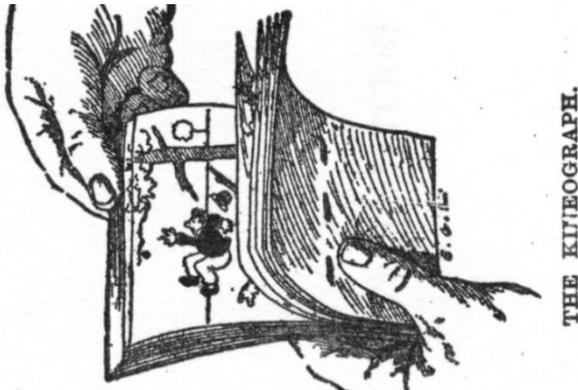


Abbildung 46: Der Kineograph im Jahre 1868 (Wikimedia Commons)

Allerdings ist dieser vermeintlich langsame Bildwechsel, der mit Dunkelpausen verbunden ist, für unsere Wahrnehmung mit einem erheblichen Kraftaufwand verbunden. Die rezeptiven Felder (vgl. Kapitel „Kontrast/Schärfe“) müssen permanent zwischen Erregung und Hemmung der Neuronen wechseln, was auf Dauer sehr anstrengend ist und als ein unangenehmes Flackern empfunden wird. Je schneller der Bildwechsel, desto geringer erscheint dieses Großflächenflimmern, bei dem das menschliche Auge auf alle Bildpunkte gleichzeitig reagieren muss. Erst ab einer Bildrate über 50 Hz (also mehr als 50 Bilder pro Sekunde) wird die sogenannte Flimmer-Verschmelzungsfrequenz erreicht, bei der diese für den Menschen unangenehme Erscheinung verschwindet (Abbildung 47).

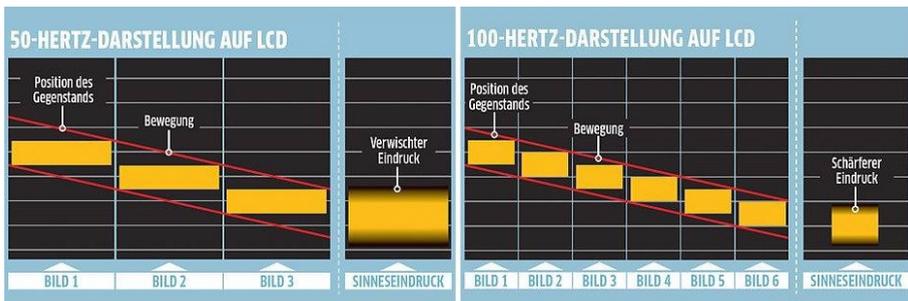


Abbildung 47: Unterschiedliche Wahrnehmung bei 50 Hz bzw. 100 Hz

Kino

Aber auch die Helligkeit des Bildes und der Blickwinkel sind ausschlaggebend für die Flimmerempfindlichkeit. Im Kino werden die Filmbilder deshalb in einem weitgehend abgedunkelten Umfeld zwei- oder dreimal projiziert. Daraus ergibt sich eine Verdopplung der Dunkelpausen bei einer Flimmerfrequenz von 48 Hz (doppelte Projektion) beziehungsweise 72 Hz (dreifache Projektion). Auch die Leuchtdichte der Kinoleinwand liegt unter 50 cd/m^2 , was die Helligkeit der Bildwiedergabe dimmt und damit die Flimmerempfindlichkeit verringert.

Gerade im Zusammenhang mit stereoskopischen Anwendungen (3D) wird mittlerweile empfohlen, die Bildwechselfrequenz in allen Formaten zu erhöhen. Kino- und Fernsehstandards sollten demnach mit 80, 100 oder sogar 120 Bildern pro Sekunde arbeiten, denn eine höhere Bildwiederholungsrate kann (gerade bei 3D-Filmen) die Qualität erheblich verbessern, da sie das Bildflimmern beziehungsweise -ruckeln und damit die Bewegungsunschärfe vermindert. Im Rahmen der Digitalisierung der Formate für Kinofilme (High Frame Rate: HFR/HFR 3D) etablierte sich Digital Cinema Initiatives (DCI) als entsprechender Standard.

In Deutschland wurde der erste Kinofilm im Jahre 2012 mit 48 Bildern pro Sekunde veröffentlicht (Der Hobbit). Die Fortsetzung von James Camerons „Avatar“, dessen Kinostart für 2017 vorgesehen ist, soll mit 60 Bildern pro Sekunde gedreht und projiziert werden. Dafür müssen die Kinos entsprechend auf Projektoren umrüsten, die die erforderlichen 96 beziehungsweise 120 Hz beherrschen. Der erste HFR-3D-Projektor mit 60 Bildern pro Sekunde wurde im Jahre 2013 im österreichischen Cinepoint in Tirol installiert.

Fernsehen

Im Laufe der Entwicklung der Fernsehtechnik erhöhte sich die Anzahl der Bildzeilen, bis sich schließlich zwei Werte etablierten. In Europa ergab sich schon allein aus der traditionellen Frequenz des Netzwechselstroms von 50 Hz eine Festlegung von 625 Zeilen pro Bild, was 25 Vollbildern in der Sekunde und damit einer Bildrate (Halbbilder) von 50 Hz entsprach (15625 Zeilen pro Sekunde: PAL). Parallel dazu wurde der US-amerikanische Standard von 30 Vollbildern pro Sekunde festgelegt, was wiederum 525 Zeilen pro Bild beziehungsweise 15750 (NTSC) zu bildende Zeilen in der Sekunde entspricht (vgl. Kapitel: Fernsehnormen).

Aufgrund der bestehenden Fernsehnormen (in Europa) funktioniert auch mit der Halbleitertechnik bei modernen digitalen Videosignalen die Fernseh-bildübertragung auf der Basis einer Bildwiederholungsfrequenz von 50 Hz. Allerdings setzt sich allmählich - schon allein aufgrund der mittlerweile sehr großen Fernsehgeräte - eine verdoppelte Bildwiederholungsfrequenz (100 Hz) durch. Denn das bereits beschriebene Großbildflimmern erhöht sich vor allem bei Standbildern oder aber ruckartigen Bewegungen beziehungsweise Kameraschwenks, je größer der Bildschirm ist. Allerdings arbeiten auch hier manche Fernsehgeräte mit der einfachen Methode, die einzelnen Halbbilder doppelt zu projizieren. Die daraus resultierenden Qualitätseinbußen machen sich vor allem an „ausgefranzten“ horizontalen Laufschriften (z.B. Börsenticker) bemerkbar. Teurere Geräte verfügen über eine aufwendige Technologie, die es ermöglicht, die empfangenen Bilder neu zu berechnen, bevor sie dargestellt werden. Bewegtbilder erscheinen hier flüssiger. Doch grundsätzlich kann die Qualität der Bilder nur so gut sein, wie sie einst aufgenommen wurden.

Bildabtastung

Für das Auslesen und Anzeigen von Bildinformationen stehen heutzutage generell zwei Techniken zur Verfügung: das Zeilensprungverfahren und die progressive Abtastung im Vollbildmodus. Werden beide Verfahren kombiniert, kommt es nicht selten zu Fehlern in der Darstellung und damit zu sogenannten Artefakten. Denn moderne Fernseh- und Computerbildschirme, die mit der sogenannten progressiven Bildabtastung arbeiten, können herkömmlich im Halbbildverfahren erstellte Bilder nur bedingt „zusammensetzen“. Wurde beispielsweise ein Film im Jahre 1973 mit 25 Voll- beziehungsweise 50 Halbbildern im Zeilensprungverfahren gedreht, so kann er über vierzig Jahre später selbst mit einem hochwertigen 100-Hz-Fernseher kaum in bester HD-Qualität gezeigt werden. Deshalb ist nicht selten der Spruch zu hören oder zu lesen, dass ausschließlich die gute alte Röhre knackscharfe Halbbilder wiedergeben kann, weil nur sie seinerzeit dafür konzipiert wurde. Da ist etwas Wahres dran.

Zeilensprung-/Halbbildverfahren (Interlaced Scan)

Der englische Begriff „Interlace“ bezeichnet Bildsignale, die im Zeilensprungverfahren arbeiten. Die entsprechenden Formate sind PAL, NTSC und das HD-Format 1080i.

Das Zeilensprungverfahren oder auch Zwischenzeilenverfahren wurde bereits Ende der 1920er Jahre von Fritz Schröter (Telefunken) entwickelt und 1930 als „Verfahren zur Abtastung von Fernsehbildern“ patentiert (DRP-Patent Nr. 574085). Ziel der Entwicklung war die flimmerfreie Anzeige von Signalen mit einer möglichst geringen Bandbreite. Noch heute wird teilweise mit diesem Zeilensprungverfahren gearbeitet und vor allem in CCD-Sensoren verwendet.

Wird ein Zeilensprungbild erzeugt, werden dabei zwei Felder mit Zeilen generiert. Aus einem Videovollbild (Frame) entstehen somit zwei unterschiedliche Halbbilder (Fields), die nacheinander übertragen und aufgebaut werden. Das erste Halbbild (Upper Field) enthält alle ungeradzahligen Zeilen des Bildes. Für das zweite Halbbild (Bottom Field oder Lower Field) werden nur die geradzahligen Zeilen dargestellt.

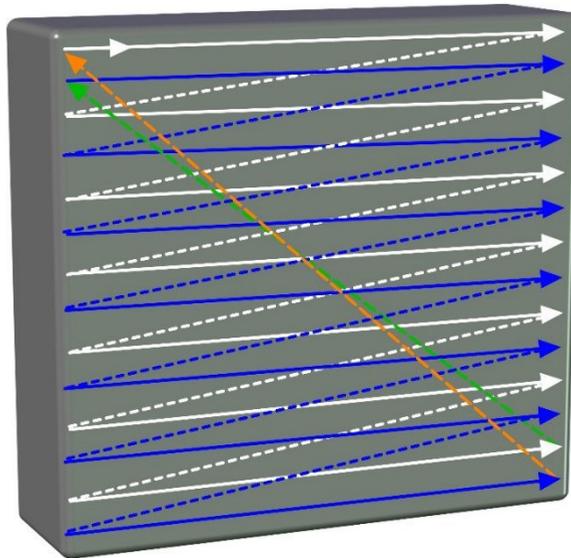


Abbildung 48: Vereinfachte Darstellung des Zeilensprungverfahrens

Neben der später entwickelten progressiven Bildabtastung (vgl. Kapitel „Vollbildverfahren“) erfolgt der Bildaufbau bei der klassischen Fernsehübertragung im Rahmen des Zeilensprungverfahrens, wie in Abbildung 48 dargestellt. Dabei wird oben links gestartet (weißer Pfeil).

Ein sogenannter Zeilen-Synchronimpuls im Fernsehsignal löst den Zeilenrücklauf aus, wobei der Elektronenstrahl in der Bildröhre für diese Zeit dunkel geschaltet wird. So wird Zeile für Zeile abgetastet, bis der untere Bildrand erreicht ist. Anschließend folgen einige Zeilen mit sogenannten Kennimpulsen (Vortrabanten, Bildsynchronimpuls, Nachtrabanten), bis der Bildrücklauf initiiert wird (grüner Pfeil). Während dieser sogenannten Austastlücke werden keine Bildinformationen übertragen, der Elektronenstrahl wird dunkelgetastet – ist also für das menschliche Auge nicht erkennbar. Das zweite Halbbild wird auf dieselbe Art und Weise übertragen (blaue Pfeile), am Ende landet der Rückstrahl (oranger Pfeil) wieder auf der ersten Bildzeile.

Allerdings werden diese Zeilen dennoch genutzt, beispielsweise für den klassischen Videotext oder aber IP-gestützte Informationen in Smart-TVs. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, wird das nächste Bild aufgebaut. Der Bildaufbau erfolgt abwechselnd zeilenversetzt (weiße/blau Pfeile). Im Idealfall werden die Zeilensprünge zu einem Gesamtbild von 625 Zeilen (Europa) integriert, wovon maximal 525 sichtbar (aktiv) sind. Die ungerade Zeilenzahl ist auf den Strahlrücksprung zurückzuführen, der bei beiden Halbbildern auf dem gleichen Vertikalspannungsniveau stattfindet. Wäre dies nicht gegeben, müssten die Spannungen pro Halbbild leicht verändert werden, was zu dem Problem führen kann, dass die Zeilen des zweiten Halbbildes nicht exakt zwischen denen des ersten abgebildet werden können.

Da also beim Senden eines Zeilensprungbildes immer nur die Hälfte der Zeilen übertragen wird, halbiert sich damit auch die Bandbreitennutzung. Sofern der Empfänger (z.B. Röhrenfernseher) ebenfalls mit der Zeilensprungtechnik arbeitet, werden auch hier zuerst die ungeraden und dann die geraden Zeilen eines Bildes angezeigt.

Im Wechsel werden die so entstehenden Bilder mit einer Bildrate von 25 (PAL) oder 30 (NTSC) Vollbildern pro Sekunde aktualisiert. Das menschliche Auge kann diese Zeilensprünge nicht wahrnehmen, sondern erkennt nur vollständige Bilder. Im englischen Sprachraum wird diese Art der Bildübertragung „interlaced scan“ genannt, aber auch in Deutschland hat sich dieser Begriff mittlerweile durchgesetzt.

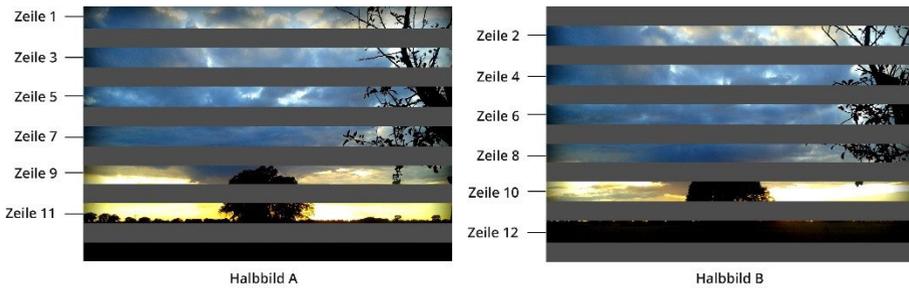


Abbildung 49: Vereinfachte Darstellung des Halbbild- bzw. Zeilensprungverfahrens (interlaced)

Deshalb werden Zeilensprungdarstellungen generell mit dem Buchstaben „i“ (wie interlacing) gekennzeichnet. Taucht also die Bezeichnung „480i“ auf, handelt es sich um eine Darstellung im Zeilensprungverfahren mit zwei Halbbildern. Gerade bei dem Wert „1080i“ im HDTV-Bereich kommt es nicht selten zu Missverständnissen, da im Allgemeinen oft angenommen wird, dass dieses Verfahren ausschließlich im analogen Fernsehen angewendet wurde. Doch tatsächlich steht in der digitalen Videodarstellung das „i“ ebenfalls für das Zeilensprungverfahren (Interlace) und die Zahl 1080 für die vertikale Auflösung.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Analog-Fernsehen im PAL-Format löst HDTV (1080i) mit einem Wert von 2.073.600 Bildpunkten fünf Mal so hoch auf. Näheres hierzu findet sich in den Kapiteln „Grundlagen des Digitalfernsehens“ sowie „Video-Features der Zukunft“.

Zeilensprung-Artefakte

Wie bereits erwähnt, kommt es weniger innerhalb des Zeilensprungverfahrens, sondern vor allem bei der Kombination verschiedener Abtasttechniken zu sogenannten Artefakten. Werden Filme, die im Zeilensprungverfahren generiert wurden, auf Computerbildschirmen oder Fernsehgeräten mit progressiver Abtastung dargestellt, entstehen quasi zwangsläufig Fehldarstellungen; umgekehrt trifft dies ebenfalls zu: horizontale Kanten tanzen scheinbar auf und ab, einst homogene Flächen werden streifig dargestellt. Hat man also den Anspruch, mit einem digitalen ultrahochoauflösenden Bildschirm mit Vollbildfahren einst analog und im Halbbildverfahren hergestellte Filme in bester Qualität zu sehen, wird man in der Regel enttäuscht.

Der Grund: Was einmal zerlegt war, kann niemals wieder vollständig zusammengesetzt werden. Doch auch die immer höhere Bildkomprimierung in digitalen Displays ist für Mängel in der Wiedergabe verantwortlich. Hier werden Verzerrungen erzeugt, die man ebenfalls als Artefakte bezeichnet. Bei

zeilensprungfähigen Monitoren oder Fernsehern sind diese kaum erkennbar, die neueren Geräte arbeiten allerdings zumeist mit progressiver Abtastung, bei der die Bildzeilen fortlaufend aufgebaut werden. Hier sind die Artefakte sichtbar und werden unter anderem als „Zacken“ wahrgenommen, die ursprünglich durch kurze Verzögerungen bei der Aktualisierung der geraden und ungeraden Zeilen entstanden sind. Denn ursprünglich stellte nur die eine Hälfte der Zeilen im Bild jeweils eine Bewegung dar, während die andere Hälfte aktualisiert wurde.

Besonders Standbilder von Videos, die seinerzeit im Zeilensprungverfahren erzeugt wurden, neigen bei Geräten mit progressiver Abtastung zu Fehldarstellungen. Werden diese Standbilder von einem Halbbild gemacht, reduziert sich die vertikale Auflösung. Dieser Bildverlust wird auch als Interlace-Faktor bezeichnet und mit etwa 30 Prozent beziffert. Bei einem Vollbild weisen vor allem bewegte Bildelemente kammerartige Doppelstrukturen auf und es kommt zu einer unschönen Zackenbildung. Hier stecken beide Halbbilder wie Kämmen ineinander und wirken seitlich versetzt. So entsteht der sogenannte Moiré-Effekt (Abbildung 50), der durch eine falsche Überlagerung der Halbbilder verursacht wird. Es kommt zu einem Flackern des Bildes, das typisch ist für den Spezialfall des Alias-Effekts durch Unterabtastung.

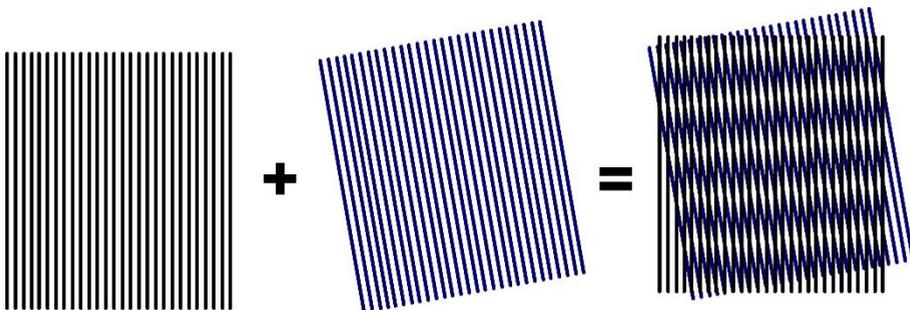


Abbildung 50: Moiré-Effekt

Auch bei schnellen Bewegungen oder rasanten Kameraschwenks ist es beim Zeilensprungverfahren kaum mehr möglich, aus den beiden Halbbildern ein deckungsgleiches Bild zu erstellen. Unsaubere Konturen und unruhige Bilder mit störenden Streifenmustern sind die Folge. Zur Lösung dieser Probleme wurde eine neue Form der Bildabtastung entwickelt, bei der die mangelbehaftete Halbbildwiedergabe entfällt.

Progressive Abtastung (Vollbildverfahren)

Die progressive Abtastung wurde ursprünglich in CCD- und CMOS-Sensoren und heute überwiegend in der Bildübertragung verwendet. Hier werden Vollbilder dargestellt, die sich kontinuierlich Zeile um Zeile von oben nach unten aufbauen. Die Darstellung der einzelnen Zeilen eines Progressive-Scan-Bildes erfolgt insofern fortlaufend (also progressiv): zuerst Zeile 1, gefolgt von Zeile 2, dann 3, 4, 5 und so weiter. Im Computerbereich war von jeher die progressive Abtastung üblich. Videokameras der Neuzeit, Flachbildschirme auf Plasma- oder LCD-Technologie sowie Displays und Monitore im Allgemeinen arbeiten heute generell „progressive“. Hierfür steht das „p“ in den Bildratenangaben von Videoformaten (z. B. 24p oder 25p). Bei der Bezeichnung „1080p“ handelt es sich um eine progressive HDTV-Darstellung mit 1080 Zeilen, bei „1080/24p“ um die gleiche Darstellung mit 24 Vollbildern (im Kino).

Wenn also - anders als beim Zeilensprungverfahren - echte Vollbilder und keine zeilenverschränkten Halbbilder gesendet und empfangen werden, verschwindet somit auch das Zeilenflimmern weitgehend. Mit dem Vollbildverfahren wird insofern eine höhere vertikale Auflösung erreicht, was wiederum dazu führt, dass Artefakte (z.B. ausgefranste Objektkanten) vermieden werden können.

Fernsehnormen

Als das Fernsehsystem erfunden wurde, reichte die Technik noch nicht aus, um progressiv arbeiten zu können. Das änderte sich erst mit der Entwicklung der aktuellen Computersysteme. Progressive Scan findet sich im digitalen Fernsehen, aber hauptsächlich in Kinofilmproduktionen und den damit bespielten Blu-ray-Discs wieder. Bei Letztgenannten ist das 1080p/24-Signal (mit 24 Vollbildern) üblich. Trotzdem wird auch im Digital-TV das Zeilensprungverfahren immer noch eingesetzt. Internationale HDTV-Sender und alle HD-Ableger der deutschsprachigen Privatsender senden im Format 1080i/50. Dagegen folgen alle deutschsprachigen öffentlich-rechtlichen Sender einer Empfehlung der European Broadcasting Union (EBU) und senden im Format 720p - also progressiv.

Zurückzuführen ist die EBU-Empfehlung auf mehrere Versuchsreihen aus dem Jahre 2006, in denen die Darstellung von 720p und 1080i verglichen wurde. Dabei stellte sich heraus, dass bei gleicher Datenrate das 720p-Bild damals meistens besser bewertet wurde. Auch europäische Sender wie Arte, ORF und SRG senden in diesem Format. Nach und nach wird eine

Umstellung auf 1080p erfolgen, allerdings generell 1080p mit 50 Vollbildern pro Sekunde (USA/Japan: 60 Hz). Die Untersuchungen der EBU haben gezeigt, dass die Ausstrahlung von 1080p/50 machbar wäre, da sich die Datenraten gegenüber 1080i (50 Halbbilder) nur geringfügig erhöhen. Der Grund liegt in der günstigeren Codier-Effizienz von Progressive-Formaten.

Die in Deutschland und Europa (noch) vorherrschende analoge Fernsehnorm B/G wird auch als PAL (Phase Alternating Line) bezeichnet. Hier wird generell nach dem Zeilensprungverfahren (Interlaced) gearbeitet, ein Vollbild besteht aus 625 (575 sichtbaren) Zeilen, die Halbbilder aus je 312½ (287½) Zeilen. Dabei werden 25 Voll- bzw. 50 Halbbilder pro Sekunde übertragen, was einer Frequenz von 50 Hertz entspricht. Die Bandbreite beträgt 5,5 MHz, die Farbträgerfrequenz 4,43 MHz.

Grundsätzlich setzten sich drei Farbfernsehnormen durch, die in der folgenden Abbildung (51) dargestellt sind. Dabei ist klar zu erkennen, dass sich letztlich aufgrund der nicht immer zu gewährleistenden Kompatibilität die einzelnen Normen regional konzentrieren.

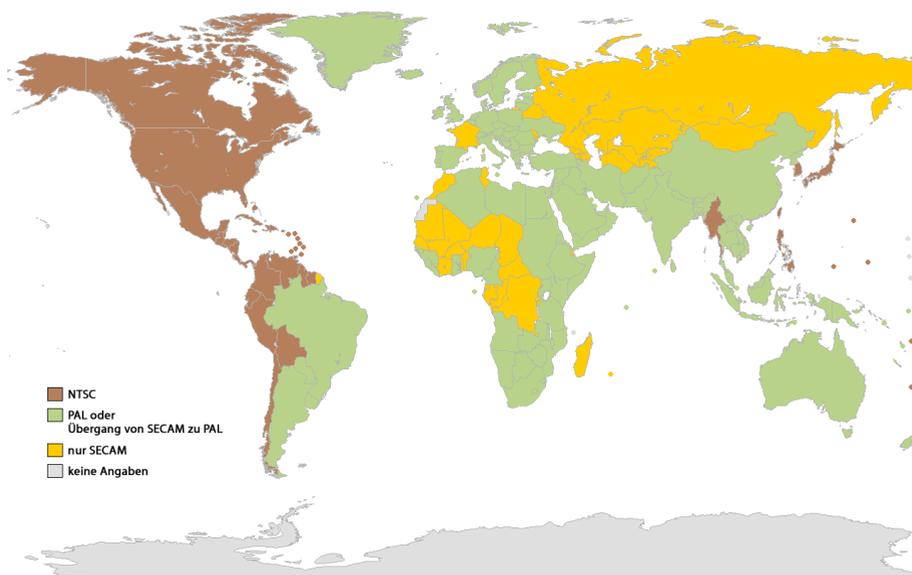


Abbildung 51: Nutzungsgebiete der einzelnen Fernsehnormen (Wikimedia Commons)

Neben dem SECAM-Verfahren sind NTSC und PAL die bekannten Farbfernsehnormen. Sie werden oft im Zusammenhang mit den Bildaufbaustandards benutzt, um die Zeilen-/Bildanzahl (525/60 und 625/50) zu unterscheiden. Allerdings ist eine solche klare Abgrenzung nicht möglich.

Brasilien beispielsweise überträgt grundsätzlich in NTSC (525/60), verwendet für die Farbcodierung in der analogen Fernsehübertragung allerdings die PAL-Norm. Insofern bietet die Tabelle (Abbildung 52) eine kleine Übersicht über die Verwendung der einzelnen Farbfernsehsysteme, wobei diese nach und nach ihre absolute Gültigkeit im Rahmen der Digitalisierung verliert.

NTSC		PAL		SECAM	
Bolivien	Chile	Ägypten	Australien	Frankreich	Niger
Equador	Haiti	Brasilien	Deutschland	Marokko	Monaco
Hawaii	Japan	China	Großbritannien	Mauretanien	Senegal
Kanada	Kolumbien	Indien	Indonesien	Mongolei	Ukraine
Korea	Kuba	Italien	Kenia	Russland	
Mexiko	Philippinen	Neuseeland	Niederlande	Tunesien	
Peru	USA	Südafrika	Thailand		

Abbildung 52: Übersicht der Farbfernsehsysteme nach Ländern

Denn mittlerweile gibt es natürlich auch digitale Fernsehnormen, die sich jedoch weiterhin an den Kenndaten der analogen Fernsehnormen (z.B. Zeilenzahl und Bildfrequenz) orientieren. Ein weiteres Merkmal der digitalen Fernsehnormen ist die Anzahl der Spalten eines Bildes. Aus der Verbindung der Bildspalten und Bildzeilen entsteht die Bildauflösung in Bildpunkten (Pixel).

Zukünftig werden beim digitalen Videoformat Ultra High Definition Television (UHDTV) nur noch Vollbilder aufgenommen und wiedergegeben. Gemäß der Empfehlung der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) aus dem Jahre 2012 sind hier zwei Bildauflösungen (4K und 8K) sowie eine definierte Bildwiederholungsrate von max. 120 Vollbildern vorgesehen. Näheres hierzu findet sich im Kapitel zur ITU-R-Empfehlung BT.2020 in diesem Buch.

De-Interlacing

Da viele aber auch heute noch Gefallen an den TV-Evergreens und Kinohits des 20. Jahrhunderts finden, wurde ein technisches Verfahren entwickelt, um quasi das einst historisch produzierte Filmmaterial für die Neuzeit bestmöglich aufzubereiten – also Halb- in Vollbilder zu konvertieren. Die

aus dem Englischen übernommene Bezeichnung „De-Interlacing“ beschreibt im Grunde jenen Vorgang dieser Zeilenentflechtung. Wie wir wissen, ist dies heutzutage generell nötig, insbesondere dann, wenn Filme im Zeilensprungverfahren aufgenommen wurden, aber über Anzeigegeräte dargestellt werden sollen, die über einen anderen zeitlichen beziehungsweise vertikalen Bildaufbau verfügen. Mit der heutigen Technik stellt das De-Interlacing an sich kaum mehr ein Problem dar.

Moderne Fernsehgeräte sowie DVB-Empfänger, Blue-ray-Player oder Computer verfügen über einen integrierten De-Interlacer, der die Bildfrequenz zumeist automatisch anpasst. Jedoch basieren sowohl DVD- als auch antennenbasierte TV-Tunersignale (DVB-T) nach wie vor auf den Standards des Halbbildverfahrens. Insofern bleibt auch zukünftig ein exaktes De-Interlacing äußerst wichtig – jedenfalls bis zur generellen Umstellung auf DVB-T2 und restlichen Entsorgung der DVD-Player. Dabei bleibt das Grundproblem: Was einmal in Halbbilder aufgeteilt war, lässt sich nicht mehr exakt in Vollbilder wandeln. Exemplarisch sollen im Folgenden zwei Verfahren im Rahmen des De-Interlacings erläutert werden, wobei sich diese nicht generell auf die Konvertierung von Halb- in Vollbilder beziehen, sondern im ersten Beispiel auf die Bearbeitung von Halbbildern und ihren Bildwechselfrequenzen.

Pulldown

Wer es sich am Freitagabend auf seinem Sofa gemütlich macht und die preiswert erstandene DVD mit einem Blockbuster aus seiner Jugendzeit in den Blu-ray-Player schiebt, der denkt natürlich kaum darüber nach, ob sich die Bildformate und Bildraten überhaupt vertragen. Möchte man also einen Kinofilm (24 Vollbilder) für PAL (50 Halbbilder) optimieren, ist dies nicht ganz so einfach zu realisieren. Der Trick besteht darin, dass bei einer PAL-DVD anstatt der 24 Bilder im Original eben 25 überspielt werden (2:2-Pulldown). Insofern ist die logische Schlussfolgerung, dass ein Kinofilm auf einer DVD minimal schneller läuft, sich also die Laufzeit um zirka vier Prozent verkürzt.

Bei der Optimierung für NTSC mit einer Bildwechselfrequenz von 60 Hz ist das 2:2-Pulldown-Prinzip allerdings nicht möglich, da in diesem Fall von 24 Vollbildern in 60 Halbbilder konvertiert werden muss. Hier wird deshalb das erste Film-Einzelbild (A) dreimal wiederholt, das zweite Film-Einzelbild (B) nur zweimal. Diese Sequenzen werden nun sechs Mal im 3:2-Rhythmus wiederholt und in jeweils zwei Halbbilder zerlegt. Drei Bilder (A) und zwei Bilder (B) ergeben also insgesamt fünf Vollbilder. Sechsfach erstellt, ergeben sich

insofern 30 Vollbilder, die in 60 Halbbilder zerlegt werden können. Diese Vorgehensweise wird entsprechend als 3:2-Pulldown bezeichnet.

Aber auch für Videomaterial im Heimkinobereich ist das exakte De-Interlacing mittlerweile unabdingbar, zumal die hochauflösenden Wiedergabegeräte jede Bildverschlechterung konsequent anzeigen.



Abbildung 53: Referenzvideo der Firma BUROSCH zur Überprüfung eines De-Interlacers

Die Firma BUROSCH bietet hierzu Realfilmsequenzen an, die die Struktur von Hausdächern zeigen (Abbildung 53). Der Film funktioniert quasi wie ein Testbild: Flimmern die einzelnen Dachziegel, so arbeitet der De-Interlacer nicht akkurat. Ruckelt der Bewegungsablauf, so ist ebenfalls von einem unzureichenden De-Interlacing auszugehen.

Weave

Sollen im Umkehrverfahren Vollbilder als zwei aufeinander folgende Halbbilder mit demselben Zeitindex übertragen werden, muss vor der Darstellung das einfache Deinterlacing-Verfahren Weave angewendet werden. Hier wird das Bildmaterial im Vollbildverfahren aufgenommen und im Anschluss durch ein zusätzliches Videosignal in zwei Halbbilder zerlegt, um diese dann im Zeilensprungverfahren zu übertragen. Diese Technik wird als progressive segmented Frame (psF) bezeichnet und ermöglicht die Darstellung von Progressive-Scan-Bildern auf Geräten, die für das Zeilensprungverfahren ausgelegt sind.

Herkömmliche Übertragungsverfahren (z.B. PAL, NTSC) verwenden diese Methode, wozu im Übrigen auch das HDTV-Format 1080i gehört. Damit die übertragene Datenmenge ungefähr gleich bleibt, wird beispielsweise bei (FullHD) aufgrund der höheren Zeilen- oder Vertikal-Auflösung die zeitliche Auflösung halbiert. Filmmaterial, das auf diese Weise bearbeitet wurde, erhält die Kennzeichnung „psF“ (z.B. 1.080psF oder 576psF).

Bild-/Videoauflösung

Umgangssprachlich wird die Auflösung grundsätzlich für das Maß einer Bildgröße verwendet, das die Anzahl der Bildpunkte (Pixel) nach Spalten (vertikale Auflösung) und Zeilen (horizontale Auflösung) einer Rastergrafik angibt. Im physikalischen Sinne ist mit der Auflösung die jeweilige Punktdichte bei der Wiedergabe beziehungsweise Bildabtastung gemeint. Somit ist die Bildauflösung ein Qualitätsstandard unter anderem für die Farbtiefe. Während man in der Digitalfotografie zumeist die Gesamtzahl der Bildpunkte (Mega-Pixel = 1 Million Bildpunkte) beziehungsweise pro Zeile und Spalte angibt, wird in der Fernsehtechnik die Anzahl der Bildpunkte pro Zeile mal die Anzahl der Zeilen gemessen. Neben der räumlichen Auflösung wird in der Videoauflösung insofern auch die zeitliche Auflösung interessant, da es sich um Bewegtbilder handelt. Wie bereits erwähnt, wird die zeitliche Auflösung (Bildfrequenz) in Hertz (Hz) angegeben. Dabei ist vor allem das Verfahren der Bildabtastung von maßgeblicher Bedeutung, das heißt, ob also zwei Halbbilder im Zeilensprungverfahren (interlaced) oder aber jeweils ein Vollbild (progressive scan) eingelesen werden.

Zeitliche/räumliche Auflösung

In diesem Zusammenhang soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die bereits erörterten Fernsehnormen (PAL, NTSC oder SECAM) nicht generell per Definition zur Angabe für den Bildwechsel dienen. Videoauflösungen werden betreffend ihrer zeitlichen Auflösung mit den jeweiligen Bildabtastverfahren angegeben. Dazu werden im Allgemeinen die Abkürzungen „i“ für das Zeilensprungverfahren (interlaced) und „p“ für die progressive Bildabtastung (progressive) verwendet.

Aber auch andere Parameter sind für die Auflösung entscheidend. So beispielsweise das Seitenverhältnis, das generell als Bruch dargestellt (z.B. 16:9) wird, wobei sich der erste Wert auf die Breite und der zweite Wert

auf die Höhe bezieht. Oftmals wird dieser Bruch auch auf 1 gekürzt beziehungsweise ausmultipliziert und entsprechend gerundet. Auf diese Weise wird aus der Angabe 4:3 beispielsweise der Wert 1,33:1.

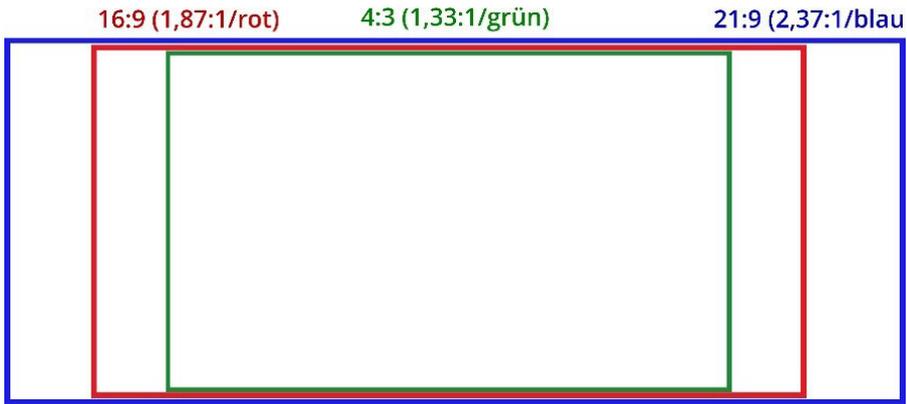


Abbildung 54: Standard-Seitenverhältnisse im TV-Bereich

Die drei gebräuchlichsten Seitenverhältnisse für Fernsehgeräte sind in Abbildung 54 vergleichsweise dargestellt: Das im analogen Fernsehen als Standard verwendete Format 4:3 (1,33:1/grün), in den 1990er Jahren eingeführte Format 16:9 (1,87:1/rot) sowie das seit 2009 für besonders breite Geräte genutzte Format 21:9 (2,37:1/blau), das insbesondere Kinofilme (2,39:1) ohne horizontale Streifen wiedergeben kann. Fasst man alle Parameter der Bild-/Videoauflösung zusammen, so entstehen ganz unterschiedliche Werte für die einzelnen Videoformate, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind (Abbildung 55).

Videoformat	Breite	Höhe	Seiten- verhältnis	Pixel
analog				
VHS	320	240	4:3	76.800 (0,08 MP)
S-VHS	533	400	4:3	213.200 (0,21 MP)
digital				
VCD (PAL)	352	288	4:3	92.160 (0,09 MP)
SVCD (PAL)	576	480	4:3	276.480 (0,28 MP)
DVB (PAL)	720	576	4:3/16:9	414.720 (0,41 MP)
HDTV (720p)	1280	720	16:9	921.600 (0,92 MP)
Full-HD (1080p)	1920	1080	16:9	2.073.600 (2,07 MP)
2K	2048	1536	4:3	3.145.728 (3,15 MP)
UHD-1 (4K)	3840	2160	16:9	8.294.400 (8,30 MP)
4K	4096	3072	4:3	12.582.912 (12,58 MP)
UHD-2 (8K)	7680	4320	16:9	33.177.600 (33,2 MP)

Abbildung 55: Übersicht gängiger Videoformate (Auflösung)

Nicht selten wird davon ausgegangen, dass die Bildauflösung beziehungsweise die Bildgröße mit der Größe der jeweiligen Videodatei zusammenhängt. Jedoch können auch sehr kleine Bilddateien über eine hohe Auflösung verfügen.

Insofern ist der Zusammenhang zwischen der Größe des Datenvolumens nicht zwangsläufig kongruent zur Höhe der Bildauflösung. Letztlich liegt es an der Qualität der Wiedergabe, wie hochwertig das Foto- oder Videomaterial verwendet werden kann. Deshalb können Aussagen über die Auflösung generell nur im Zusammenhang mit der Wiedergabe getroffen werden. Wenn beispielsweise Filme in UltraHD produziert aber auf einem alten Röhrenfernseher wiedergegeben werden, dann ist relativ klar, dass die Bildqualität erhebliche Einbußen erfährt. Insofern ist die Bildauflösung allein noch kein direktes Maß für die Qualität.

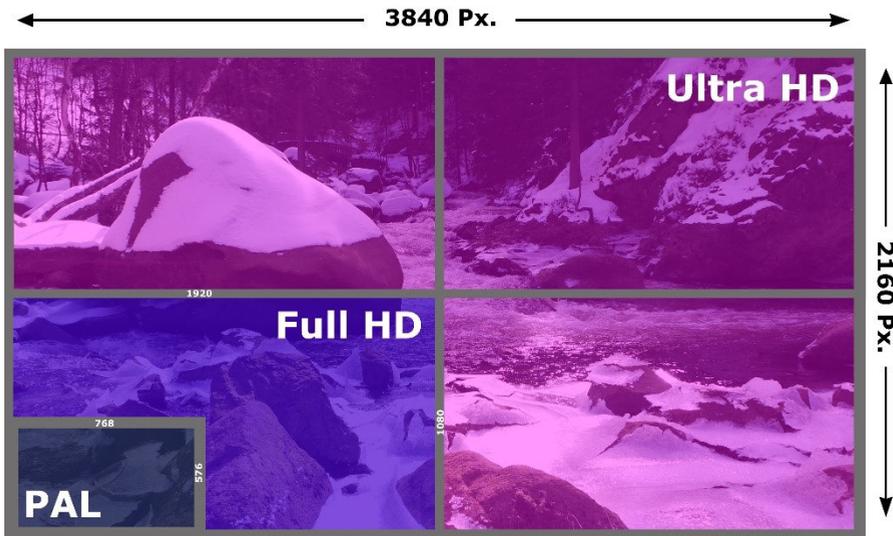


Abbildung 56: Beispiel für Bildauflösungen

Skalierung

In diesem Zusammenhang kann man auf die Aussage zurückkommen, dass nur die gute alte Röhre knackscharfe Bilder liefern kann. Denn nur bei analogen Röhren-Bildschirmen war das Format des Eingangssignals identisch mit der Wiedergabe. Hier konnten mithilfe der Steuerelektronik verschiedene Videoformate mit der gleichen vertikalen und horizontalen Bildauflösung wiedergegeben werden. Hingegen ist in modernen digitalen Bildschirmen das Wiedergaberaster vorbeschrieben und variiert je nach Bauart. Deshalb kann das Eingangssignal von der tatsächlichen Wiedergabe abweichen. Entsprechend müssen die eingegangenen Bildpunkte je nach Wiedergaberaster skaliert werden, wobei es hier nicht selten zu Verlusten kommt, die sowohl bei einer Verkleinerung als auch bei einer Vergrößerung entstehen können. Insbesondere bei der analogen Fernsehübertragung werden die Bildpunkte selbst oft nicht quadratisch, sondern rechteckig dargestellt. Aber auch durch die diversen Videoformate kommt es zu unschönen Begleiterscheinungen (Abbildung 57).

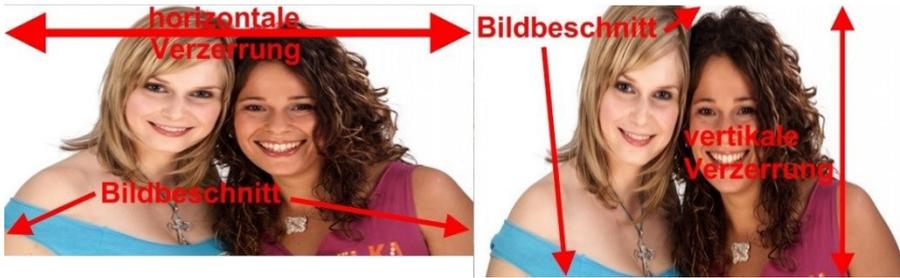


Abbildung 57: Bildverzerrungen bei unterschiedlichen Videoformaten

Um die Filmfläche optimal nutzen zu können, wurde bereits in den 1950er Jahren das sogenannte anamorphotische Verfahren (anamorph: griech. umgestaltet) in der Filmtechnik eingesetzt, um breitbandige Kinofomate auf analogen normalformatigen Fernsehgeräten abspielen zu können. Da es sich hierbei um geometrisch-optische Verzerrungen wie etwa bei einem Hohlspiegel handelt, ist die synonyme Verwendung des Begriffes im Zusammenhang mit der digitalen Bildübertragung falsch. Allerdings muss auch hier das Bild beispielsweise bei HDTV bis zu 25 Prozent gestaucht werden. Dies begründet sich aus den immer breiter werdenden Geräten. Der Unterschied zwischen dem herkömmlichen PAL-Format (SDTV) und HDTV ist in Abbildung 58 erkennbar.

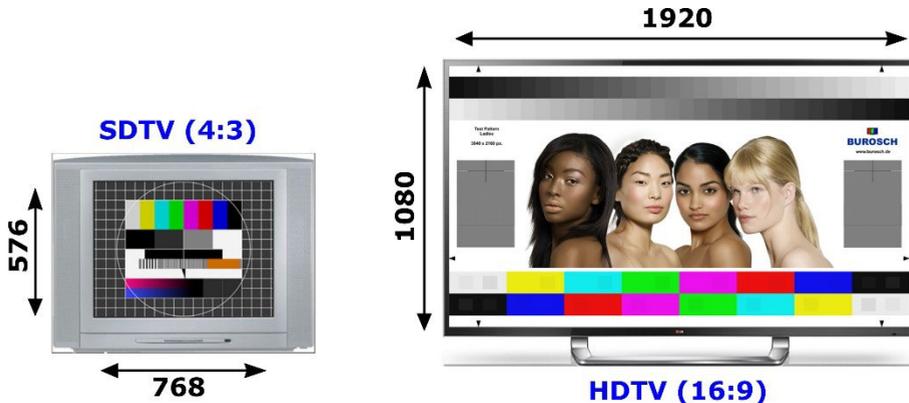


Abbildung 58: Unterschied zwischen SDTV und HDTV

Grundsätzlich kann man hochauflösende Videos nur dann hundertprozentig genießen, wenn das Gerät der Wiedergabe die technischen Voraussetzungen erfüllt. Aber auch der beste Fernseher ist nur so gut, wie seine Einstellung. Da Farbe lediglich eine subjektive Wahrnehmung ist, sollte man sich hier nicht ausschließlich auf die Werkseinstellungen oder das bloße Auge verlassen. Um die heute üblichen hohen Qualitätsstandards auch tatsächlich in vollem Umfang ausnutzen zu können, sollten als „Feinschliff“ sogenannte Testbilder bei der präzisen Einstellung verwendet werden. Mehr zu diesem

Thema steht unter anderem im folgenden Kapitel „Bildeinstellungen/Kalibrierung“ aber auch am Ende dieses Buches.



Abbildung 59: Testbild "Ladies" der Firma BUROSCH

Native Auflösung

Insofern ist gerade für die Feinheit der Farbabstufungen einzelner Bildelemente (Farbtiefe) die sogenannte native Auflösung qualitätsbestimmend. Damit ist die exakte digitale Auflösung des Gerätes gemeint, das zur Bildwiedergabe verwendet wird. Der schlichte Vergleich zwischen der PAL- und HDTV-Auflösung macht den Unterschied deutlich: Der PAL-Standard umfasst 576 sichtbare Zeilen (vertikale Auflösung) und 768 Linien (horizontale Auflösung) und entspricht damit 11.059.200 Bildpunkten pro Sekunde. HDTV-Standards hingegen bieten 51.840.000 (1080i) beziehungsweise 46.080.000 (720p) Bildpunkte pro Sekunde. Die Gesamtbildpunktzahl erhöht sich bei HDTV auf etwa das Fünffache, was sich sowohl in schärferen Konturen, brillanteren Farben und generell in einer höheren Tiefenschärfe des Fernsehbildes bemerkbar macht.

Im Jahre 2015 ist HDTV jedoch schon fast wieder Makulatur. Hier sprechen wir im Zusammenhang mit UltraHD/4K über ein weiteres Vielfaches in Bezug auf die Pixelanzahl – nämlich von 8 Millionen Bildpunkten. Und auch dieser Wert stellt nur eine Momentaufnahme dar, insbesondere weil die bereits erwähnte ITU-Empfehlung Rec.2020 perspektivisch die Bildauflösung 8K (UHDTV2) vorsieht, welche in derzeitigen TV-Prototypen bereits realisiert wird.

	PAL	720p	1080i
Auflösung	576 x 768	720 x 1280	1080 x 1920
Bildpunkte gesamt	442.368	921.600	2.073.600
Bildpunkte/Sekunde	11.059.200	46.080.000	51.840.000
Format	4 : 3	16 : 9	16 : 9
Frequenz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Bilddarstellung	Halbbild (interlaced)	Vollbild (progressive scan)	Halbbild (interlaced)

Abbildung 60: Vergleich PAL/720p/1080i

Pixeldichte

Ebenfalls bereits erwähnt wurde, dass der Begriff „Auflösung“ umgangssprachlich oft synonym verwendet wird. In der Drucktechnik (z.B. Zeitung) spricht man, wenn Bildpunkte gemeint sind, von dots per inch (dpi), bei Bild- und Videomaterial hingegen von pixel per inch (ppi) oder vielmehr Pixel pro Zoll. Im Zusammenhang mit der Pixelgröße wird nicht selten von einer „relativen Auflösung“ gesprochen, was allerdings falsch ist. Denn der Abstand der einzelnen Bildpunkte kann exakt gemessen werden und stellt somit eine physikalische Größe dar. Die Pixel- oder auch Punktdichte ist gerade in der heutigen digitalen Bild- und Videoproduktion das Maß für die Detailgenauigkeit und steht in direktem Zusammenhang mit der Qualität der Wiedergabe.

Doch die höchste Pixeldichte nützt wenig, wenn die Fläche, auf der das Bild dargestellt wird, zu klein ist. Das menschliche Auge könnte die Brillanz von 1920x1080 (HD), 3840 × 2160 (UHD-1/4K) oder gar 7680 × 4320 Pixel (UHD-2/8K) Bildpunkten kaum erfassen, wenn diese auf einer Briefmarke abgebildet würden. Umgekehrt sehen wird grobe Pixelstrukturen auf großen Bildschirmen, wenn die Punktdichte (Auflösung) zu gering ist. Insofern ist bei gleicher Auflösung die Bildschirmdiagonale maßgeblich. Deshalb sollte man sich von den mitunter extremen Unterschieden in der Angabe der ppi bei diversen Produktgruppen nicht irritieren lassen.

Gerät/Produktgruppe	Display-Auflösung (Pixel)	Display-Diagonale (Zoll)	Pixeldichte (ppi)
Samsung Gear 2 (Smartwatch)	320x320	1,63	278
LG G3 (Smartphone)	2560x1440	5,5	538
Kindle Voyage (eBook-Reader)	1440x1080	6	300
Samsung Galaxy 8.4 (Tablet-PC)	2560x1600	8,4	359
Walimex Pro Director (PC-Monitor)	1920x1080	10	220
Toshiba Satellite (Notbook)	3840x2160	15,6	282
Reflexion LED 1971 (Bildschirm)	1920x1080	18,5	119
Apple iMac 27"/Retina-5K-Display (All-in-One-PC)	5120x2880	27	218
Sony VPL-VW1100ES (Beamer)	4096x2160	60 bis 300	77 bis 15

Abbildung 61: Produkte im Vergleich nach Pixel, Zoll, ppi

Die Fachzeitschrift Computerbild hat auf ihrer Internetseite (2015) einen Vergleich verschiedener Produktgruppen in Bezug auf ihre Auflösung und Displaydiagonalen durchgeführt. Ein Auszug der erstplatzierten Produkte ist in Abbildung 61 dargestellt und zeigt, dass die Daten weit auseinander gehen können, grundsätzlich aber Parallelen zwischen Displaygröße und Pixeldichte erkennbar sind.

Die zurzeit höchste Auflösung bringt das digitale Videoformat UltraHD mit den Bildauflösungen 4K und 8K. Demnach hat das 4K-Format für TV mit 3840×2160 Bildpunkten eine viermal so hohe Pixelanzahl gegenüber der TV-Auflösung Full-HD. Das 8K-Format (7680×4320 Pixel) löst vertikal und horizontal jeweils viermal so fein auf wie Full-HD, insofern bietet dieses Format (in Japan: Super Hi-Vision) sechzehnmal so hohe Auflösung. Abbildung 62 zeigt den qualitativen Unterschied zwischen HD und UHD/4K.

Mit einer höheren Pixelzahl wird es natürlich leichter, auch die Displays zu vergrößern und dabei immer noch eine hervorragende Bildqualität zu garantieren. Die Krümmung, die heute nicht selten zu einem ultrahochoauflösenden Display dazugehört, soll eine bessere Tiefenwirkung erzeugen.

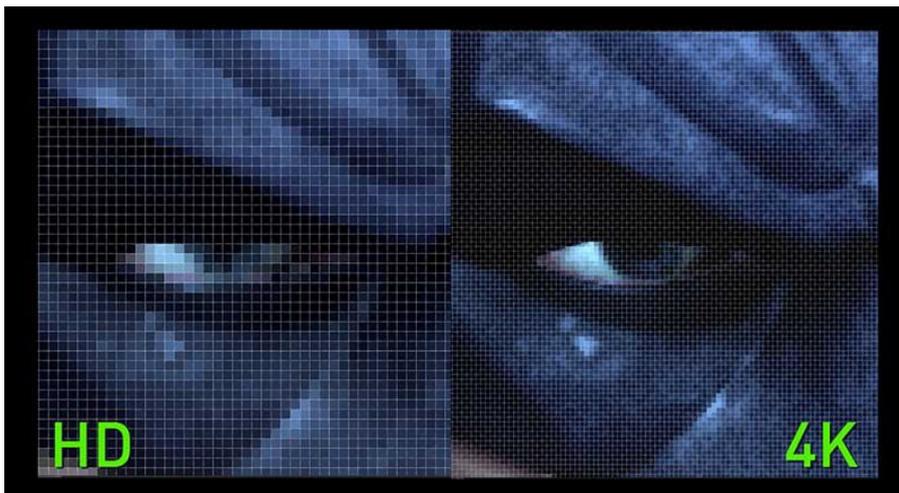


Abbildung 62: Unterschied HD und 4K (© NVIDIA Corporation)

Allerdings sollte beim Kauf eines solchen Heimkinos immer auch an die Größe des Umfeldes gedacht werden. Denn ein Fernseher mit beispielsweise 65 Zoll Bildschirmdiagonale muss auch ins Wohnzimmer passen. Dabei ist insbesondere der Betrachtungsabstand wesentlich für einen exzellenten Filmgenuss. Allerdings bietet gerade eine hohe Auflösung auch die Möglichkeit, dichter am Gerät sitzen zu können. Was ist also optimal und warum?

Betrachtungsabstand – was ist dran?

Gibt man in eine Online-Suchmaschine den Begriff „Sitzabstand TV“ ein, findet man unzählige Artikel zum Thema. Und genauso zahlreich sind die entsprechend beschriebenen Tipps und Tricks. Das Dumme daran ist nur, dass fast jeder Ratgeber etwas anderes empfiehlt und jeder von sich behauptet, den richtigen Abstand beziehungsweise die richtige Formel für den perfekten Betrachtungsabstand gefunden zu haben. Einige Regeln sind richtig, andere jedoch weniger. Deshalb soll an dieser Stelle ein wenig Licht ins Dunkel gebracht und detailliert beschrieben werden, was es mit dem empfohlenen Betrachtungs- oder Sitzabstand auf sich hat.

Den TV passend zur Größe des Wohnzimmers aussuchen

Ein prinzipieller Rat, der eigentlich schon immer galt, und das unabhängig von der Bildschirmtechnologie: Man wählt die Größe des TV-Gerätes passend zu den vorhandenen Raumverhältnissen. Jedenfalls in der Regel, denn umgekehrt wird es meistens schwer. Es macht also wenig Sinn, sich in ein briefmarkengroßes Wohnzimmer einen XXL-Flat zu stellen oder zu hängen,

vor allem wenn zwischen Sitzmöbel und Fernseher gerade mal eine Kaffeetasse passt. Imposant ist in diesem Zusammenhang das eine. Schlechter Geschmack das andere – vom Optimum der Bildwiedergabe mal ganz zu schweigen.

Im Zeitalter von UltraHD und HDR werden allerdings die Riesendisplays immer populärer und viele Verkäufer nutzen die sehr hohe Auflösung als Argument, dass die Einhaltung eines gewissen Sitzabstandes quasi überflüssig sei. Grundsätzlich ist hier etwas Wahres dran. Der Rest ist Marketing. Vor dem Kauf eines neuen Gerätes sollte man sich schlichtweg einen Zollstock nehmen und im Beisein aller Familienmitglieder einig darüber werden, wie groß das gute Stück denn tatsächlich werden soll. Denn mal abgesehen von allen technischen Möglichkeiten ist und bleibt so ein Fernseher reine Geschmackssache. Und die kann mitunter meilenweit auseinander liegen. Der Teenager mit seiner Spielkonsole spricht sich im Allgemeinen für die maximale Bilddiagonale aus, die Ehefrau und Mutter hingegen für ein schickes Modell, das zur Einrichtung passt, während es Papa eigentlich egal ist, Hauptsache er kann in Ruhe Fußball schauen. Ein Mittelwert ist hier meistens die beste Entscheidung.

Von der Auflösung hängt es ab

Wer die Hürde des familiären Konsens¹ genommen hat, für den sind die technischen Details ein Klacks. Natürlich hängt der Sitzabstand maßgeblich von der Auflösung des TV-Displays ab. Die internationale „Society of Motion Picture and Television Engineers“ empfiehlt, die Bilddiagonale mal 1,63 als Sitzabstand zu berechnen, nach dem THX-Standard bietet die Bilddiagonale mal 1,19 ein annäherndes Kinogefühl, und viele Fachleute empfehlen als Richtwert gern die Bilddiagonale mal 2,5 zu nehmen. Allerdings beziehen sich diese Werte lediglich auf FullHD. Da UltraHD aber die vierfache FullHD-Auflösung hat, wird oft empfohlen, die Werte hier einfach zu halbieren. Ein anderer Rat für den korrekten Sitzabstand zum UHD-TV ist, die Bildhöhe einfach mal Zwei zu nehmen. Zu diesen geläufigen Tipps kommen zahlreiche weitere, deren Aufzählung allerdings nur zu einem unnötigen Durcheinander führen würde.

Wer Pixel sieht, sitzt zu nah!

Wer sich nun für eine bestimmte oder zumindest ungefähre Bildschirmgröße entschieden hat, über die Hintergründe der Auflösung Bescheid weiß, sich aber dennoch unsicher ist, der sollte seinen Favoriten im gut sortierten Fachhandel aus der Nähe betrachten. Wenn möglich, wählt man vor Ort den individuellen Abstand, der in etwa mit den räumlichen Gegebenheiten zu Hause übereinstimmt. Denn auch wenn die menschliche Wahrnehmung im

Grunde bei uns allen genauso funktioniert, sieht doch jeder Mensch aufgrund der individuellen Beschaffenheit und Funktionalität seiner Augen auf ganz unterschiedliche Weise. Wenn man nun im TV-Fachmarkt vor seinem neuen Lieblings-TV steht, ist letztlich nur eines entscheidend: Wer Pixel sieht, ist zu nah dran.

Jetzt kann man entweder überlegen, die Couch bis in den letzten Winkel seines Wohnzimmers zu schieben, eine Wand wegzureißen oder aber sich für eine Nummer kleiner entscheiden. Denn je größer der TV, je größer sind physikalisch gesehen auch die einzelnen Bildpunkte/Pixel. Bei jeglichen Displayarten, egal ob nun Smartphone, Tablet, PC-Monitor oder Fernseher, wird der Gesamtbildeindruck maßgeblich durch die PPI/Punktichte bestimmt. Je höher der PPI-Wert (PPI = Pixels per Inch/Pixel pro Zoll) eines Displays, desto schärfer und feiner wirkt das Bild. So bietet beispielsweise ein 12 Zoll großes Display mit FullHD Auflösung die gleiche Bildschärfe wie ein 24 Zoll großes Display in UHD-Auflösung.

Wie lautet die Faustregel?

Zur Vielfalt der Geräte und Auflösungen gibt es naturgemäß auch nicht nur eine Faustformel. Im Full-HD-Bereich ist folgende Empfehlung sinnvoll:

Betrachtungsabstand = Bildschirmdiagonale mal 1,5.

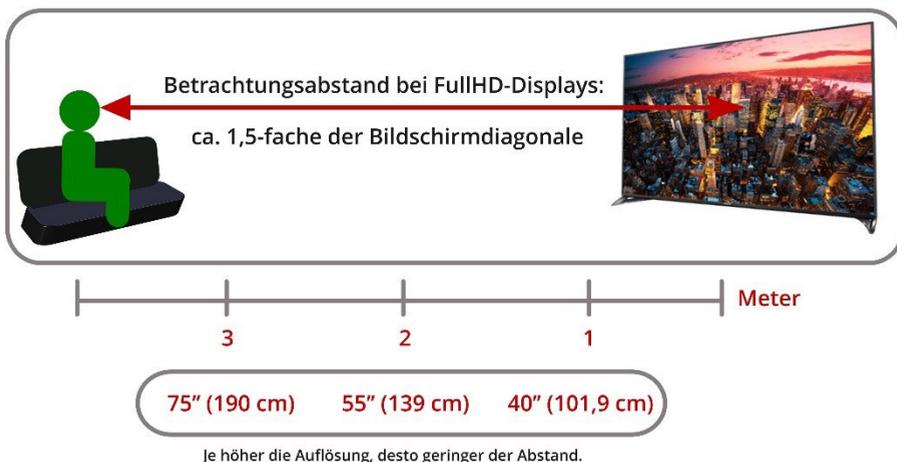


Abbildung 63: Betrachtungsabstand mit Faustformel

Bei einem FullHD-Fernseher mit einer Bildschirmdiagonale von 65 Zoll wären das in etwa zweieinhalb Meter ($65 \text{ Zoll} / 165 \text{ cm} \times 1,5 = 247,5$). In der Analogtechnik (SD) lag der Faktor der oben genannten Faustformel bei 2

bis 3. Diese Werte können gefahrlos aus dem kollektiven Gedächtnis gestrichen werden, es sei denn, man verfügt über einen Flachbildschirm aus dem letzten Jahrtausend. Auch ist der theoretisch beste Sitzabstand von rund einem Meter zu einem UHD-Display mit einer Bildschirmdiagonale von 55 Zoll (139 Zentimeter) auch ziemlich theoretisch.

Mittelwert und persönlicher Eindruck

Aller grauen Theorie zum Trotz lautet deshalb der BUROSCH-Praxistipp: Wählen Sie den Sitzabstand einfach so, wie er Ihnen am besten zusagt und wie es Ihre Räumlichkeiten zulassen. Messen Sie im Vorfeld genau aus, testen Sie vor dem Kauf, lassen Sie sich nichts aufschwätzen und entscheiden Sie gemeinsam.

Bildeinstellungen/Kalibrierung

„In der Kunst der Farbe sind nicht nur exakte Tonstufen, sondern oft unmerkbare Übergänge, dem Glissando in der Musik vergleichbar, wichtige Träger eines bestimmten Ausdruckes.“

Johannes Itten¹⁷

Auch wenn das menschliche Auge Farbinformationen schlechter verarbeiten kann als die Informationen über Hell und Dunkel, so ist doch die Farbe mehr als nur Licht. Sie ist Harmonie, Ausgewogenheit, Kunst - und nicht zuletzt liegt ihre Kraft im Detail, das ausschließlich durch die Farbe selbst erkannt werden kann. Wie helfen uns nun die Physik und moderne Technologien, diese Sinneseindrücke in ein vielfältiges und doch einheitliches Erlebnis zu verwandeln?

Helligkeits-Farbigkeits-Farbmodelle

Was für den einen Betrachter ein sattgrüner Rasen ist, bedeutet für einen anderen Menschen knalliges „Giftgrün“ oder vielleicht sogar nur die Farbe, die er als solche definiert. Die menschliche Wahrnehmung kennt nur Zirka-Werte, individuelle Empfindungen, vage Schätzungen. Erst durch die Technik wird aus einem subjektiven Farbeindruck eine messbare Größe, die für eine einheitliche Darstellung steht.

So wird der Farbeindruck eines Videobildes durch die Chrominanz bestimmt. Alte Schwarz/Weiß-Monitore wurden früher auch als monochrom (einfarbig) bezeichnet. Im Umkehrschluss bedeutet Chrominanz nichts anderes als Farbheit. Dabei handelt es sich um konkrete Werte für die Farbsättigung und den Farbton. Neben dem Signal mit Informationen über die Farbart (Chrominanz-Signal) wird parallel das Signal für die Helligkeit (Luminanz-Signal) übertragen.

Wie bei der menschlichen Wahrnehmung wird auch in allen Fernseh- und Videosystemen die Farbinformation über das Chrominanz-Signal mit reduzierter Bandbreite gegenüber der Luminanz übertragen, da wir eben Helligkeit besser wahrnehmen als Farbe. Erst beide Signale gemeinsam liefern umfassende Informationen über das Farbbild im sogenannten Helligkeits-Farbigkeits-Modell. Allerdings würde ein einziges Farbsignal allenfalls für

¹⁷ Schweizer Maler, Kunsttheoretiker und Kunstpädagoge (1888-1967)

keine Verwendung mehr, da sich auch hier für das YUV-Farbmodell entschieden wurde. Ähnlich verhält es sich mit dem YDbDr-Farbmodell. Zu den wichtigsten zählen deshalb das digitale YCbCr, sein analoges Gegenstück sowie das YPbPr-Farbmodell, welches für die analoge Übertragung von Videosignalen aus digitalen YCbCr-farbkodierten Quellen verwendet wird. Die folgende Abbildung zeigt alle Helligkeits-Farbigkeits-Farbmodelle auf einen Blick.

Farbmodell	Anwendung	Normen, Standards, Geräte
YUV	analog	PAL/NTSC Composite Video, S-Video
YCbCr	digital	PAL/NTSC und CCIR-601-Standard JPEG, MPEG/DVB, DVD, CD
YPbPr	analog	per Component-Video-Anschluss DVD/DVB Videorekorder, Spielkonsolen, Flachbildschirme
YDbDr	analog	ausschließlich für SECAM
YIQ	analog	ausschließlich für NTSC (bis 1970er Jahre)

Abbildung 65: Helligkeits-Farbigkeits-Farbmodelle

Display-Kalibrierung (CIE 1931/1964)

Im Gegensatz zum Helligkeits-Farbigkeits-Farbmodell wird für die Kalibrierung ebenfalls das bereits beschriebene RGB-Farbmodell verwendet, in dem die drei Primärfarben (Rot, Grün, Blau) im Mittelpunkt stehen. Wie bereits erwähnt, ist die menschliche Farbwahrnehmung rein subjektiver Natur. Entsprechend mussten mit der Entwicklung von Farbtechnologien bestimmte Farben als Referenzwerte festgelegt werden. Bereits im Jahre 1931 wurde eine Normfarbtafel entwickelt und von der Internationalen Beleuchtungskommission (Commission internationale de l'éclairage: CIE) in einem Farbbeschreibungssystem definiert: dem CIE 1931.

Auch heute noch stellt das CIE 1931 eine international vereinbarte Methode der Farbkennzeichnung dar, um die menschliche Farbwahrnehmung und die physiologisch farbige Wirkung einer wahrgenommenen Strahlung (Farbvalenz) in Relation zu setzen. Sie basiert auf der additiven Farbmischung.

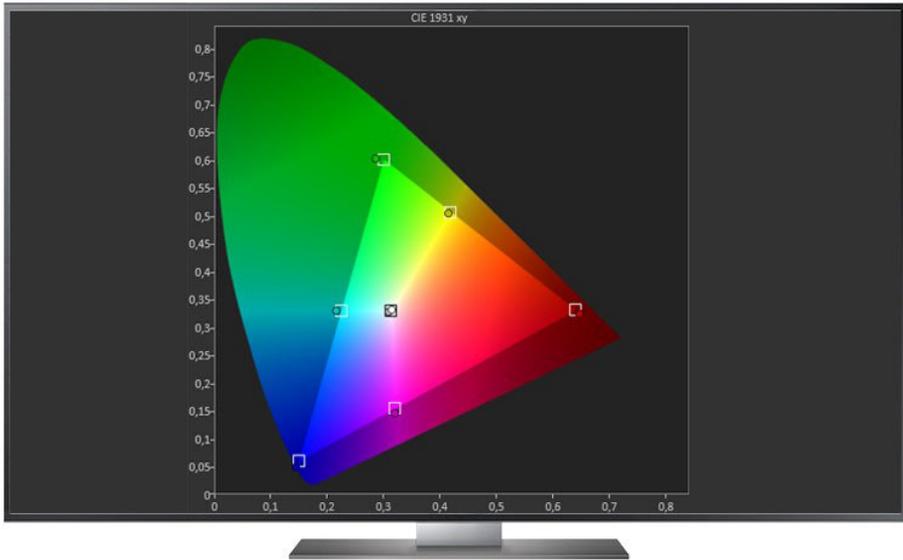


Abbildung 66: Farbsegel CIE 1931

Deshalb wird dieses wahrnehmungsbezogene System auch als CIE-Normalvalenzsystem bezeichnet, das die Gesamtheit aller wahrnehmbaren Farben umfasst. Im Zusammenhang mit den Farbraumkoordinaten sind auch die Bezeichnungen Yxy-Farbraum oder CIE-Yxy oder aber Tristimulus-Farbraum (im englischsprachigen Bereich) gebräuchlich.

Doch wenn Farbe lediglich eine subjektive Wahrnehmung ist, wie wurde daraus eine allgemeingültige Norm? Um eine Vereinheitlichung der Farben zu bewirken, wurden bereits in den 1920er Jahren mehrere Beobachter für die Studien hinzugezogen. Dabei wurde den Beobachtern eine vorgegebene Farbfläche mit einem Sichtfeld von 2 Grad mittig zur Hauptblickrichtung relativ dicht vor die Augen gehalten. Abgeleitet wurde diese Methode aus der Erkenntnis, dass diese Zone in etwa der höchsten Dichte der farbempfindlichen Rezeptoren im Bereich der Netzhaut entspricht. Allerdings nimmt erst ab einem Winkel von 10 Grad die Zapfendichte im Areal der besten Farbsichtigkeit im Auge ab. Deshalb wurde im Jahre 1964 auf Grundlage des erweiterten Sichtfeldes (10 Grad) das CIE(1964)-Farbsystem entwickelt, wobei die Farbfläche nicht mehr der Größe einer 1-Euro-Münze hatte, sondern der eines A4-Blattes in normalem Betrachtungsabstand von etwa 30 Zentimetern entsprach.

Diese Farbfläche bestand in beiden Versuchsreihen aus einem geteilten Schirm, auf dessen A-Seite eine bestimmte Farbe und auf dessen B-Seite drei Strahler in den Primärfarben Rot, Grün und Blau projiziert wurden, die als Maß der auf der A-Seite vorgegebenen Lichtfarbe benutzt wurden. Dabei

war zwar die Helligkeit variabel, aber nicht die definierte Farbe, deren Wellenlänge mithilfe von Farbfiltern festgelegt wurde. Die Beobachter sollten ihrem subjektiven Farbempfinden nach die verschiedenen Farben, die durch Veränderungen der Helligkeitswerte der drei Lichtquellen (B-Seite) entstanden, dem jeweils vorgegebenen Farbeindruck zuordnen.

In der Entwicklungsphase zum Ende der 1920er Jahre verwendeten W. David Wright und John Guild für die Erzeugung der Spektrallinien Quecksilberdampf lampen und Interferenzfilter und legten mit deren Hilfe die Farbwerte 546,1 nm (grün) und 435,8 nm (blau) fest. Da sich bei der Farbe Rot (700 nm) kleine Abweichungen der Wellenlänge im Ergebnis weit weniger bemerkbar machen, konnte auf Glühlampen mit einem Farbfilter zurückgegriffen werden. Wobei es in diesem Zusammenhang zu einem anderen Problem kam: Im Bereich der Grün-Blau-Einstellungen konnten von den Beobachtern einige Testfarben nicht vollends übereinstimmend festgelegt werden. Deshalb musste auf der einen Seite rotes Licht zugeführt und auf der anderen Seite weggenommen werden, was im Protokoll als negativer Rot-Wert festgehalten wurde.

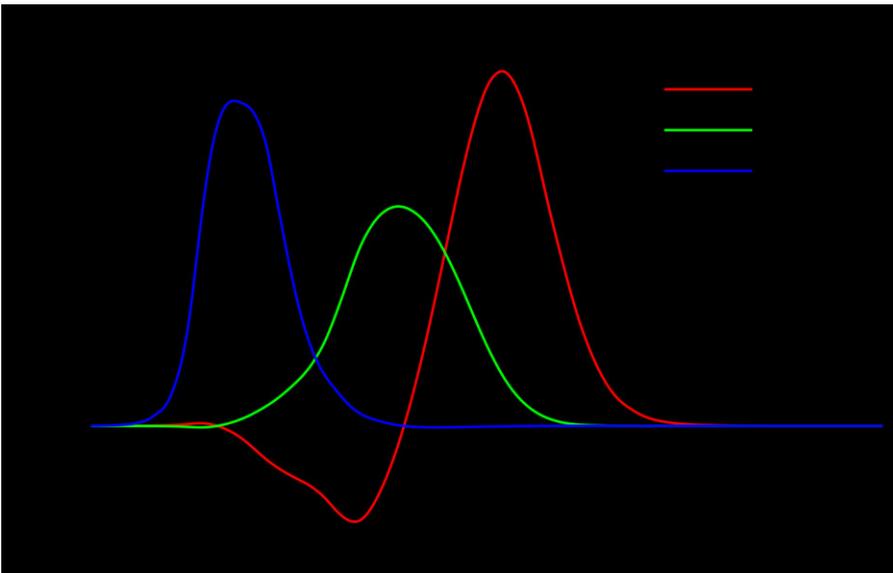


Abbildung 67: negativer Rot-Wert

Grundsätzlich ist allerdings kein Farbdisplay oder Projektor in der Lage, rote Farbe mit negativer Intensität zu erzeugen. Deshalb können Farben im Grün-Blau-Bereich bisweilen nur ungesättigt (zu blass) dargestellt werden (Abbildung 67). Mithilfe der Dreifarben-theorie gelang somit die numerische Erfassung der vom Menschen wahrnehmbaren Farbreize. Auch wenn die

Hufeisenform des CIE-Farbsegels vom Grunde her der nichtlinearen physiologischen Verarbeitung im menschlichen Auge entspricht, können mit den drei Primärfarben nur die Farbreihe technisch wiedergegeben werden, die nach dem Gamut-Prinzip innerhalb des abgebildeten Dreiecks (Abbildung 66) liegen, wobei sich dieser Gamut im Laufe der Zeit vergrößerte und damit heute einen weitaus größeren Farbraum gemäß Rec.2020 zulässt.

Photometrische Größen und Einheiten

Absolute Helligkeit, Beleuchtungsstärke, Brillanz der Strahlung, Lichtmenge, Lichtstrom, spezifische Ausstrahlung, Weißgrad ... all das sind Begriffe im Zusammenhang mit dem Licht. Wie für die Farbwahrnehmung mussten auch für die Helligkeitswahrnehmung einheitliche Größen und Einheiten gefunden werden, deren Basis von jeher die Lichtstärke war.

Die internationale Beleuchtungskommission (CIE) legte vor der physiologisch erstellten Farbkennzeichnung (Normvalenzsystem/CIE 1931) auch einheitliche Werte zur Lichtmessung fest (1924). Dazu wurde in einem ähnlichen Beobachter-Verfahren der sogenannte Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ definiert, der den objektiven Vergleich einer Lichtquelle – unabhängig vom subjektiven Sinneseindruck und den sich verändernden Umfeldbedingungen – ermöglicht. Allerdings erfolgte erst im Jahre 1972 die Empfehlung zur Anwendung durch das Internationalen Komitee für Maß und Gewicht (CIPM).

Fast ebenso lange dauerte die Bestätigung des spektralen Hellempfindlichkeitsgrades $V'(\lambda)$ für das skotopische Sehen mit dunkeladaptiertem Auge, das allgemein als Nachtsehen bekannt ist. Während die CIE die Normwerte bereits Anfang der 1950er Jahre veröffentlichte, wurden sie erst im Jahre 1976 von der CIPM bestätigt.

Auf der 9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) wurde im Jahre 1948 die Lichtstärke einheitlich definiert und die genormte Bezeichnung Candela (lat.: Kerze) beschlossen. Dieser Name war bereits seit Mitte des 18. Jahrhunderts geläufig, ging er doch auf Versuche zurück, die mit Kerzen durchgeführt wurden, der bis dato einzigen relativ konstanten künstlichen Lichtquelle. Daraus begründen sich die heutigen photometrischen Größen und Einheiten zur Messung von Lichtintensitäten beziehungsweise der Helligkeit:

Größe	SI-Einheit	Definition
Lichtstrom Φ_v	Lumen (lm)	Strahlungsleistung einer Lichtquelle
Lichtmenge Q_v	Lumensekunde (lms)	Strahlungsenergie einer Lichtquelle
Lichtstärke I_v	Candela (cd)	Lichtstrom pro Raumwinkel
Leuchtdichte L_v	Candela pro Quadratmeter (cd/m^2)	Lichtstärke einer Lichtquelle
Beleuchtungsstärke E_v	Lux (lx)	Lichtstrom pro beleuchtete Fläche
spezifische Lichtausstrahlung M_v	Lux (lx)	emittierter Lichtstrom

Der an jedes Symbol angehängte Index v bedeutet: visuell = sichtbares Licht im Spektrum 380 bis 780 nm

Abbildung 68: Photometrische Größen und Einheiten

Farbtemperatur

Die umgangssprachlich synonym verwendeten Begrifflichkeiten in Bezug auf kalte und warme Farbtöne haben nichts mit dem Maß zur quantitativen Bestimmung des jeweiligen Farbeindrucks einer Lichtquelle zu tun. Auch die Parallelen zum Wasserhahn, bei dem die Farbe Blau für kalt und Rot für warm steht, sind hier fehl am Platz. Die physikalisch definierte Eigenschaft der Oberfläche einer Lichtquelle bestimmt ausnahmslos die in diesem Kontext gemeinte Farbtemperatur. Dabei wird grundsätzlich zwischen künstlichen Lichtquellen und dem Tageslicht unterschieden (vgl. dazu Kapitel „Farbwahrnehmung“).

Vereinfacht ausgedrückt, entsteht Farbe, da alle angestrahlten Körper in der Regel nur eine bestimmte Menge der elektromagnetischen Wellen absorbieren.

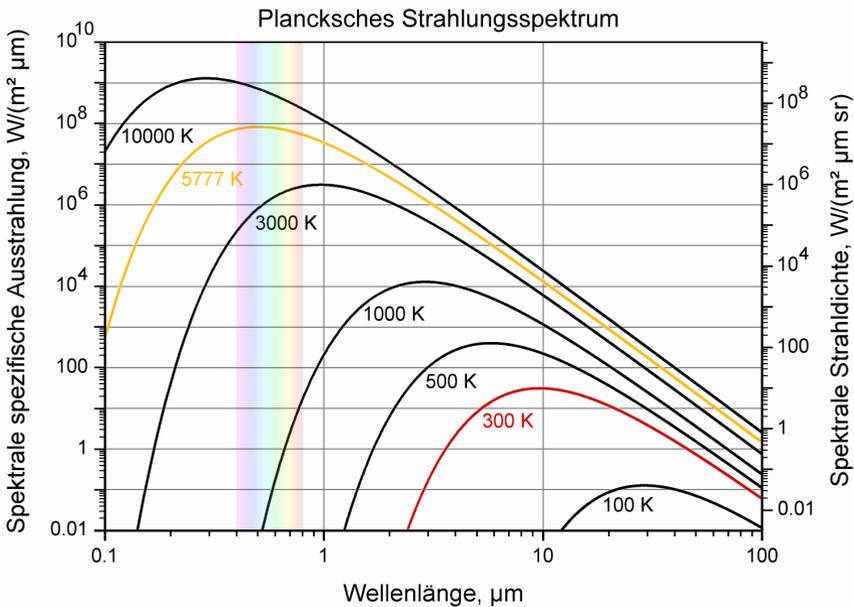


Abbildung 69: Planck'sches Strahlungsspektrum (Wikimedia Commons)

Um die Farbtemperatur konkret definieren zu können, wurde der sogenannte „schwarze Körper“¹⁹ oder auch „plancksche Strahler“ als Ideal- beziehungsweise Referenzstrahlungsquelle entwickelt. Er ist (theoretisch) in der Lage, elektromagnetische Strahlen aller entsprechenden Wellenlängen zu absorbieren und vollständig zurückzusenden. In der praktischen Forschung im Zusammenhang mit den idealen Eigenschaften eines schwarzen Strahlers wurde beispielsweise eine berußte Oberfläche gewählt, die über einen Absorptionsgrad von ungefähr 0,96 im sichtbaren Spektralbereich verfügt. Auch die Öffnung eines Hohlraumstrahlers oder eines langen Sacklochs wurden verwendet. Doch der „schwarze Körper“ bleibt ein Ideal und dient lediglich als Basis für theoretische Überlegungen (insbesondere im Bereich der Quantenphysik). Es ist bis heute nicht gelungen, einen Körper herzustellen, dessen Material elektromagnetische Wellen vollständig und frequenzunabhängig absorbieren kann.

Die Farbtemperatur wird grundsätzlich in Kelvin (K) angegeben. Dabei handelt es sich um die SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, das heißt, mit ihr werden Temperaturdifferenzen angegeben. Neben Grad Celsius gehört Kelvin zu den gängigsten Temperatureinheiten (0 °C entsprechen 273,15 K).

¹⁹ Den Begriff prägte Ende des 19. Jahrhunderts Gustav Kirchhoff (deutscher Physiker)

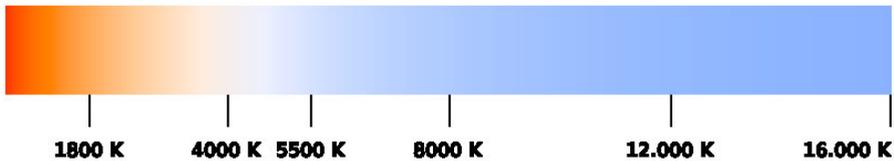


Abbildung 70: Farbtemperatur nach dem planckschen Strahlungsgesetz (Wikimedia Commons)

Das sogenannte „weiße“ Licht ist die Summe aller Wellenlängen des sichtbaren Lichtes im Frequenzbereich zwischen ca. 400 und 700 Nanometer. Je kürzer die Wellenlänge, desto höher wird die Farbtemperatur und mit ihr der Blauanteil (Abbildung 70). Der Rotanteil besteht im Gegensatz aus den längeren Wellenlängen (600 bis 700 nm). So ist also die Farbtemperatur (Kelvin) vor allem von der Wellenlänge des Lichtes beziehungsweise der Beleuchtungsquelle abhängig. Aber auch das unterschiedliche Absorptionsverhalten der einzelnen Materialien kann die Farbtemperatur beeinflussen.

In der Film- und Fernsehtechnik sollten die dargestellten Farben bestenfalls dem natürlichen Farbeindruck entsprechen. Der grüne Rasen eines Fußballfeldes sollte demnach auch tatsächlich grün und nicht braun sein, die Hautfarbe der Nachrichtensprecherin nicht an Sonnenbrand oder Blutarmut erinnern. In der folgenden Abbildung ist drei Mal dasselbe Motiv mit unterschiedlichen Farbtemperaturen dargestellt.



Abbildung 71: Vergleich der Farbtemperatur/Farbbalance

Was hier etwas übertrieben wurde, beschreibt im Grunde die Basis sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe von Bild- und Videomaterial in Bezug auf die Farbtemperatur. So werden bei der Bildaufnahme sogenannte Konversionsfilter vor das Kameraobjektiv gesetzt, um die Farbtemperaturen zu verändern. Denn nicht immer steht das neutrale Sonnenlicht zur Verfügung. Halogenstrahler beispielsweise geben ein gelbliches Licht ab. Um diesen Gelbstich wieder auszugleichen, müssen die Blauanteile verstärkt werden. Im Umkehrschluss kann ein blautichiges Bild mit gelb-orangen Tönen kompensiert werden.

So, wie also Farben künstlich erzeugt werden können, kann auch das Licht beziehungsweise die von ihm bestrahlten Objekte in der Farbtemperatur verändert werden. Eine Anpassung der unterschiedlichen Farbgemische bezogen auf die unterschiedlichen Lichtverhältnisse kann mit dem sogenannten Unbunt- oder Weißabgleich durchgeführt werden. Dabei werden technische Geräte zur Bildwandlung so justiert, dass sich unabhängig von der Art und Weise der Bestrahlung bei einer weißen Bildvorlage tatsächlich die gleichen elektronischen Signale ergeben.

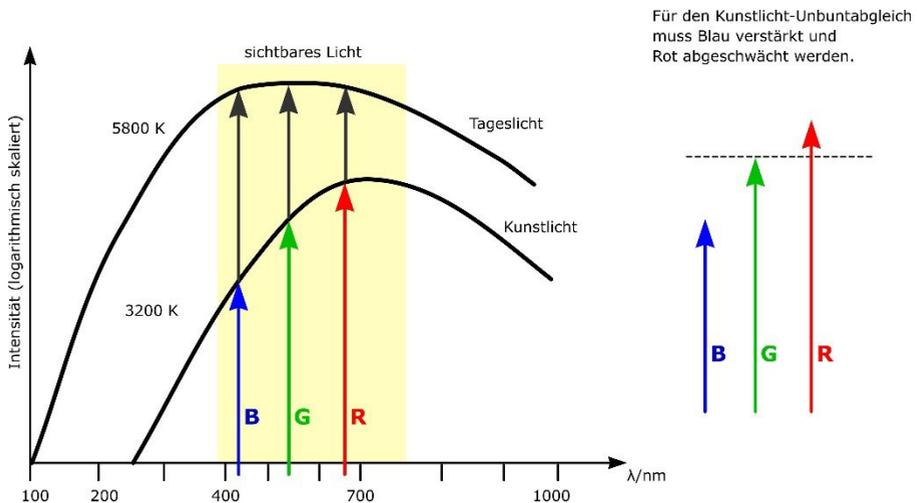


Abbildung 72: Unbuntabgleich bei Kunstlicht

Unbunt- oder Weißabgleich

Denn ein weißes Blatt Papier ist nur für das menschliche Auge immer weiß – egal wie und womit es beleuchtet wird. Diese sogenannte chromatische Adaption muss in technischen Geräten quasi simuliert werden. Das Ziel des Unbunt- oder Weißabgleichs ist es, die unterschiedlichen Farbtemperaturen in wechselnden Beleuchtungssituationen anzupassen und somit eine Farbneutralität herzustellen, die der natürlichen Beleuchtung durch das Sonnenlicht nahe kommt. Deshalb wird dieses Verfahren synonym auch als Neutralabgleich bezeichnet. Beim automatischen Weißabgleich in digitalen Foto- und Videokameras wird also eine Einstellung ermittelt, die sich auf die „weibeste“ Bildfläche bezieht (AWB: Automatic White Balance). Dabei wird sich an Bildbereichen orientiert, die gleiche Rot-, Grün- und Blauanteile besitzen, denen dann ein neutrales Grau zugewiesen wird.

Allerdings hat dieses Verfahren in den meisten Fällen einen Schwachpunkt, wenn nämlich das Bildmotiv in einem Mischlicht aufgenommen werden soll. Das menschliche Auge hätte kein Problem, ein Objekt zu erkennen, das sowohl von Kunstlicht als auch beispielsweise von einem rötlichen Sonnenlicht am Abend angestrahlt wird. Bei solchen Mischlichtsituationen haben hingegen die meisten Aufnahme- und Wiedergabegeräte ihre Sorgen, da sie sich lediglich an die Farbtemperatur einer Beleuchtungsquelle orientieren können. Kameras haben hier zusätzliche Einstellparameter (z.B. Tageslicht, Kunstlicht, Bewölkt, Innen, Blitz). Im Menü vieler TV-Geräte ist ebenfalls die Option des Weißabgleichs gegeben (Abbildung 73). Allerdings sollte diese mit Vorsicht betrachtet werden, wie in Kapitel „Professionelle Bildeinstellung“ noch ausführlich erläutert wird.

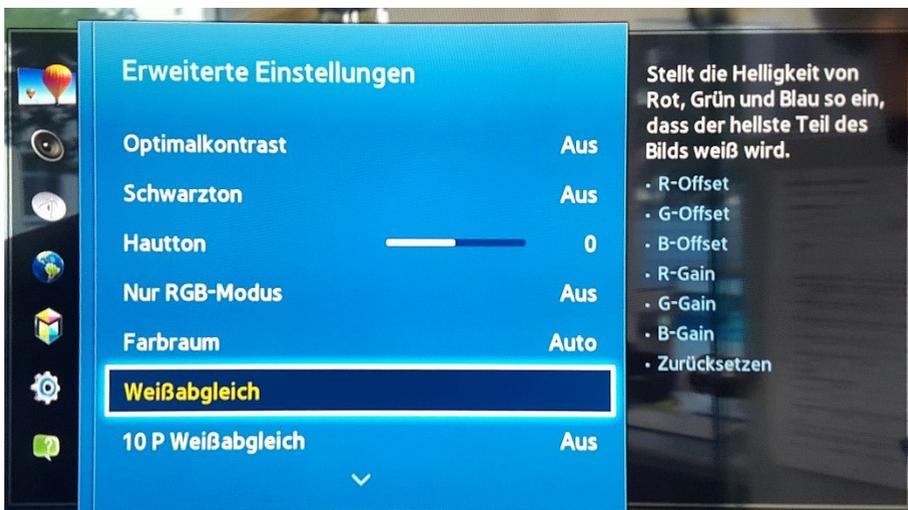


Abbildung 73: Weißabgleich über TV-Menü (Samsung)

Wie bereits erwähnt, sind selbst ultrahochoauflösende Bilder nur so gut, wie das Gerät, das sie wiedergibt. Deshalb sollte auch an jedem Monitor oder aber Fernseher ein Weiß- beziehungsweise Unbuntabgleich durchgeführt werden. Hierzu gibt es neben den manuellen Einstellungen am Gerät auch verschiedene professionelle Methoden, die im Rahmen der Kalibrierung möglich sind. Diese werden in den nächsten Kapiteln eingehend erläutert.

Eine ausgezeichnete und vor allem kostengünstige Variante kann mithilfe eines weißen Motivs durchgeführt werden, das bestenfalls über die gesamte Bildschirmfläche reicht. Dazu kann über den Browser eines internetfähigen Fernsehers gegebenenfalls ein Testbild heruntergeladen oder beispielsweise auf einen Nachrichtenkanal mit einem Ticker im unteren Bildrand zurückgegriffen werden.