



Von HDTV zu UHD TV

Die Auflösung der Fernsehbilder geht weiter

Nachdem wir uns jahrzehntelang mit Fernsehbildern auf der Grundlage des analogen PAL-Verfahrens zufrieden gaben (575 aktive Zeilen mit jeweils ca. 350 Bildpunkten), wurde mit der Entwicklung des Digitalfernsehens das Tor zu höheren Zeilenzahlen mit steigender Bildpunktzahl aufgestoßen. Das erste digitale TV-Format hieß SDTV (Standard Definition TV), abgekürzt mit 576i. Es setzt zunächst nur das herkömmliche PAL-Signal in meist 720 x 576 Pixel (Pixel = Picture Element = Bildpunkt) um. Man hat es also mit 576 Zeilen zu tun. Das i steht für „interlaced“, d. h. aufeinander folgende Halbbilder jeweils mit geraden und ungeraden Zeilennummern (Zeilensprungverfahren). Details findet man unter [1]. Höher auflösende digitale TV-Formate beginnen mit 720p, d. h. 720 Zeilen und 1280 Pixel/Zeile bei progressivem Bildaufbau (Vollbilder) und einem Bildseitenverhältnis von 16:9.





Das Auge. Ohne die Zuhilfenahme von optischen Instrumenten wird das maximale Unterscheidungsvermögen des menschlichen Auges für feine Strukturen (Auflösung) von der Stelle auf der Netzhaut mit der höchsten Dichte an Sehzellen (Rezeptoren) bestimmt. Diese wird „Gelber Fleck“ genannt und befindet sich gegenüber der Augenlinse bzw. Pupille (Bild 1) neben der Stelle auf der Netzhaut, an der die Sehreize über den Sehnerv zur Weiterverarbeitung in das Gehirn ausgeleitet werden (Blinder Fleck) (Bild 2). In der Mitte des Gelben Flecks befindet sich die Sehgrube (Fovea centralis), wo die Rezeptorendichte für farbiges Licht am größten ist. Dadurch ist hier die Auflösung des Auges bzw. die Sehschärfe in der Hauptsehrichtung des Menschen maximal.



Bild 1: Die runde Pupille des menschlichen Auges ist eine größenveränderliche Öffnung, durch die das von der Pupille fokussierte Bild auf die Netzhaut fällt. Quelle: Wikipedia, Steffen Häuser

Winkel-Sehschärfe. Das Vermögen, zwei Objekte gerade noch getrennt wahrzunehmen, wird als Winkel-Sehschärfe (angulare Sehschärfe) bezeichnet. Sie wird in Winkelminuten ($60' = 1^\circ$) gemessen. Beim Menschen beträgt die Winkel-Sehschärfe im Bereich der Fovea $0,4'$ bis $1,0'$, was einer Unterscheidbarkeit von Objekten mit 1,2 bis 3 mm Durchmesser auf 10 m Entfernung entspricht.

Aus einem typischen Sehabstand von 3,5 m zu einem HD-Bildschirm mit 1 m Breite (entspricht bei einem Seitenverhältnis von 16:9 einer Bildschirmdiagonalen von ca. 115 cm) sind demnach Pixel, die kleiner als 0,4 bis 1 mm sind, nicht mehr unterscheidbar. Bei einem solchen Bildschirm mit 1920 Pixel pro Zeile ist die Pixelbreite ca. 0,5 mm, was gut mit der angenommenen Entfernung zum Bildschirm harmonisiert. Eine Steigerung der Bildpunktzahl würde vom Betrachter bei diesen Größenverhältnissen gar nicht mehr wahrgenommen werden und wäre deshalb nutzlos.

Hochauflösende Bildschirme. Unter der Annahme einer Beibehaltung der Pixelgröße eines standardaufgelösten TV-Bildes (Standard Definition TV: SDTV), ergeben sich für die höher auflösenden Verfahren die Größenrelationen gemäß Bild 3. Ein SDTV-Bildschirm von 1 m Breite wäre in der gleichen Technologie als 4K-UHD-Display über 5 m breit, was einen Betrachtungsabstand von 15 bis 20 m erfordern würde. Das ist in typischen deutschen Wohnzimmern nicht möglich. Man sieht daran, dass erst die Fortschritte in der Displaytechnologie zu immer kleineren Pixeln und dadurch einer höheren Pixeldichte HD-Bildschirme mit praxisingerechten Abmessungen ermöglichten.

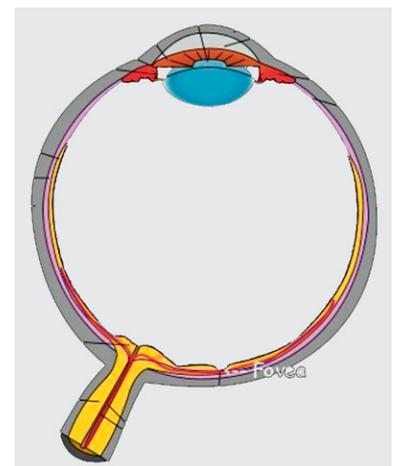


Bild 2: Gegenüber der Lichteinfallöffnung des Auges (Pupille) befindet sich auf der Netzhaut die Stelle mit der höchsten optischen Auflösung (Fovea). Quelle: Wikipedia

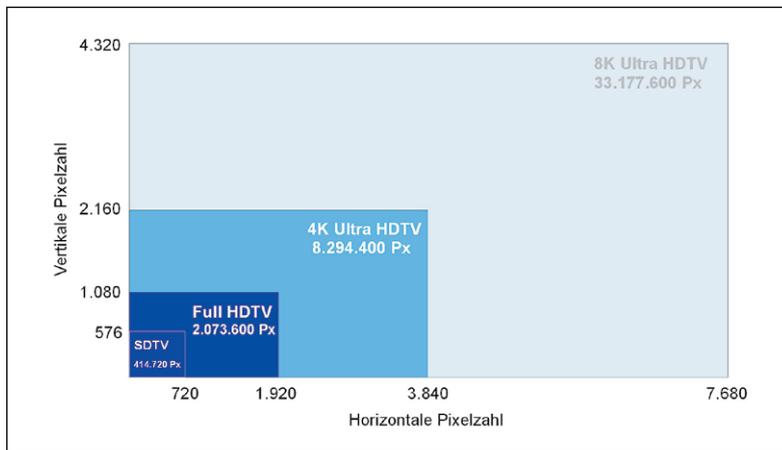


Bild 3: Unter der Voraussetzung gleicher Pixelgröße ergeben sich für die verschiedenen Displaytypen die gezeigten Bildgrößenrelationen.

In Bezug auf Detailreichtum und Bildschärfe brachte das hochauflösende digitale Fernsehen einen enormen Leistungssprung. Das allgemein als Full HD bezeichnete Bildschirmformat von 1920 horizontalen und 1080 vertikalen Bildpunkten (insgesamt 2.073.600 Bildpunkte) wird auch „2K-Format“ genannt (den knapp 2000 horizontalen Bildpunkten entsprechend). Wie vorstehend dargelegt, genügen Full-HD-Bildschirme bis 150 cm Höhe den Schärfeforderungen eines normalen menschlichen Betrachters aus einem Betrachtungsabstand ab 3 m.

Nach einer unverbindlichen Faustformel gilt, dass für einen optimalen Bildeindruck bei HD der Betrachtungsabstand ca. der dreifachen Bildschirmhöhe entsprechen sollte und bei UHD der 1,5fachen. Zwar können bei einem geringeren Abstand in HD- oder UHDTV-Formaten mehr Details wahrgenommen werden, aber das Zuschauen kann auch schnell anstrengend werden, da die gesamte Bildfläche nicht mehr ohne ausgeprägte Augen- oder gar Kopfbewegungen scharf zu erfassen ist. Zudem fallen Bildfehler wie z. B. Kompressionsartefakte, Bewegungsunschärfen usw. deutlicher auf. Für ein „Kinofeeling“ kann man sich großen UHD-Bildschirmen aber durchaus bis zu einem Abstand in der Größenordnung der Bildschirmdiagonale annähern.

Das Gefühl für Gegenwart und Tiefe ist bei den meisten Menschen optimal bei einem horizontalen Blickwinkel von 100°. Das haben bereits 1980 Hatada/Sataka/Kusaka durch psychophysikalische Untersuchun-

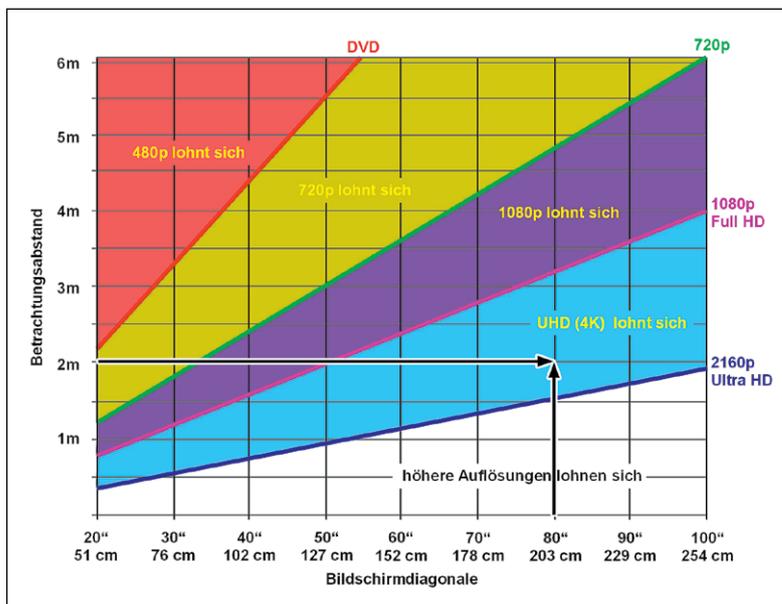


Bild 4: Die Grafik lässt abschätzen, ab welchem Bildschirmabstand des Betrachters von einem Bildschirm mit einer bestimmten Diagonale sich Full HD und Ultra HD lohnen, um die Pixelstruktur nicht mehr wahrzunehmen. Quelle: HDTV-Forum Schweiz

gen mit vielen Probanden ermittelt. Dies entspricht einem ungefähren Abstand vom 1,5fachen der Bildschirmbreite. Sicher kann man aber sagen, dass der als optimal empfundene Bildschirmabstand eine vom individuellen Zuschauer höchst subjektiv empfundene Größe mit erheblicher Schwankungsbreite ist.

Bild 4 lässt abschätzen, ab welchem Abstand des Betrachters von einem Bildschirm mit einer bestimmten Diagonale sich Full HD und Ultra HD lohnen. Das mit Pfeilen eingezeichnete Beispiel eines im Abstand von 2 m vor einem 2-m-Bildschirm sitzenden Zuschauers lässt erkennen, dass er UHD benötigt, um die Pixelstruktur nicht mehr wahrnehmen zu können. In 4,5 m Abstand würde dafür Full HD ausreichen. Dennoch ist UHD auch für diesen Fall ein Qualitätsgewinn, weil damit neben der Pixeldichte weitere, die Bildqualität beeinflussende Parameter verbunden sind. Die Pixeldichte eines 16:9-UHD-Displays mit 2 m Diagonale liegt bei etwa 5,3 Pixel/mm².

Auf der Consumer Electronics Show in Las Vegas präsentierte Samsung den Tablet-PC Tablet TabPRO 8.4 mit einer Display-Diagonalen von 8,4" = 21,3 cm und einer Auflösung von 2560 x 1600 Bildpunkten. Das entspricht einer Pixeldichte von 233 Pixel/mm². Ohne Hilfsmittel kann das menschliche Auge auch bei geringstmöglichem Betrachtungsabstand keine Pixel mehr unterscheiden.

UHDTV. Daraus folgt, dass die nächsthöhere Entwicklungsstufe von „4K Ultra High Definition“ mit 3840 x 2160 Bildpunkten (insgesamt 8.294.400 Bildpunkte) aus dem reinen Aspekt der Pixelgröße eigentlich nur für große bis sehr große Bildformate sinnvoll ist. In geräumigen Wohnzimmern mit Platz für entsprechend große Bildschirme oder Videoleinwände kann der Gewinn an Schärfe und Auflösung aber durchaus zum Tragen kommen.

Ultra High Definition wurde im August 2012 von der International Telecommunications Union als ITU-R Recommendation BT.2020 (kurz Rec. 2020) genormt. In Bezug auf die Wahl von Bild- und Tonqualität sowie Datenmenge bestehen große Freiheiten, die auch Raum für eine zukünftige Weiterentwicklung geben. Weitere technische Details findet man unter [2].

Auflösung. Rec. 2020 definiert zwei Auflösungen von 3840 x 2160 und 7680 x 4320 Bildpunkten bei einem Seitenverhältnis von jeweils 16:9 und quadratischen Pixelabmessungen. Bild 5 demonstriert in Ausschnittsvergrößerungen den auflösungsbedingten Schärfenunterschied zwischen SD (720 x 480), dem „kleinen“ HD-Format 1280 x 720, Full HD (1920 x 1080) und 4K-UHD (3840 x 2160).

Bildfrequenz. Die folgenden Bildwechselraten (Bildfrequenz) sieht Rec. 2020 vor: 120p, 60p, 59.94p, 50p, 30p, 29.97p, 25p, 24p, 23.976p. Der Buchstabe p steht hierbei für „progressive“, d. h. bei UHD ist kein Zeilensprungverfahren mehr vorgesehen. Je höher die Bildfrequenz, umso geringer ist die Bewegungsunschärfe bei schnellen Bewegungen im Bild oder, anders ausgedrückt, steigt die Bewegungsauflösung gemessen in Bildern pro Sekunde.



Digitale Darstellung. Rec. 2020 definiert eine Wortbreite von 10 oder 12 Bit pro Abtastwert. Das verringert Quantisierungsfehler und das damit verbundene rauschähnliche Störsignal. 12 Bit Wortbreite ermöglicht 3840 mehr Abstufungen der Farbabtastwerte gegenüber 8 Bit bei Full HD ($2^{12} - 2^8 = 4096 - 256 = 3840$). Hinzu kommt eine extrem erweiterte Palette an Mischfarben und ein erhöhter Dynamikbereich (Spanne zwischen den darstellbaren hellsten und dunkelsten Elementen einer Szene). Das schlägt sich in einer deutlichen Steigerung der Natürlichkeit und Originaltreue des UHD-Bildes nieder.

Farbraum. Auf dem Weg zu immer wirklichkeitsnäheren Bewegtbildern wurde bei UHD die Farbwiedergabe signifikant verbessert. Das UHD-Gamut (der durch ein Dreieck charakterisierte nutzbare Teil des hufeisenförmigen CIE-1931-Farbraums) gemäß Rec. 2020 ist mit 78 % deutlich größer als das Full-HD-Gamut (35,9 %) entsprechend Rec. 709 (Bild 6). Die Umrandung des „Farbhufeisens“ stellt die spektralen Lichter dar (deshalb beschriftet in Wellenlängenwerten von nm). Deren Mischungen finden sich im Inneren. Genauer unter [3]. Der Weißpunkt liegt bei $x_w/y_w=0,3127/0,3290$.

Abtastung. Rec. 2020 legt die Abtastschemata für RGB (Farbkomponenten) und YCbCr (Luminanz und Farbdifferenzkomponenten) gemäß den Farbrunterabtastformaten 4:4:4, 4:2:2 und 4:2:0 fest. Am hochwertigsten ist 4:4:4, weil dabei die Komponenten eines jeden Pixels abgetastet werden, also keine Farbrunterabtastung stattfindet. Im RGB-Farbraum ist wegen des Fehlens eines Luminanzsignals das Abtastschema 4:4:4 obligatorisch. Für die Erzeugung eines Luminanzsignals Y aus den Farbkomponenten werden die Koeffizienten 0,2627 für Rot, 0,6780 für Grün und 0,0593 für Blau vorgegeben.

Upscaling. Bis UHD die Formate 720p und 1080p von der Kamera über die Bildbearbeitung und Übertragung bis zum Bildschirm des Zuschauers vollständig verdrängt hat, wird noch einige Zeit vergehen. Bis dahin muss Full-HD-Programmmaterial künstlich auf UHD hochgerechnet werden. Ohne diesen Upscaling genannten Vorgang ließe sich nur ein Viertel des UHD-Bildschirms ausnutzen. Weil beim Upscaling jeder Full-HD-Bildpunkt in vier UHD-Bildpunkte überführt wird, steigt die Bildauflösung auf das Vierfache (resolution enhancement).

Das Upscaling von Videomaterial übernehmen heute spezielle Hochleistungschips in Echtzeit. Dabei spielen die Algorithmen eine ausschlaggebende Rolle. Am simpelsten ist die Gewinnung der Pixel des Scaler-Ausgabebildes durch Pixelwiederholung nach der Methode des „nächsten Nachbarn“ (nearest neighbor) im Scaler-Eingabebild.

Erheblich bessere Resultate liefert die **bilineare Interpolation**, wo der Funktionswert eines Pixels P des Ausgabebildes durch Interpolation (Approximation als gewichteter durchschnittlicher Abstand) der Funktionswerte vierer benachbarter Pixel des Eingabebildes (Stützstellen) Q_{11} , Q_{12} , Q_{13} und Q_{14} geschätzt wird (Bild 7). Der so gefundene Funktionswert wird durch die Interpolationsfunktion in den Stützstellen exakt wiedergegeben und in den restlichen Punkten immerhin näherungsweise. Das Verfahren der bilinearen Interpolation sei wegen seiner breiten Anwendung beispielhaft beschrieben. Die folgende Herleitung kann im Detail unter [4] nachvollzogen werden.

Wir beziehen uns auf Bild 7 und ermitteln zunächst die Funktionswerte an den Punkten $R_2 = (x, y_2)$ sowie $R_1 = (x, y_1)$ durch Interpolation in x-Richtung aus den Punktpaaren Q_{22} und Q_{12} sowie Q_{21} und Q_{11} .

Gleichung 1
$$f(R_1) \approx \frac{(x_2-x)}{(x_2-x_1)} \cdot f(Q_{11}) + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \cdot f(Q_{21})$$

Gleichung 2
$$f(R_2) \approx \frac{(x_2-x)}{(x_2-x_1)} \cdot f(Q_{12}) + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \cdot f(Q_{22})$$

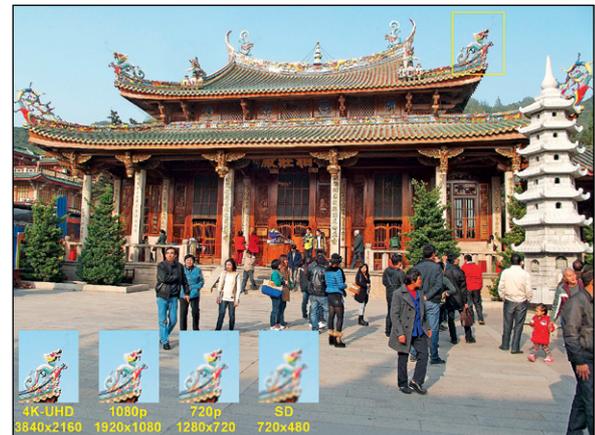


Bild 5: Der gelb umrahmte Bildausschnitt lässt erst in 4K-UHD-Auflösung Details erkennen.

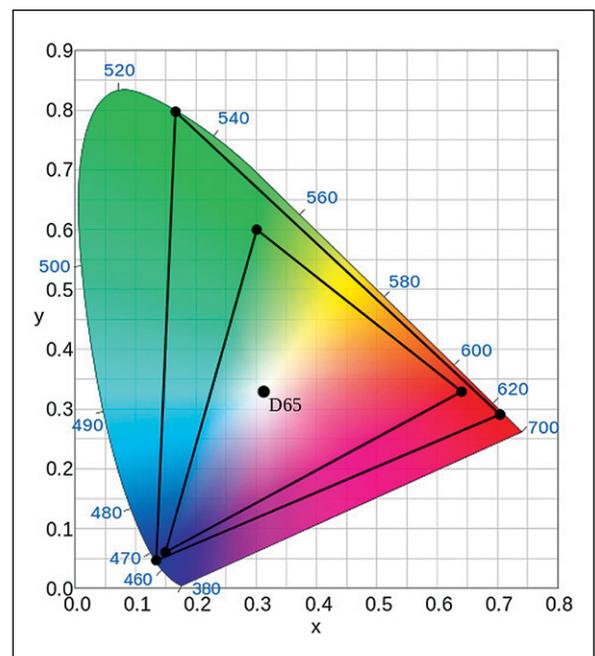


Bild 6: 4K-UHD kann einen deutlich größeren Teil der CIE-Normfarbtafel nutzen, wie das größere Dreieck (4K-UHD-Gamut) gegenüber dem kleineren (HD-Gamut) belegt.

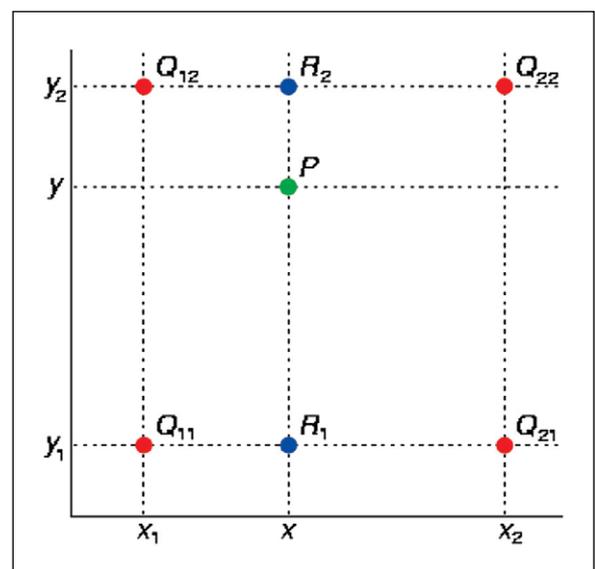


Bild 7: Ein Scaler ermittelt nach der Methode der bilinearen Transformation den Funktionswert eines Pixels P des Ausgabebildes durch Interpolation der Funktionswerte vierer benachbarter Pixel des Eingabebildes (Q_1 bis Q_4).



Als kleinen Test schieben wir R_1 nach Q_{11} und R_2 nach Q_{12} . Mathematisch heißt dies, wir setzen in [Gleichung 1](#) und [Gleichung 2](#) $x = x_1$. Tatsächlich nimmt $f(R_1)$ nun den Funktionswert am Punkt Q_{11} , d. h. $f(Q_{11})$ an, ebenso wird $f(R_2)$ zu $f(Q_{12})$. Entsprechendes passiert, wenn wir $x = x_2$ setzen.

Nun berechnen wir den Funktionswert am Punkt $P = (x, y)$ aus den Funktionswerten an den Punkten $R_1 = (x, y_1)$ und $R_2 = (x, y_2)$ durch Interpolation in y -Richtung.

$$\text{Gleichung 3} \quad f(P) \approx \frac{(y_2 - y)}{(y_2 - y_1)} \cdot f(R_1) + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} \cdot f(R_2)$$

Setzen wir [Gleichung 1](#) und [Gleichung 2](#) in [Gleichung 3](#) ein, ergibt sich der durch bilineare Interpolation aus den Funktionswerten an den Stützpunkten Q_{11} , Q_{12} , Q_{21} und Q_{22} gewonnene Funktionswert am Punkt $P = (x, y)$ ([Gleichung 4](#)).

$$\begin{aligned} f(x, y) \approx & \frac{(x_2 - x)(y_2 - y)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} f(Q_{11}) \\ & + \frac{(x - x_1)(y_2 - y)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} f(Q_{21}) \\ & + \frac{(x_2 - x)(y - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} f(Q_{12}) \\ & + \frac{(x - x_1)(y - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} f(Q_{22}) \end{aligned}$$

Gleichung 4

Auch hier ergeben sich durch Verschieben des Punktes P in die Punkte Q_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2$) die dort vorliegenden Funktionswerte.

[Gleichung 4](#) lässt sich auf einfache Weise anschaulich geometrisch deuten. Wie [Bild 8](#) zeigt, ist der Funktionswert am schwarzen Punkt gleich der Summe der Funktionswerte an den farbigen Punkten, multipliziert mit der gleichfarbigen Fläche, dividiert durch die Gesamtfläche.

Bei einer Vervielfachung der Pixelzahl eines Bildes müssen vom Scaler für jedes Eingabebildpixel 3 zusätzliche Ausgabebildpixel errechnet werden. Für das Upscalen von Full HD (1920 Spalten x 1080 Zeilen) auf 4K-UHD ergeben sich die in [Bild 9](#) dargestellten Verhältnisse. Aus den Pixeln an den Positionen 1/1, 1/2, 2/1 und 2/2 werden die Pixel I1, I2 und I3 interpoliert. So geht es bis zu den Pixeln 1/1919, 1/1920, 2/1919 und 2/1920. Das Abschlusspixel der so neu entstandenen Zeile wird aus 1/1920 und 2/1920 interpoliert.

Die Interpolationsgleichung 4 vereinfacht sich für die 3 Interpolationspunkte I1, I2 und I3 zu [Gleichung 5](#):

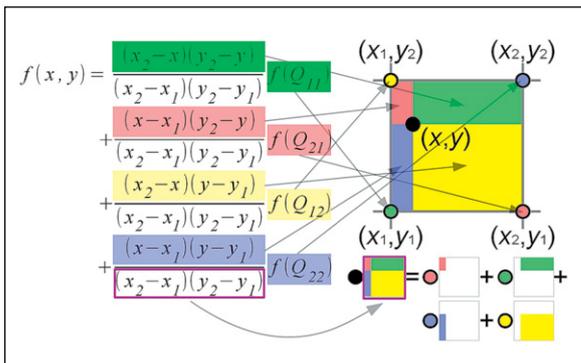


Bild 8: Die allgemeine Interpolationsgleichung der bilinearen Transformation lässt sich anschaulich auf grafische Weise deuten.

$$F(II) \approx \frac{1}{2} [f(x_1, y_2) + f(x_2, y_2)] \quad \text{wegen } y = y_2 \text{ und } x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$F(I2) \approx \frac{1}{2} [f(x_1, y_1) + f(x_2, y_1)] \quad \text{wegen } x = x_1 \text{ und } y = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

$$\text{Gleichung 5} \quad F(I3) \approx \frac{1}{2} [F(II) + F(I2)] \quad \text{wegen } x = \frac{x_1 + x_2}{2} \text{ und } y = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

Weitere Fortschritte bei der Bildqualität (aber auch höheren Rechenaufwand) bieten die bikubische Interpolation oder das Super-Resolution-Verfahren, welches auch Informationen aus den Nachbarbildern des Eingabebildes zur Berechnung des hochskalierten Ausgabebildes verwendet.

Bei aller Raffinesse der Upscaler-Algorithmen sind die zusätzlich berechneten Pixel natürlich nicht identisch mit denen, die ein höher aufgelöstes Originalbild hätte. Was an Information im Eingangsbild fehlt, kann der Upscaler nur mit einer gewissen Annäherung an die Realität voraussagen. Upscale-Fehler sind also unvermeidbar, jeder Algorithmus hat seine Vor- und Nachteile, z. B. können an schrägen Linien, bei schnell veränderlichen Bildinhalten, an kontrastreichen Kanten usw. mehr oder weniger auffällige Skalierungsartefakte auftreten.

Ein Vorteil von UHD besteht darin, dass die Zeilenzahl von 2160 bei 4K-UHD (oder 4320 bei 8K-UHD) ein ganzzahliges Vielfaches sowohl von 720 als auch 1080 ist. So können die HD-Formate 720p (1280 x 720 Pixel, progressiv, bei ARD, ZDF, SRG, ORF ...) und 1080p (1920 x 1080 Pixel, progressiv) ohne verlustbehaftetes Umrechnen dargestellt werden, wie es beim Betrachten eines 720p-Programms auf einem Full-HD-Fernseher erforderlich ist.

Ideal: native Monitorauflösung. Idealerweise hat ein Monitor eine native Auflösung. Für UHD bedeutet dies, dass er exakt über 3840 horizontale und 2160 vertikale Pixel verfügt. Dann erfordert seine Ansteuerung keinerlei Skalierung, weil jedes UHD-Signalpixel durch genau ein physikalisches Monitor-Pixel dargestellt wird. Skalierungsartefakte sind so vollständig ausgeschlossen.

Videocodierung. Wegen der vierfachen Pixelanzahl, der gesteigerten Wortbreite der Abtastwerte und einer größeren Bildwechselrate entsteht bei UHD eine erheblich höhere Datenrate als bei Full HD. Um die Übertragungs- und Speichermedien nicht zu überfordern und die Frequenzökonomie nicht zu verschlechtern, wurde die Effizienz der Bildcodierung (Videokompression) verbessert.

Der Rec.-2020-Farbraum wird sowohl von H.64/MPEG 4 AVC als auch vom etwa doppelt so effizienten Nachfolgestandard High Efficiency Video Coding (HEVC) unterstützt. HEVC ist durch eine extreme Parametrisierbarkeit an eine große Vielfalt von Codierungsaufgaben anpassbar und unterstützt bereits zukünftige Bildformate bis zu 8192 x 4320 Pixel (4,27fache UHD-Auflösung) bei 120 Vollbildern/Sekunde.

Audio. Mit einer verbesserten Bildqualität muss natürlich auch ein Fortschritt bei der Wiedergabe des Begleittons verbunden sein. Bei dem UHD-Spitzen-Soundformat 22.2 (auch Hamasaki 22.2, benannt nach dem Entwickler Kimio Hamasaki aus den Labors der japanischen Sendeanstalt NHK) ist ein Klangeindruck gegeben, der erheblich näher am natürlichen Klang liegt, als es eine 5.1-Mehrkanalübertragung heute ermöglicht. Diese extreme Annäherung an die Realität wird durch eine räumliche Anordnung von 20 Audiokanälen in 3 Schichten und zwei LFE-Kanälen (LFE: Low Frequency Effects) links und rechts unter dem Bildschirm bewirkt ([Bild 10](#)). Eine derartige Verstärker- und Lautsprecherausstattung werden sich wohl nur Kinos und eingefleischte Videofans in ihrem Heimkino zulegen. Aber „abgespeckte“ Versionen mit verringerter Ortbarkeit der Schallereignisse sind auch im Wohnzimmer denkbar.

Den Referenzentwurf für den künftigen MPEG-3D-Audio-Standard, der auch 22.2 umfasst, stellte das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) in Erlangen, Geburtsstätte von MP3 und AAC (Advanced Audio Coding). Hier kann man dank eines ausgefeilten Akustiklabors die



theoretisch erarbeiteten Ergebnisse in praktischen Hörversuchen überprüfen (Bild 11). Wenn alles nach Plan verläuft, wird im Frühjahr 2015 der endgültige Standard aus den kanal-/objektbasierten und szenenbasierten Technologien zusammengeführt.

Übertragungsszenarien. Erste Versuche, 4K-UHD über den Satelliten oder das Kabel zum Konsumenten zu bringen, gab es bereits. Auf der Internationalen Funkausstellung 2013 in Berlin sah man bei den großen Satellitenbetreibern entsprechende Demonstrationen. Eutelsat und Samsung reklamierten für sich die weltweit erste Realisierung der vollständigen Übertragungskette über Satellit (Eutelsat 10A). Empfangsseitig wurden die Bilder über ein Samsung UHD-TV-Gerät mit integriertem Ultra-HD-Decoder präsentiert.

Tatsache ist, dass ein 4K-UHD-Programm in DVB-S2-Modulation mit einer Bildcodierung nach H.264/MPEG 4 AVC eine Datenrate von 40 Mbit/s erzeugt. Mit DVB-S2 sind maximal 70 Mbit/s auf einem heute üblichen Standard-Transponder übertragbar. Das bedeutet, mit der aktuellen im Einsatz befindlichen Technik ist nur ein 4K-UHD-Programm pro Transponder möglich. Erste experimentelle 4K-UHD-Übertragungen bedienten sich einer Technik, bei der der UHD-Datenstrom in vier Subdatenströme entsprechend 1080p50/60 zerlegt wurde, die von vier Encodern für den Uplink auf vier Standard-HD-Kanäle aufbereitet wurden. Empfangsseitig setzte man vier synchronisierte HD-Set-Top-Boxen zur Decodierung der

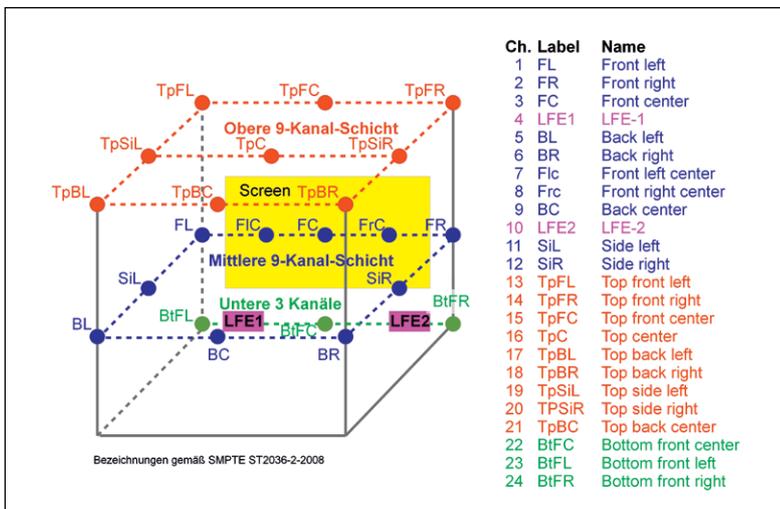


Bild 10: Mit Hamasaki 22.2 ist eine bisher nicht gekannte akustische Präsenz in den Szenen einer 4K-UHD-Übertragung möglich.



Bild 11: Weil bei der Entwicklung optimaler Audiocodierverfahren von Individuum zu Individuum unterschiedliche subjektive auditive Eindrücke berücksichtigt werden müssen, ist ein Akustiklabor für umfangreiche Hör-Testreihen unverzichtbar. Quelle: Fraunhofer IIS

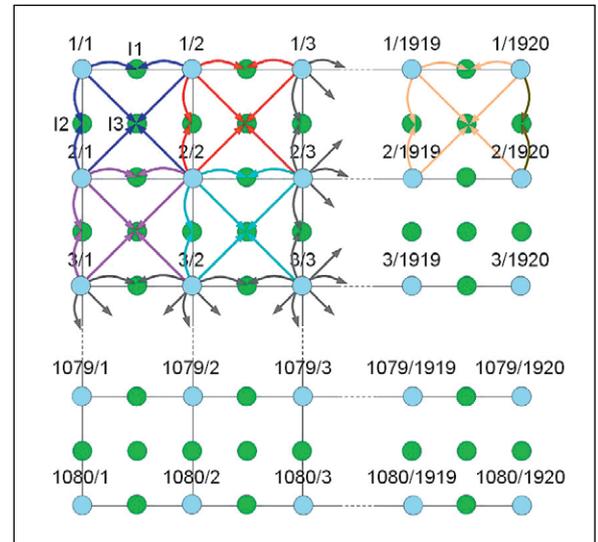


Bild 9: Wenn Full HD zu 4K-UHD hochgerechnet werden soll, muss der Scaler für jedes Pixel des Eingabebildes drei zusätzliche für das Ausgabebild interpolieren. Hier erfolgt dies nach der Methode der bilinearen Transformation.

Subdatenströme ein. Dies Verfahren mag vielleicht für Zwecke der Signalzuführung (signal contribution) vorstellbar sein, für einen Massenmarkt ist es ungeeignet. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sind also effizientere Bildcodier-, Modulations- und Bitfehlerkorrekturverfahren und deren Umsetzung in massenproduktionstaugliche Halbleiterchips erforderlich. Das kann noch einige Zeit dauern.

Fazit. UHD wird teilnehmerseitig neue Tuner (im TV integriert oder als Beistell-Set-Top-Box) erforderlich machen. Dennoch können kaum Zweifel bestehen, dass UHD mittelfristig eine neue Konsumwelt auslösen wird. Ähnliche Kaufimpulse auslösende Eindrücke, wie sie die Zuschauer beim Vergleich von SDTV mit HDTV hatten, werden beim Betrachten von 4K-UHD-Inhalten aufkommen. Eine höhere Bildauflösung ist bei kleineren Bildschirmformaten zwar nicht mehr wahrnehmbar, aber die weiteren mit UHD einhergehenden und durch OLED-Display-Technologie voll nutzbaren Bildqualitätssteigerungen in Bezug auf verbesserte Farbwiedergabe, höhere Bilddynamik, größere Vollbildrate, höher aufgelöste 3D-Bilder sowie gesteigerte Soundqualität sehr wohl. Auf der IFA und ANGA Com 2014 wird UHD ein großes Thema sein. Danach ist ein klarerer Blick in die UHD-Zukunft möglich. **ELV**



Weitere Infos:

- [1] http://de.wikipedia.org/wiki/Standard_Definition_Television
- [2] www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2020-0-201208-I!!PDF-E.pdf
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/CIE-Normvalenzsystem>
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation