

Natives* Digital Video

* nativ = „wie geboren“ = nur A/D-gewandelt, evtl. gammakorrigiert,

ABER

ohne codec-basierte Datenreduktion**

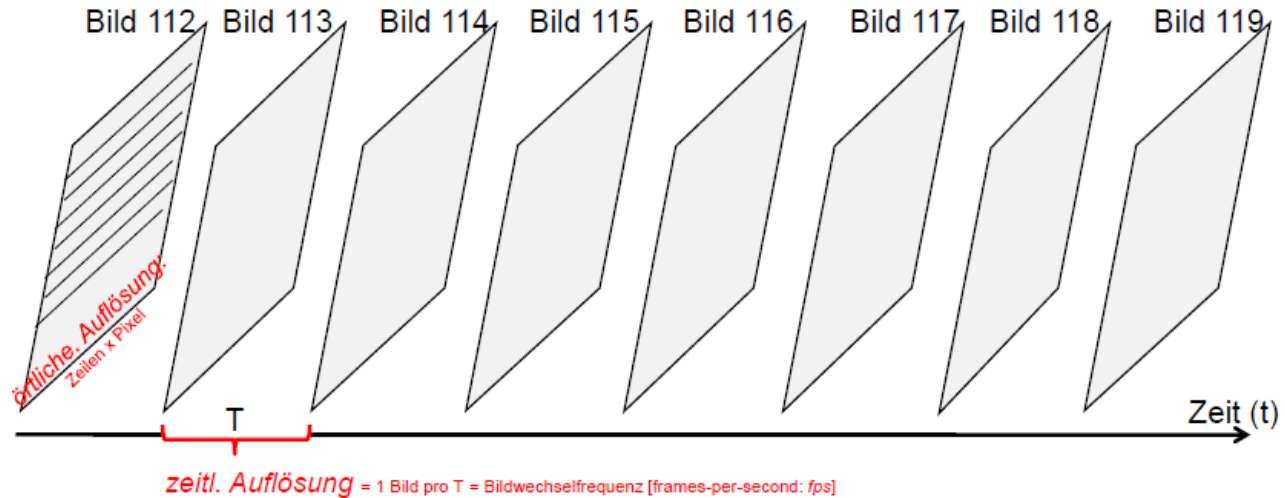
Motion-Pictures:

http://de.wikipedia.org/wiki/Edward_Muybridge



Video/Film ist ...

... eine Abfolge von einzelnen, definiert-großen (Leucht-)Bildern in einem festgelegten zeitlichen Abstand,



... mit der Bewegungsphasen als („eingefrorene“) Einzelbilder aufgenommen werden können, und

... bei deren Betrachtung der Mensch eine Bewegung von Objekten und Szenen wahrzunehmen GLAUBT!

Typische Kennwert-Kombinationen für Digitale Medien:

Jedes Videoformat ist grundlegend
beschrieben durch folgende Kenngrößen:*

* Beachte: grundlegend < hinreichend < vollständig

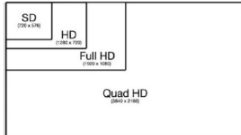
- Pixelraster, (spatiale Auflösung, inkl. Pixel Aspect Ratio)
- Zeilenaufbau, (interlace oder progressive)
- Bildwechselfrequenz, (temporale Auflösung)

internationale Notation: → sichtb. Zeilenzahl / Zeilenaufbau / Frame-Rate

Beispiele:	720	/	p	/	25
	1080	/	i	/	25

Typische Kennwert-Kombinationen für Digitale Medien:

Video:



Gebräuchliche Bezeichnung	Pixelraster (px x Zeilen), örtliche Auflösung	Bildseiten- verhältnis	Zeilenaufbau i / p	Typische Bildwechselfrequenzen [Hz] <i>Beispiel Gesamtnotation</i>
SD-Standard Definition (EU)	720 x 576	4:3 (non-square pix)	i	25 576 / i / 25
SD-Standard Definition (US)	720 x 480	4:3 (non-square pix)	i	30 (29,98) 480 / i / 30
HD-High Definition / S1	1280 x 720	16:9 (square pix)	p	50, (60) 720 / p / 50
HD-High Definition / S2-4 (Volksmund: „Full HD“)	1920 x 1080	16:9 (square pix)	i oder p	25, 30, 50, 60 z.B. 1080 / i / 25
Ultra High Definition („Quad HD“)	3840 x 2160	16:9 (square pix)	p	25, 30, 50, 60, 100, 120 z.B. 2160 / p / 50
8k UHD	7680 x 4320	16:9 (square pix)	p	25, 30, 50, 60, 100, 120 z.B. 4320 / p / 60

Digitales Kino:

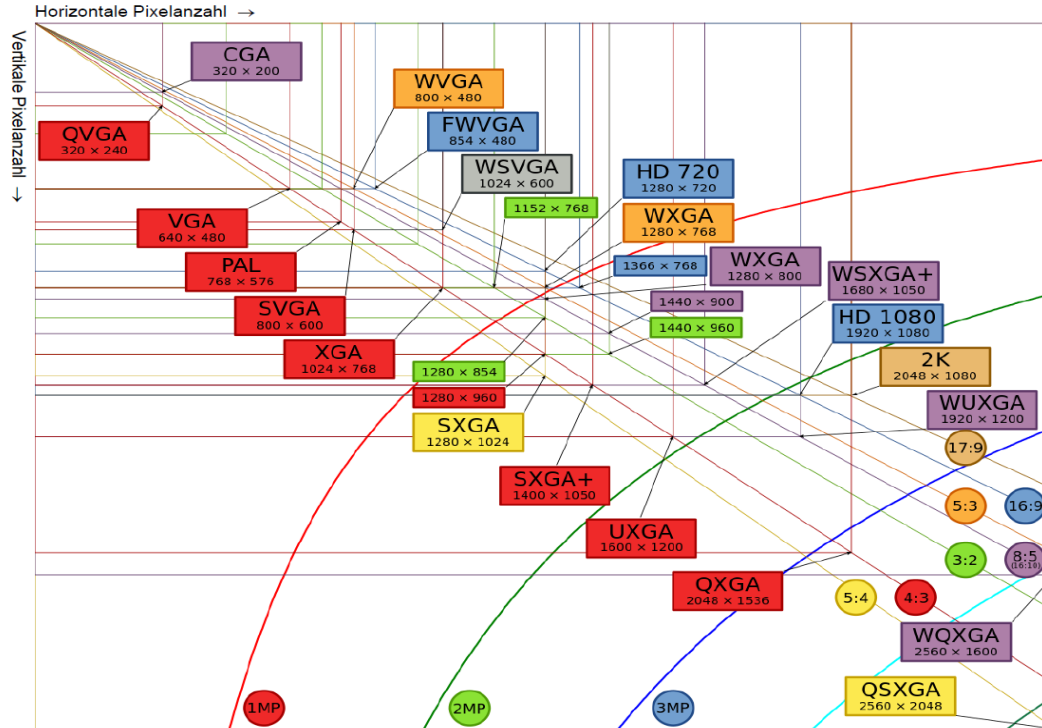
Gebräuchliche Bezeichnung	Pixelraster (px x Zeilen), örtliche Auflösung	Bildseiten- verhältnis	Zeilenaufbau + / p	Typische Bildwechselfrequenzen [Hz]
2k flat 4k flat	1998 x 1080 3996 x 2160	1 : 1,85 (square pix)	p	24, (48, 120 = High Frame Rate/3D-HFR)
2k scope 4k scope	2048 x 858 4096 x 1716	1 : 2,38 (square pix)	p	24, (48, 120 = High Frame Rate/3D-HFR)

PC/Tablet/ Smartphone:

Gebräuchliche Bezeichnung	Pixelraster (px x Zeilen), örtliche Auflösung	Bildseiten- verhältnis	Zeilenaufbau + / p	Typische Bildwechselfrequenzen [Hz]
nGA (n x VGA), Video Graphics Array	n x 640x480, n ∈ ℚ ₊ (square pix) s. a. nachfolgende, Folie	5:4 - 17:9 s. a. nachfolgende Folie	p	min: 30fps max: je nach Komplexität der Szene und Renderleistung der Grafikkarte

Komplettübersicht: Computer-Pixelraster nGA

> 30 Bilder/s, progressive

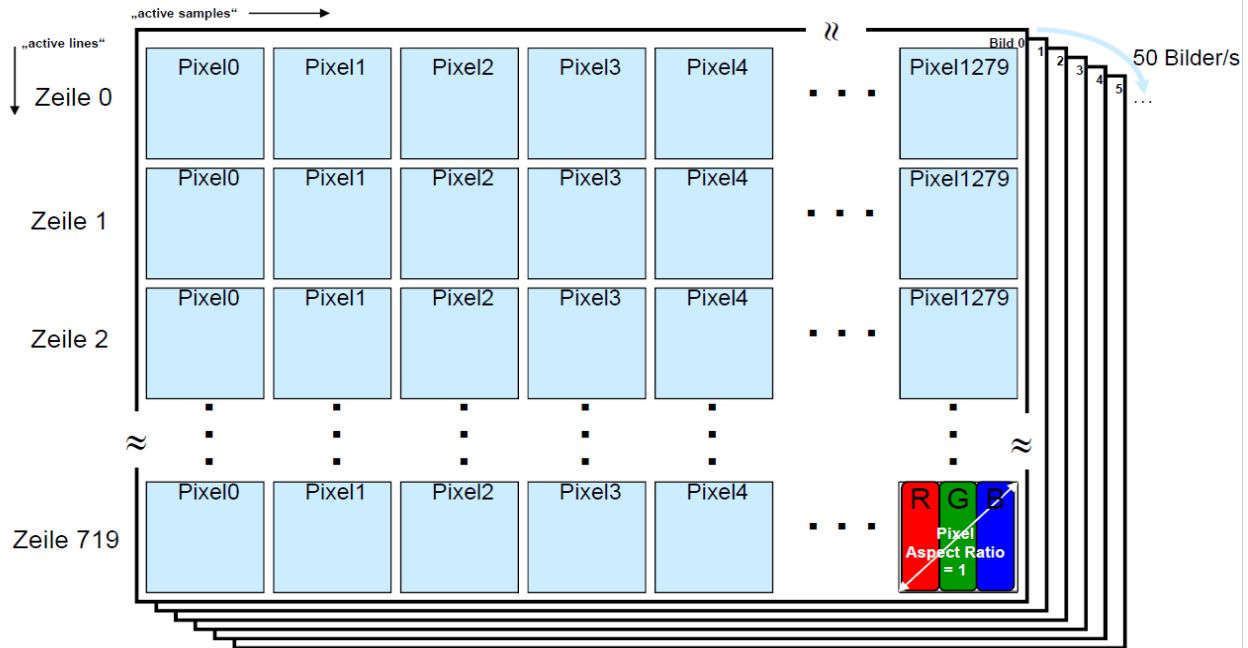


Bildquelle: en.wikipedia.org/wiki/File:Vector_Video_Standards2.svg

BEISPIEL: Pixelraster Video “HD720“

z.B. 720p/50

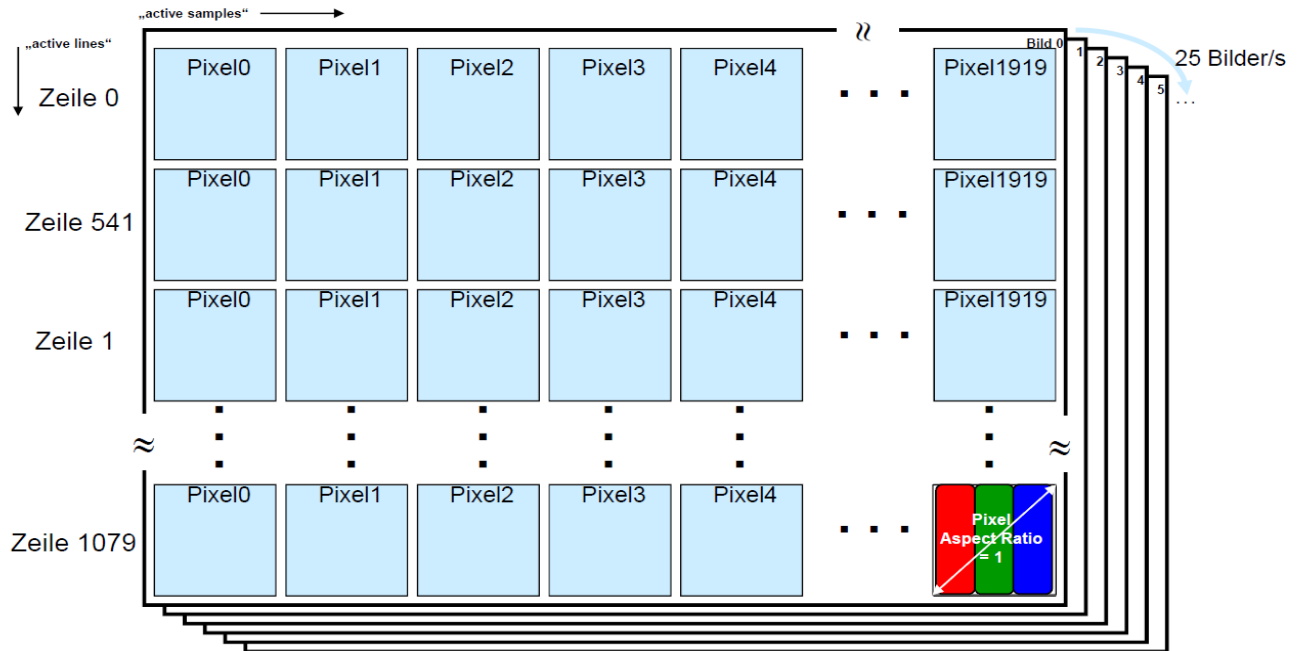
50 Bilder/s, 1280 x 720 Pixel (square), *progressive*



BEISPIEL: Pixelraster Video "HD 1080i"

z.B. 1080i/25

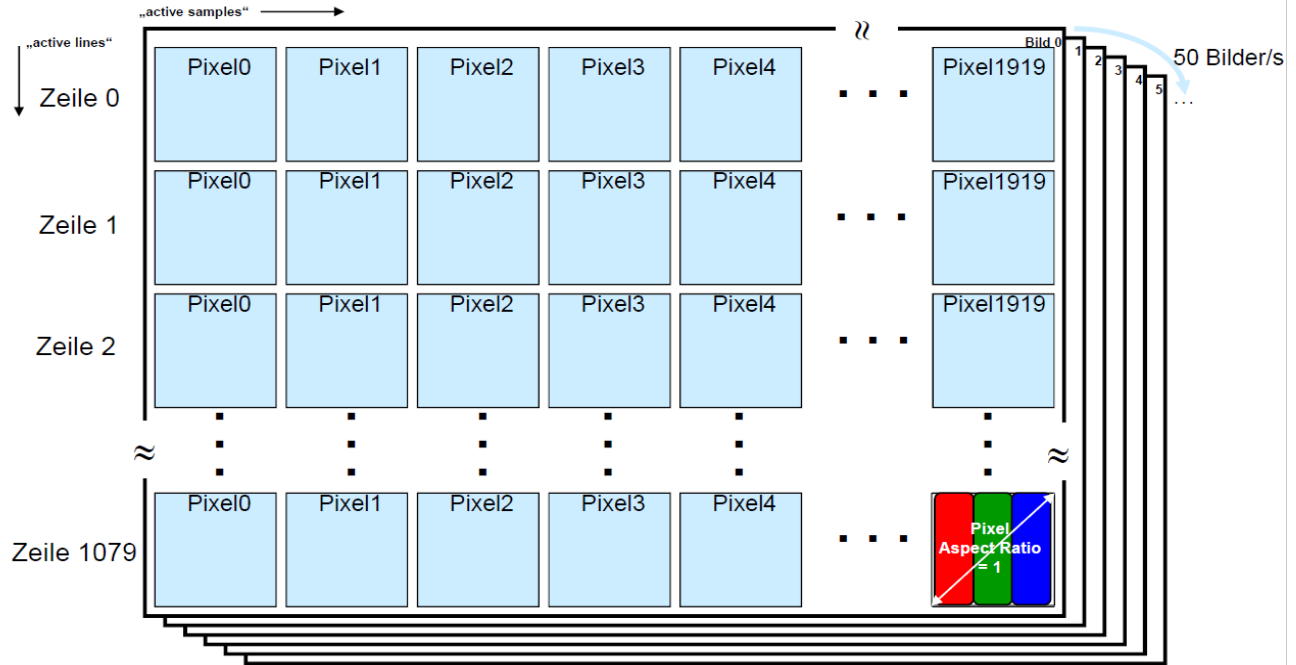
25 Bilder/s, 1920 x 1080 Pixel (square), *interlace*



BEISPIEL: Pixelraster Video "HD 1080p"

z.B. 1080/p/50

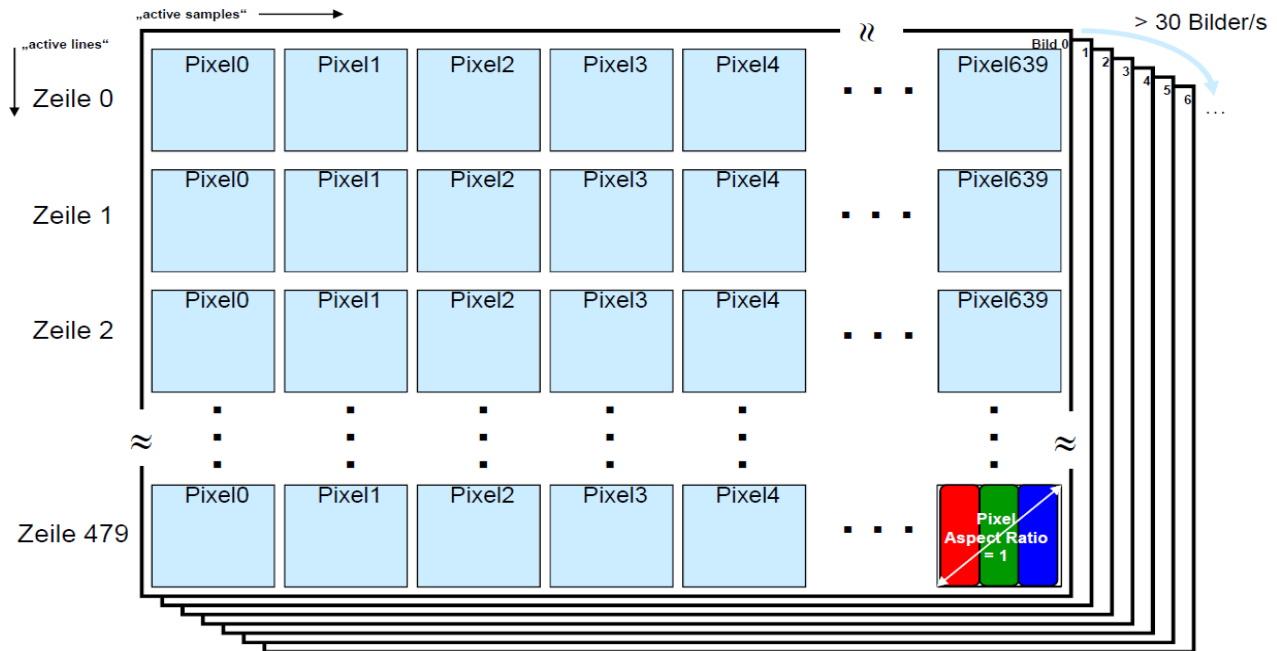
50 Bilder/s, 1920 x 1080 Pixel (square), *progressive*



BEISPIEL: Grundraster "VGA"

VGA = Video Graphics Array (Basis-Computerauflösung)

VGA: ≥ 30 Bilder/s, $\geq 640 \times 480$ Pixel (square), *progressive*



BEISPIEL: Pixelraster "CIF"

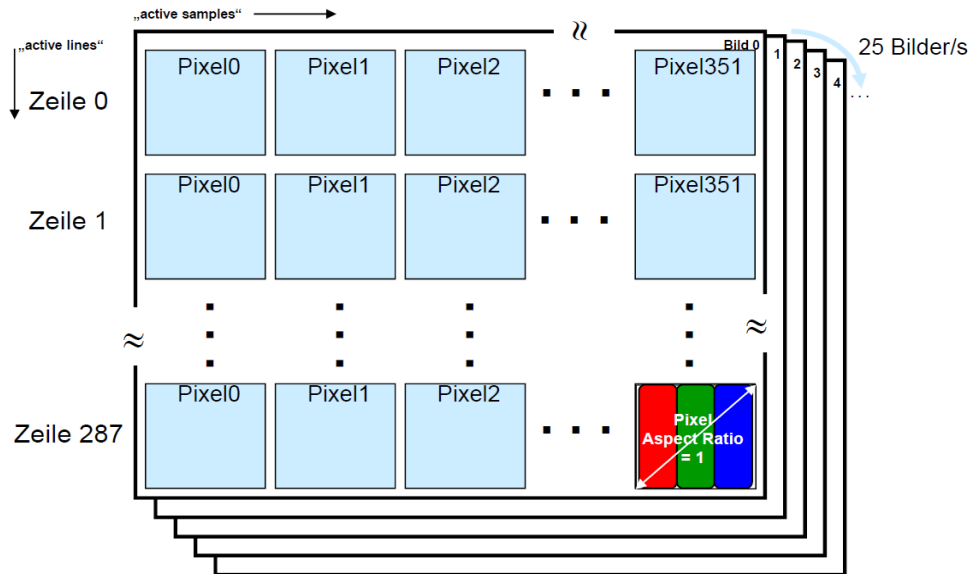
CIF = Common Intermediate Format (erniedrigte Basisauflösung für mobiles Videoconferencing/Streaming)

CIF_{EU}: 25 Bilder/s, 352 x 288 Pixel (square), *progressive*

CIF_{US}: 30 Bilder/s, 352 x 243 Pixel (square), *progressive*

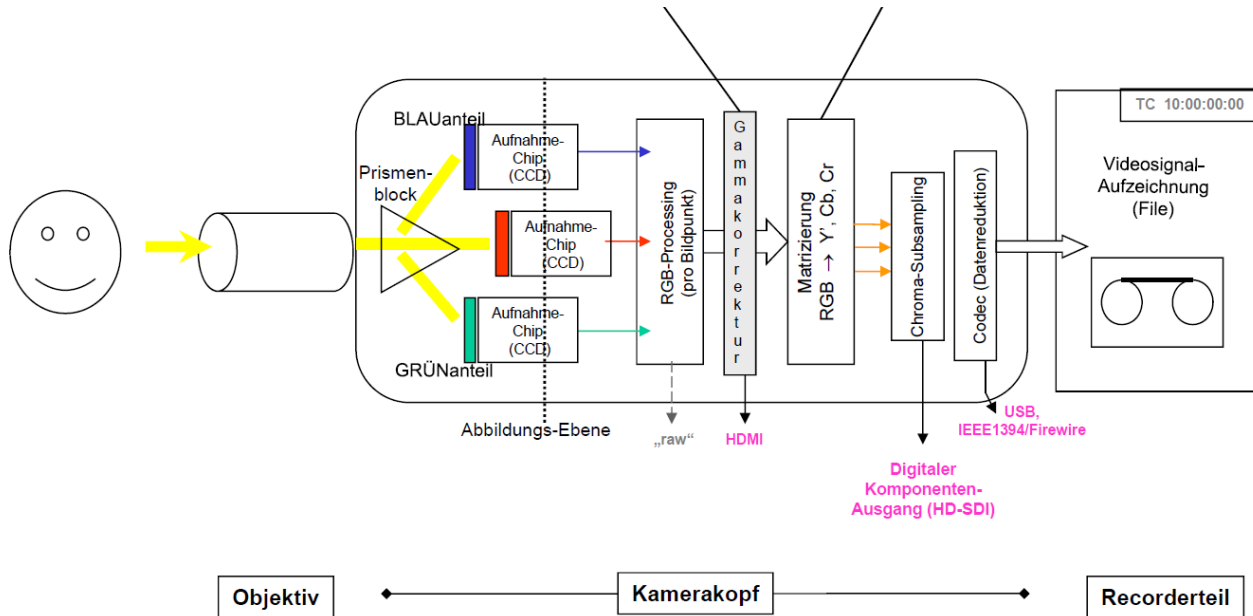
Hinweis:

für noch geringere Auflösungen ist ergänzend das QuarterCIF-Raster / QCIF (für EU mit 176 x 144 Pixeln) definiert worden !



Zur Erinnerung: videospezifisches Videoprocessing

(am Beispiel 3-Chip CCD-Kamera, mögliche Signalausgänge in magenta)



Technische Grundlagen des RGB - Videosystems:

1. Jede ermischte Farbempfindung V ist eindeutig durch ihren R-Anteil, G-Anteil und B-Anteil (die sog. Farbwertanteile) definiert !

$$V(\text{alenz}) = \text{R-Anteil} + \text{G-Anteil} + \text{B-Anteil}$$

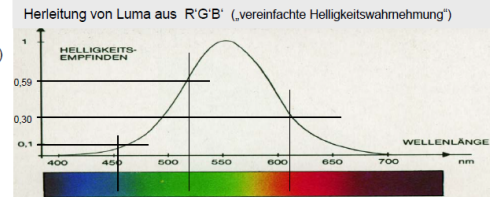
Reale Videosysteme (→ Gammakorrektur): $V = R' + G' + B'$

2. Selbst die Leuchtdichte (Luma) Y' eines Farbpunktes kann (aufgrund der Helligkeitsempfindlichkeit des Auges bezüglich λ_{rot} , $\lambda_{\text{grün}}$ und λ_{blau}) aus diesen Werten abgeleitet werden !

$$Y' = 0,30 * R' + 0,59 * G' + 0,11 * B' \quad (\text{TV analog})$$

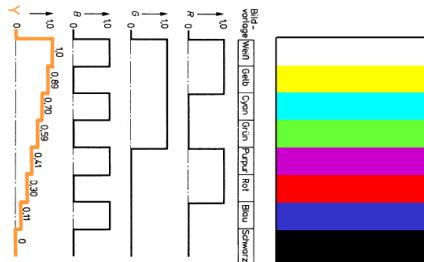
Historische Anpassungen: $E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B$ (1981, ITU-R BT.601)

$E'_Y = 0,2126 E'_R + 0,7152 E'_G + 0,0722 E'_B$ (1990, ITU-R BT.709)



Technisches Beispiel: Farbwertanteile und Leuchtdichte der Normfarbbalkenfolge („Testbild“)

Bildvorlage	R'	G'	B'	Y'
Weiß	1	1	1	1,00
Gelb (Rot und Grün)	1	1	0	0,89
Cyan (Grün und Blau)	0	1	1	0,70
Grün	0	1	0	0,59
Purpur (Rot und Blau)	1	0	1	0,41
Rot	1	0	0	0,30
Blau	0	0	1	0,11
Schwarz	0	0	0	0



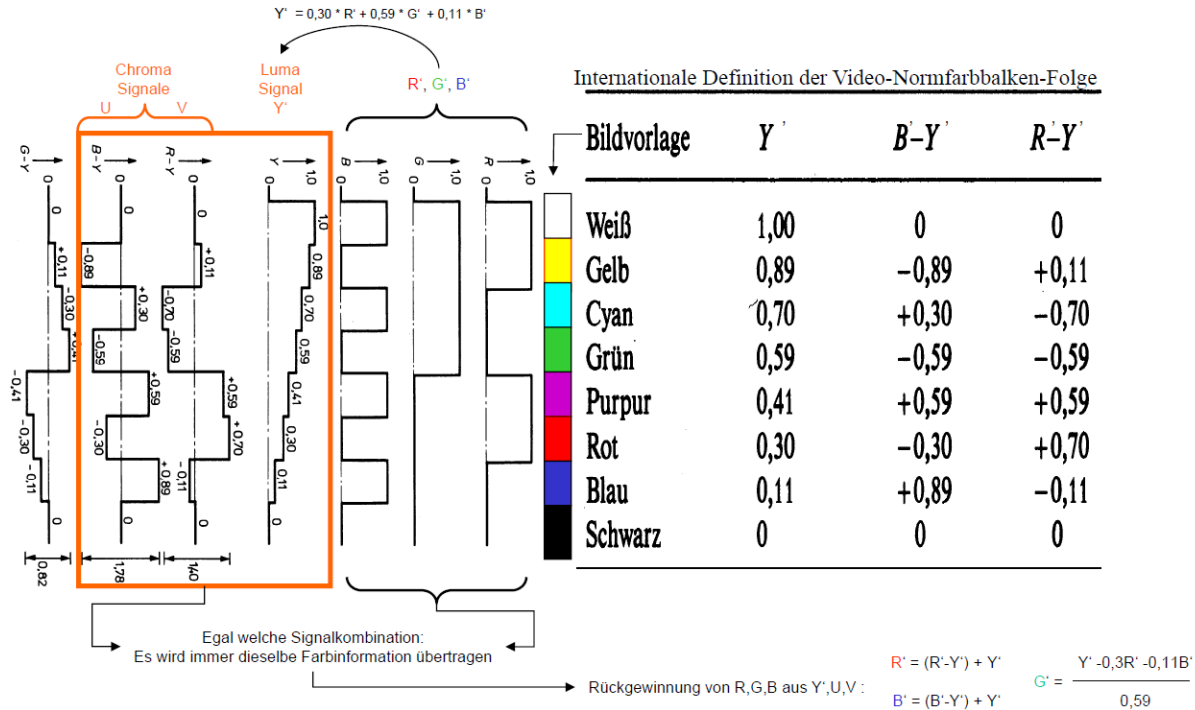
Transformationscodierung: vom R'G'B'- in den Y'CbCr - Farbraum („Matrizierung“)

- Aufgrund der *historisch geforderten Kompatibilität von Schwarzweiß und Farbfernsehen* wurde schon bei *analogen* Videogeräten intern meist mit dem RGB-Differenzverfahren (Chrominanzkomponenten) gearbeitet:



- Jede Farbe kann in beiden Farbräumen problemlos identisch dargestellt werden (s. nachfolgende Folie). Die Transformation ist (mathematisch gesehen) verlustfrei.
- ABER:
 - a) *Gestalterischer Vorteil:*
Bei Bildern in YUV-Kodierung kann sehr einfach die Helligkeit Y losgelöst von der Farbigkeit gemessen und manipuliert werden.
 - b) *Technischer Vorteil:*
Da der Mensch relativ unempfindlich gegen Chromawechsel in benachbarten Bildbereichen ist, können die Chrominanzsignale U, V mit wesentlich geringerer Bandbreite als das Helligkeitssignal Y' übertragen werden (ohne Qualitätsverluste in der menschl. Wahrnehmung)
→ *Chroma-Subsampling*

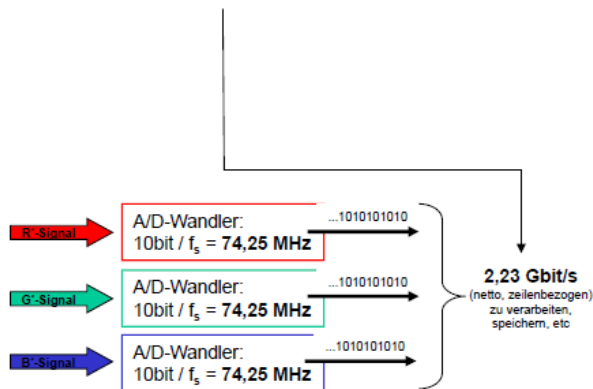
Transformationscodierung zur Erzeugung gleicher Farbinformationen:



Digital Video - was wird standardmäßig abgetastet?

- In Video-Schaltkreisen und bei aufwendigen Videoeffekten digitalisiert man die ursprünglichen R', G', B' - Farbsignale;
→ alle drei mit der gleichen Abtastrate.

Dies realisiert die höchste Abbildungsqualität, führt aber zu enormen Datenmengen an den Ausgängen der A/D-Wandler. Diese Datenmenge kann derzeit nur innerhalb von lokalen Produktions-inseln oder geräteintern sinnvoll gehandhabt werden.



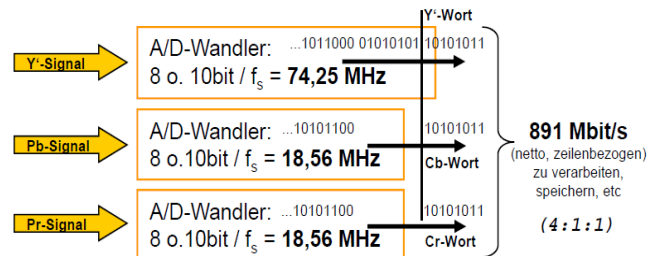
- In der Übertragungs- und Speichertechnik digitalisiert man vorzugsweise Luma- und Chroma-Signale

(→ Y', U, V in der ungefilterten Form Y', P_b, P_r oder
→ Y', C_b, C_r digital, verlustfrei umgerechnet aus RGB).

Dabei wird von Beginn an berücksichtigt, dass das menschliche Auge Farbunterschiede wesentlich unschärfer wahrnimmt als Helligkeitsunterschiede.

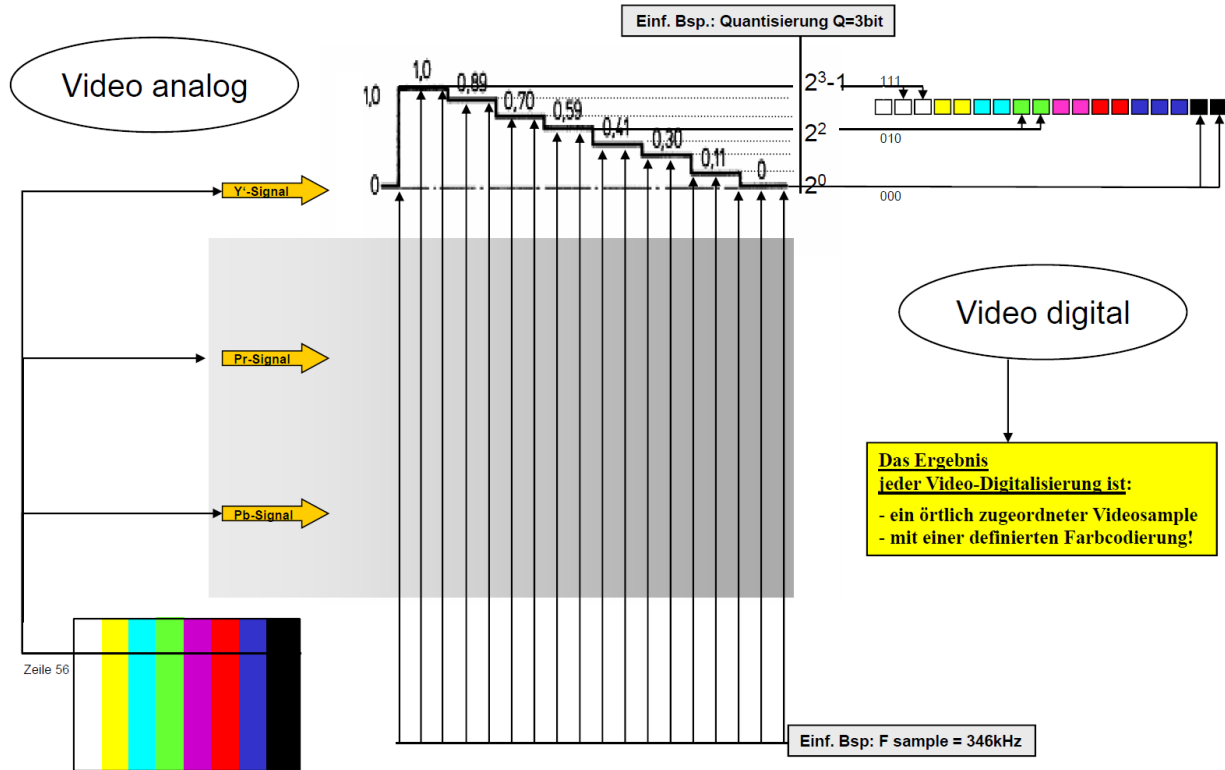
Dies bedeutet, dass man sich bei der Abtastung von P_b und P_r (innerhalb einer Videozeile) auf die halbe oder viertel Abtastrate von Y' beschränken kann.

→ engl. *Chroma-Subsampling*



Verdeutlichung Video-A/D-Wandlung und visuelles Ergebnis:

(Am Bsp. Luma-Kanal)



Video - A/D - Wandlung:
Einfluß von Abtastung & Quantisierung auf die Bildqualität!

Einfluss Abtastung \Rightarrow örtliche Bildauflösung

*Je höher die Abtastfrequenz, desto mehr **Pixel** werden pro Zeile generiert!*

Einfluss Quantisierung \Rightarrow Helligkeits-/Farbgenauigkeit!

*Je höher die Quantisierung, desto **genauer** werden die einzelnen Pixel in ihren tatsächlichen Farb-/Helligkeitswerten erfasst/dargestellt!*

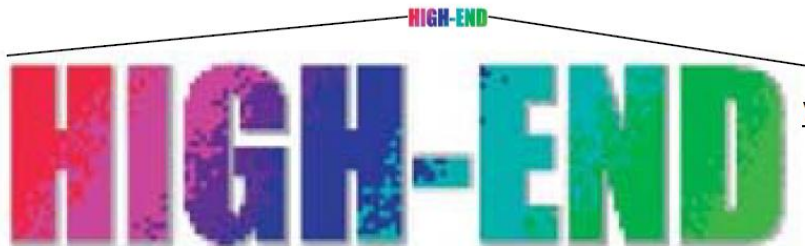
Erstellung von Pseudo-Retrografik



Original-Schriftzug:
1600 x 1200px, $Q_{\text{RGB}}=8\text{bit/Kanal}$



Verringerte Quantisierung:
1600 x 1200px, $Q_{\text{RGB}}=3\text{bit/Kanal}$
(Verringerung auf 8 mögliche Farben)



Verringerte Quantisierung + Abtaste*0.1:
160 x 120px, $Q_{\text{RGB}}=3\text{bit/Kanal}$

(zur Verdeutlichung linear aufskaliert)

Standardisierte Videosignal-Quantisierungs – Varianten: (nach Gammakorrektur!)

International standardisierte *Quantisierungsstufen* für die Übertragung/Speicherung der Luma-Komponente (Y')

10 bit system										8 bit system									
bisherige Notation					neue Notation					bisherige Notation					neue Notation				
bit-val.	hex	binär	hex	binär	dez	dez	Spannung	Spannung		bit-val.	hex	binär	hex	binär	dez	dez	Spannung	Spannung	
		21 8421 8421		8421 8421 84	0.25step	0.799mV/step		3.196mV/step				8421 8421							
1023	3FF	11 1111 1111	FF.C	1111 1111 11	255.75	768.324 mV	Verboten im aktiven Bild	763.827 mV		1111 1111	FF	255							
1020	3FC	11 1111 1100	FF.0	1111 1111 00	255.00	763.927 mV													
1019	3FB	11 1111 1011	FF.C	1111 1110 11	254.75	763.128 mV	Aussteuerungsreserve	760.731 mV		1111 1110	FE	254							
...							
941	3AD	11 1010 1101	EB.4	1110 1011 01	235.25	706.799 mV		703.196 mV		1110 1100	EC	236							
940	3AC	11 1010 1100	EB.0	1110 1011 00	235.00	706.000 mV	Weißpegel	700.000 mV		1110 1011	EB	235							
...							
64	40	00 0100 0000	10.0	0001 0000 00	16.00	0.000 mV	normaler Videopegelbereich			0001 0000	10	16							
...							
63	3F	00 0011 1111	F.C	0000 1111 11	15.75	-0.739 mV	Schwarzpegel	-3.196 mV		0000 1111	F	15							
...							
4	4	00 0000 0100	1.0	0000 0001 00	1.00	-47.945 mV	Aussteuerungsreserve	-47.945 mV		0000 0001	1	1							
...							
3	3	00 0000 0011	0.C	0000 0000 11	0.75	-80.744 mV	Verboten im aktiven Bild	-51.142 mV		0000 0000	0	0							
0	0	00 0000 0000	0.0	0000 0000 00	0.00	-51.142 mV				0000 0000	0	0							

GAMUT

International standardisierte *Quantisierungsstufen* für die Übertragung/Speicherung der Chroma-Komponenten (C_b, C_r)

10 bit system										8 bit system									
bisherige Notation					neue Notation					bisherige Notation					neue Notation				
bit-val.	hex	binär	hex	binär	dez	dez	Spannung	Spannung		bit-val.	hex	binär	hex	binär	dez	dez	Spannung	Spannung	
		21 8421 8421		8421 8421 84	0.25step	0.781mV/step		3.125mV/step				8421 8421							
1023	3FF	11 1111 1111	FF.C	1111 1111 11	255.75	399.219 mV	Verboten im aktiven Bild	396.875 mV		1111 1111	FF	255							
1020	3FC	11 1111 1100	FF.0	1111 1111 00	255.00	396.875 mV													
1019	3FB	11 1111 1011	FF.C	1111 1110 11	254.75	396.094 mV	Aussteuerungsreserve	393.750 mV		1111 1110	FE	254							
...							
941	3C1	11 1100 0001	F0.4	1111 0000 01	240.25	350.781 mV		353.125 mV		1111 0001	F1	241							
940	3C0	11 1100 0000	F0.0	1111 0000 00	240.00	350.000 mV	Weißpegel	350.000 mV		1111 0000	F0	240							
...							
512	200	10 0000 0000	80.0	1000 0000 00	128.00	0.000 mV	Unbunt	0.000 mV		1000 0000	80	128							
...							
64	40	00 0100 0000	10.0	0001 0000 00	16.00	-350.000 mV	Schwarzpegel	-350.000 mV		0001 0000	10	16							
...							
63	3F	00 0011 1111	F.C	0000 1111 11	15.75	-350.781 mV	Aussteuerungsreserve	-353.125 mV		0000 1111	F	15							
...							
4	4	00 0000 0100	1.0	0000 0001 00	1.00	-396.875 mV	Verboten im aktiven Bild	-396.875 mV		0000 0001	1	1							
...							
3	3	00 0000 0011	0.C	0000 0000 11	0.75	-397.656 mV	Verboten im aktiven Bild	-400.000 mV		0000 0000	0	0							
0	0	00 0000 0000	0.0	0000 0000 00	0.00	-400.000 mV				0000 0000	0	0							

ACHTUNG bei Übernahme von computergenerierten Bildern in Videoproduktionen oder bei Live-Übertragungen !!:

- Aussteuerungsreserve und verbotener Bereich schränken den zulässigen Y' -, C_b -, C_r - Wertebereich (GAMUT) ein
→ **illegal colours, forbidden colours** !
- Diese Wertebereiche gehen davon aus, dass auf den Kanälen vorab schon eine Gammakorrektur stattgefunden hat!

Standardisierte Basis – Abtastraten für Video:

Höchste auftretende Frequenz im analogen 4:3/SD Videosignal (Y', P_b, P_r - keine Bandbegrenzung):

ca. 6 MHz \rightarrow Nyquist: $f_{\text{Sample}} > 12 \text{ MHz}$

Internationale Empfehlung Video/SDdigital/4:3:

$$\Rightarrow f_{\text{Sample/VIDEO_SD/basic}} = 13,5 \text{ MHz}$$

Begründung:

Ein gemeinsames Vielfaches, basierend auf den Halbbild-Wiederholffrequenzen von PAL (50 Hz) und NTSC (60 Hz) ist der Wert $2,25 \text{ MHz} = 45.000 \times 50 \text{ Hz} = 37.500 \times 60 \text{ Hz}$.

Die zu empfehlende Abtastfrequenz musste also $> 12 \text{ MHz}$ sein und gleichzeitig ein ganzzahliges Vielfaches von $2,25 \text{ MHz}$ ergeben. Deshalb wurde der Wert

$$6 \times 2,25 = 13,5 \text{ MHz} = 4 \times 3,375 \text{ MHz}$$

in der Norm *ITU R BT.601* der International Telecommunication Union verabschiedet.

Höchste auftretende Frequenz im analogen 16:9/HD Videosignal (Y', P_b, P_r - keine Bandbegrenzung):

ca. 36 MHz \rightarrow Nyquist: $f_{\text{Sample}} > 72 \text{ MHz}$

Internationale Empfehlung Video/HDdigital/16:9:

$$\Rightarrow f_{\text{Sample/VIDEO_HD/basic}} = 74,25 \text{ MHz}$$

Begründung:

Bereits 1990 wurde international festgelegt, dass bei allen HDTV-Systeme die Abtastfrequenz ebenfalls ein Vielfaches von $2,25 \text{ MHz}$ betragen soll.

Die zu empfehlende Abtastfrequenz musste also $> 72 \text{ MHz}$ sein und gleichzeitig ein ganzzahliges Vielfaches von $2,25 \text{ MHz}$ ergeben. Deshalb wurde der Wert

$$33 \times 2,25 = 74,25 \text{ MHz}$$

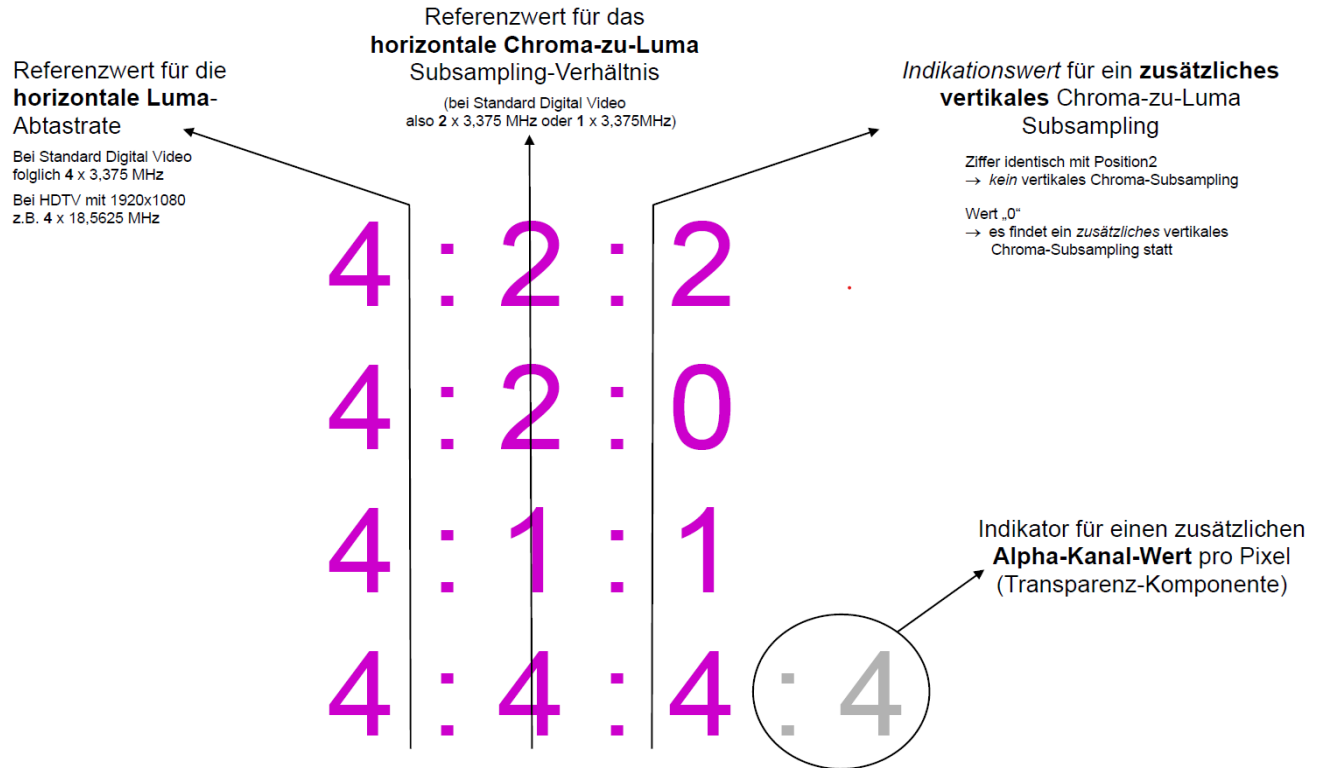
Sowohl in der europäischen Norm *ITU R BT. 1886* als auch in der amerikanischen Norm *SMPTE 274* verabschiedet.

$$f_{\text{Sample/VIDEO_UHD/basic}} = 148,5 \text{ MHz}$$

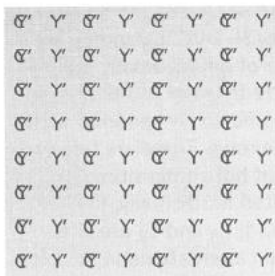
$$66 \times 2,25 = 148,5 \text{ MHz}$$

Sowohl in der europäischen Norm *ITU R BT. 2020* als auch in der amerikanischen Norm *SMPTE 2036* verabschiedet.

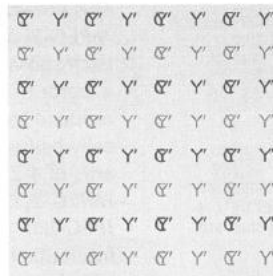
Chroma-Subsampling Notation:



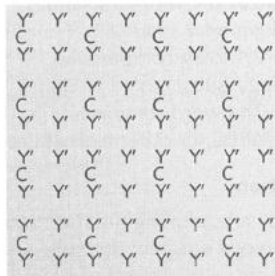
Tabellarischer Überblick: Subsampling Schemata



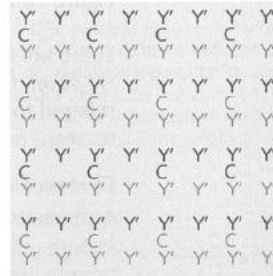
4:2:2
progressive



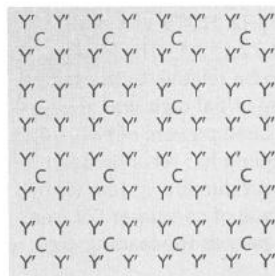
4:2:2
(Rec. 601)
interlaced



4:2:0
MPEG-2
Frame
picture
(progressive)



4:2:0
MPEG-2
interlaced

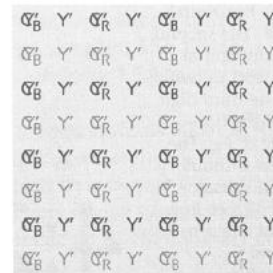


4:2:0
JPEG/JFIF
(progressive)



4:2:0 DV
interlaced

Figure 10.2 **Subsampling schemes** are summarized here. C indicates a [C_B , C_R] sample pair when located at the same site; otherwise (as in the DV schemes) individual C_B and C_R notations indicate the centers of the respective chroma samples. Y' indicates the center of a luma sample. The schemes in the left column are progressive. The schemes in the right column are interlaced; there, black letters indicate top field samples and gray letters indicate bottom field samples.



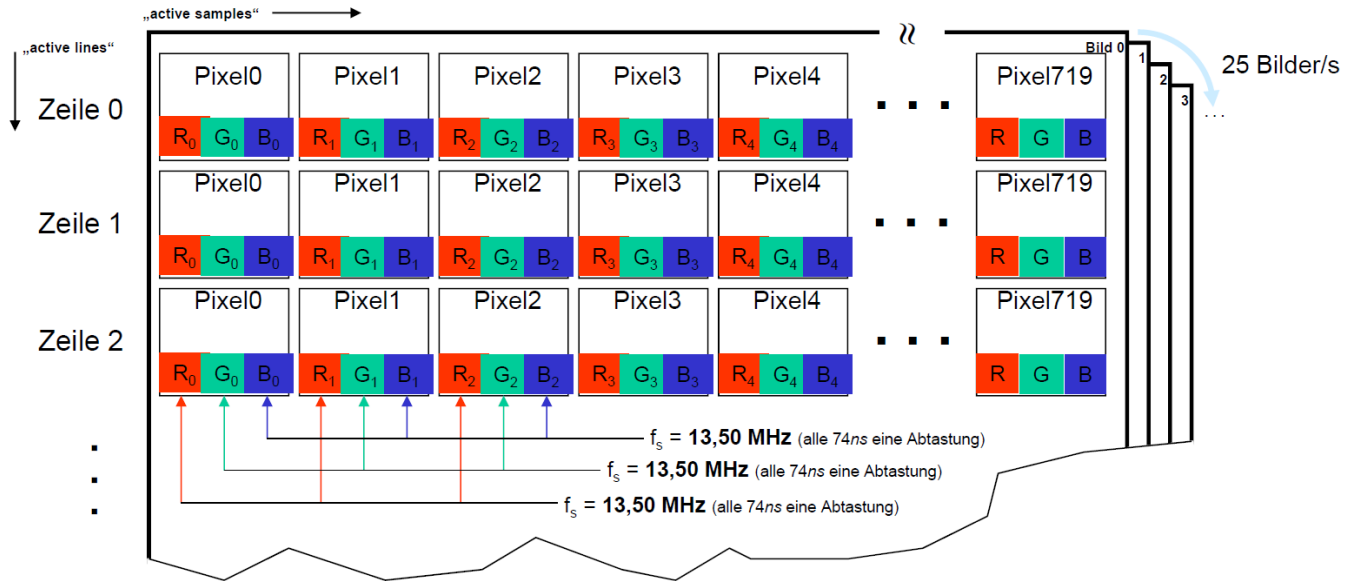
4:1:1 DV
interlaced

Quelle: Poynton „Digital Video and HDTV“

Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (I)

Computergrafik & Videoeffekte: 4:4:4 - Sampling

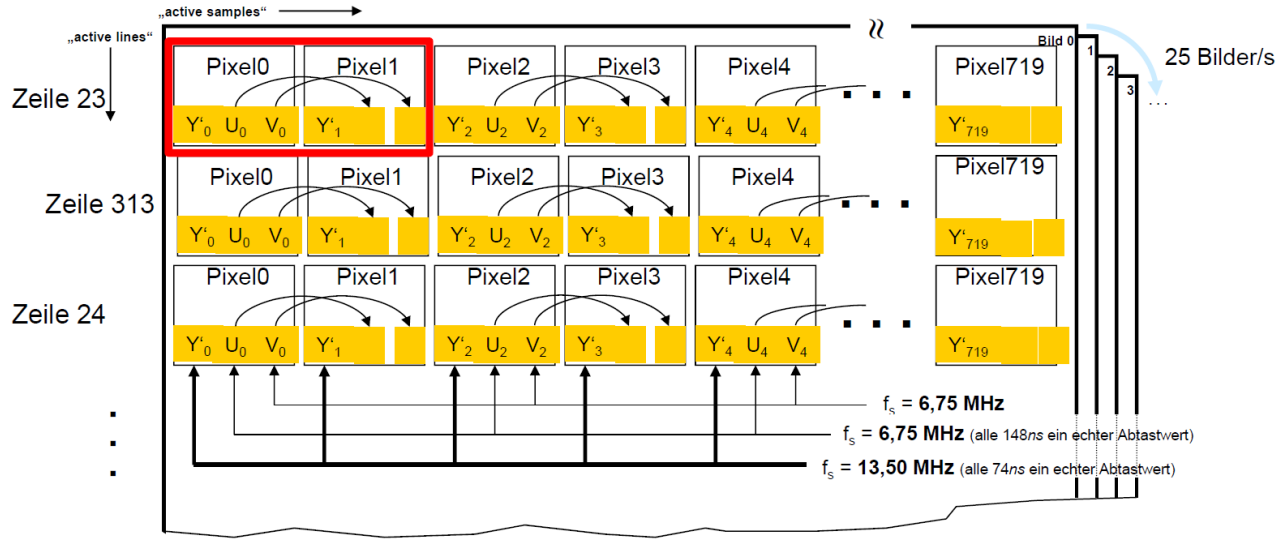
249 Mbit/s (framebez., Videodaten netto, TV-Europa, 4:3)



Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (II)

Standard-Video / professional: **4:2:2 - Chroma Subsampling**

166 Mbit/s
(framebez., Videodaten netto,
TV-Europa, 4:3)



Subsampling zone

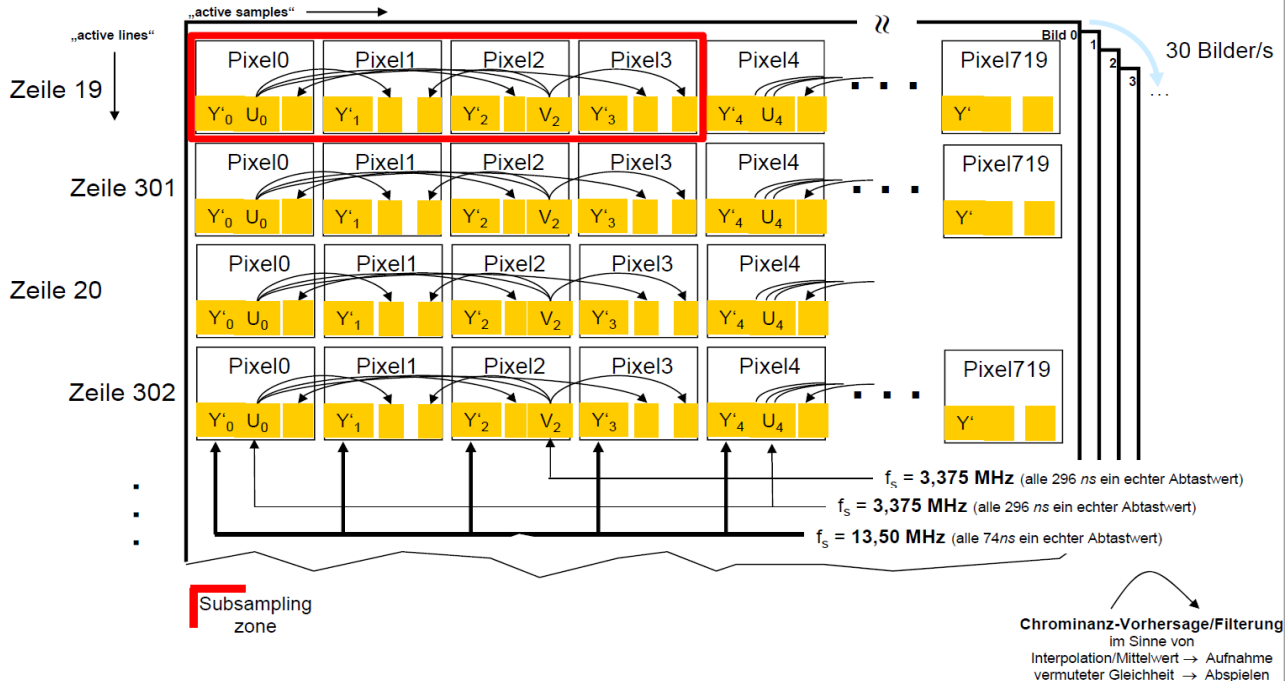
Chrominanz-Vorhersage/Filterung
im Sinne von
Interpolation/Mittelwert → Aufnahme
vermuteter Gleichheit → Abspielen

Anm.: hier exemplarisch PAL – TV – Auflösung 576/i/50

Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (III)

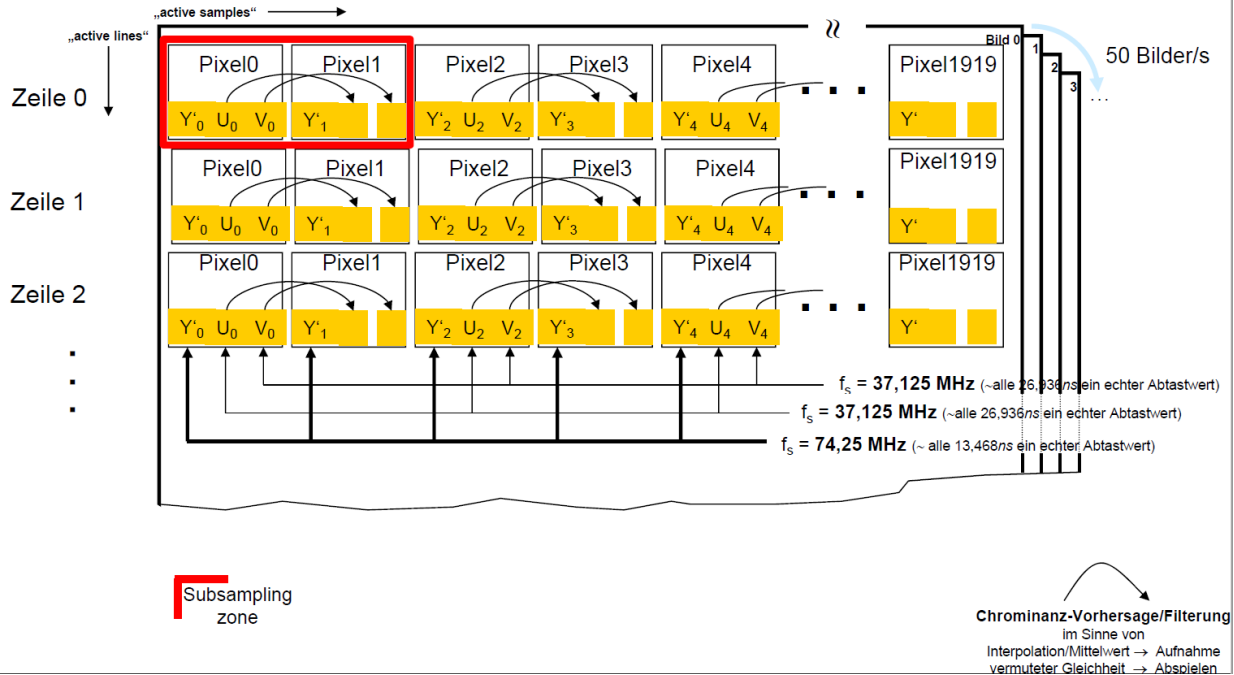
Anwendungsbeispiel:
Vorbereitung NTSC 486i/30
auf DV-Codierung

Video Consumer: **4:1:1 - Chroma-Subsampling**



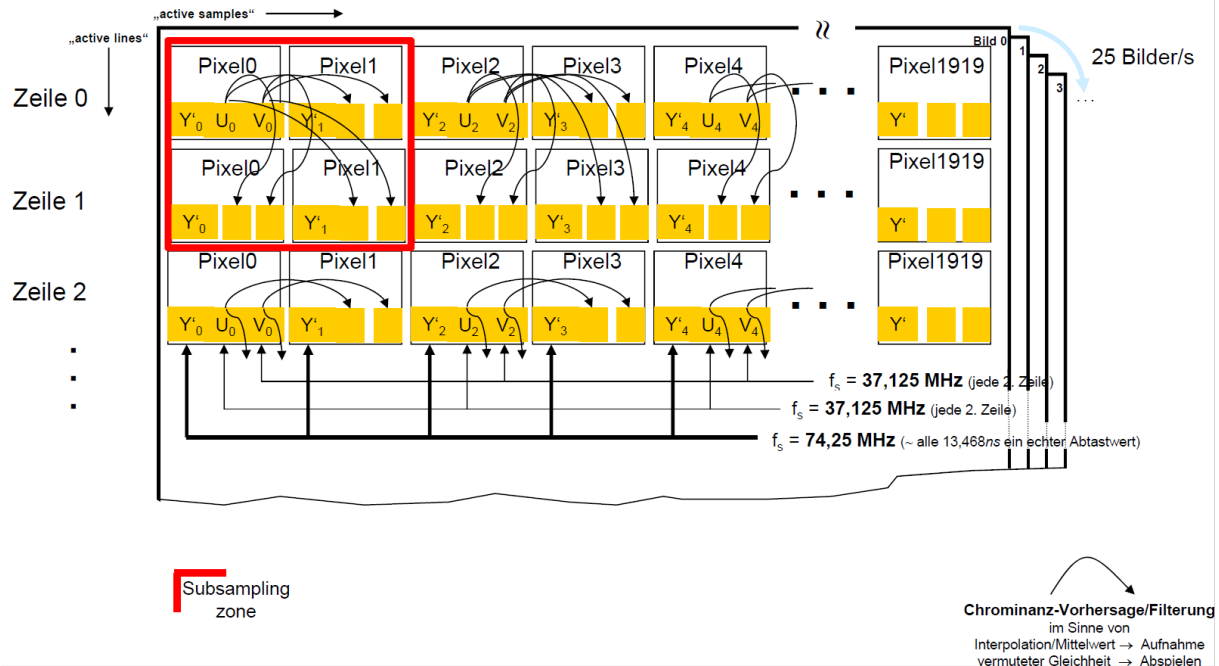
Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (IV)

HD / 1080p50-Video / professional: **4:2:2 - Chroma-Subsampling**



Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (V)

HD / 1080p25-Video / consumer: **4:2:0 - Chroma-Subsampling**



Pixelraster, Abtastung und Datenorganization (VI)

1440x1080 /
non-square pix /
PAR = 1,33
24 Bilder/s, progressive

Sony HDCAM 24p (Kamera-intern): **3:1:1 - Chroma-Subsampling**



Gesamtüberblick HDTV-Parameter in Europa*

* 30/60Hz basierte Systeme (z.B. USA) unterscheiden sich in den Specs nur noch durch die Framerate (und damit auch in einer höheren Netto-image-bitrate).

EBU System	Nomenclature and abbreviation [samples horiz. x active lines / scanning / frame rate]	Luma or R'G'B' Samples per active line (S/AL)	Active lines per frame (picture) (AL/F)	Frame rate, Hz	Luma or R'G'B' sampling frequency (f _s), MHz	Luma sample periods per total line (S/TL)	Total lines per frame	Net image Bit Rate (4:2:2, 10 bit) [Mbit/s]	Corresponding SMPTE system nomenclature
S1	1280x720/P/50 (abbreviated: 720/P/50)	1280	720	50	74.25	1980	750	921.6	Corresponds to SMPTE 296M System 3
S2	1920x1080/I/25 (abbreviated: 1080/I/25)	1920	1080	25 (50 Hz field rate)	74.25	2640	1125	1036.8	Corresponds to SMPTE 274 System 6
S3	1920x1080/P/25 (abbreviated: 1080/P/25)	1920	1080	25	74.25	2640	1125	1036.8	Corresponds to SMPTE 274 System 9
S4	1920x1080/P/50 (abbreviated: 1080/P/50)	1920	1080	50	148.5	2640	1125	2073.6	Corresponds to SMPTE 274 System 3

Table 1: HDTV Systems 1 to 4

The digital representation shall employ eight or ten bits per sample in its uniformly quantized (linear) PCM coded form.

The image aspect ratio for system 1 to 4 shall be 16 x 9, and the sample 'aspect ratio' shall be 1 x 1 ("square pixels").

Quelle EBU-Tech 3299

Format-Speech:

„raw“

unangetasteter RGB-Datenstrom direkt hinter dem A/D-Wandler des Bildsensors, Q = 12-18bit.

„native video“

gammakorrigierter, matrizerter, chroma-reduzierter, Y, Cb, Cr-Datenstrom, Q = 8 o. 10bit, KEINE sonstige DATENREDUKTION.

„mezzanine“*

leicht datenreduzierter Y, Cb, Cr- Datenstrom, meist nur intraframebasierte Bildcodierung (i-Frame), Postpro-fähig.

„encoded“

stark datenreduzierter Y, Cb, Cr- Datenstrom, intra- & interframebasierte Bildcodierung, niedrige Datenrate.
Schnittfähig, aber nicht Postpro-fähig.

* wortwörtlich „Zwischengeschoss“, im Sinne von „Mittelformat“

Zusammenfassung: Allgemeine Kennwerte für *Digital Video*:

Jedes digitale Videoformat ist hinreichend
beschrieben durch folgende Kenngrößen:*

* vollständige Beschreibung eines digitalen Videoformates, siehe Folie 190

- **Bildwechselfrequenz,** (temporale Auflösung)
- **Pixelraster,** (spatiale Auflösung)
- **Zeilenaufbau**
- **beschreibender Farbraum**
- **Sampling / Chroma-Subsampling**
- **Quantisierung**

Beispiele:

Das digitale TV-Produktionsformat *IMX*:

720 x 576, Rec.601, 4:2:2, Q= 8bit, 50 Hz, interlace

Das digitale Filmformat *HD24p*:

1920 x 1080, Rec.1886, 4:2:2, Q=10bit, 24 Hz, progressive