

Nachfolgender Text ist eine  
**Leseprobe aus AV-DIALOG 1/2016**

Der **AV-DIALOG** erscheint viermal im Jahr und ist eine reine Mitgliederzeitschrift.

Regelmäßige Rubriken sind u. a.

- Gestaltung von AV-Produktionen
- Technik
- Berichte (von Veranstaltungen)

Weitere Leseproben finden Sie auf [www.av-dialog-magazin.de](http://www.av-dialog-magazin.de)

Über neue Leser (und Mitglieder) freuen sich der Verein und die Redaktion.

Kontakt über: [heftredaktion@av-dialog.de](mailto:heftredaktion@av-dialog.de)

Eine unterhaltsame Lektüre wünscht  
Klaus Fritzsche  
(Chefredakteur)



## Bildschirm- und Projektionstechnik

# Sinn und Unsinn mit 4K

Von Dr. Rudolf Eyberg

**Fachleute sind sich einig: Nicht nur mehr Pixel sind bei digitalen Bildern vorteilhaft, sondern es werden „bessere Pixel“ benötigt. Einige vielversprechende Verbesserungen werden entwickelt, sind aber in Standards und Produkten noch nicht ausdiskutiert und ausgereift. Dieser Beitrag soll einige Aspekte beleuchten und Hilfestellung bei Entscheidungen für 4K-Geräte geben.**

### Pixelwahn

Nicht nur bei Digitalkameras erhöht sich die Pixelzahl. Auch bei der Bildwiedergabe bemühen sich die Hersteller um die Vermarktung von Geräten mit mehr und mehr Bildpixeln. Megapixel sind neben Megabyte, Megahertz usw. eben sehr eindrucksvolle Begriffe für eine werbewirksame Vermarktung von Produkten.

Mehr Pixel können sowohl bei der Aufnahme wie auch bei der Wiedergabe von Fotos und Videos sehr sinnvoll sein. Der Anwender sollte aber die Vor- und Nachteile kennen und möglichst alle technischen Randbedingungen erfassen.

### Begriffe

4K ist ein Begriff aus der professionellen Kino-Technologie. Mit den von der Digital Cinema Initiative (DCI) festgelegten 4096 x 2160 Pixeln und einem Seitenverhältnis 256:135 werden bereits viele Kinos betrieben [01].

Für Endkonsumenten hat sich in Europa der Begriff UltraHD (UHD) bzw. UltraHD-TV durchgesetzt [02]. Bei UltraHD sind 3840 x 2160 Pixel mit dem Seitenverhältnis 16:9 definiert, was sich aus FullHD mit 1920 x 1080 Pixel durch einfache Verdopplung ergeben hat.



Vom Verband „Digital Europe“ [03] ist im Sommer 2015 ein entsprechendes Logo „UltraHD“ für die Gerätekenzeichnung verabschiedet worden. Allerdings gibt es einige Freiheitsgrade für die Hersteller, so dass Kunden genau auf das „Kleingedruckte“ in Datenblättern von Geräten achten sollten.

In den USA wurden vom CTA Verband [04] andere Logos für UltraHD definiert.

Diese haben sowohl 4K und UltraHD im Namen und ein zusätzliches Logo für Connected TVs wurde definiert.

Der nächste Schritt mit 7680 x 4320 Pixel wird als Super Hi-Vision bezeichnet. Für Verbraucher ist das noch Zukunftsmusik, auf internationalen Messen wurden aber bereits eindrucksvolle Demonstrationen gezeigt.

**Standardisierung**

Die Standardisierung von UltraHD ist relativ jung und entwickelt sich sehr dynamisch und nicht ohne Konflikte. Der internationale Standard ITU-R BT.2020 [05] für professionelle Produktion und Sendung ist zwar seit 2012 vereinbart, aber für den Verbraucher und bei Anzeigegeräten ist die Situation „undurchsichtig“. So hat das europäische Konsortium Digital Video Broadcast (DVB) verschiedene Phasen von UHD definiert, welche sich stark unterscheiden [06]. Die Risiken für Inhabitanbieter, Hersteller und Verbraucher sind teilweise erheblich, da leicht auf eine falsche oder inkompatible UHD-Technik gesetzt werden kann.

Geräteanforderungen für das UltraHD-Logo [07] sind nur Minimalanforderungen, welche auf starken Kompromissen der Industrie beruhen. So sind zum Beispiel nur der bisherige Farbraum Rec.709, eine Farbtiefe von 8 Bit und eine Bildfrequenz von 24p bis 60p gefordert. Ein aktueller Codec HEVC ist zum Beispiel aber nicht zwingend. Aber selbst damit ist oft unklar, ob die UltraHD-Wiedergabe auch über alle Schnittstellen (DVB, IPTV, LAN, HDMI, DP, USB ...) möglich ist. Für den Verbraucher ergeben sich damit noch mehr Unsicherheiten wie zum Start von HDTV mit dem diskussionswürdigen HD-ready-Logo.

**Das menschliche Auge**

Das menschliche Auge ist ein extrem leistungsfähiges Sinnesorgan. Das liegt allerdings nicht nur an den optischen Eigenschaften des Auges, sondern vor allem an der Leistungsfähigkeit der Signalverarbeitung im Gehirn.

Ein optisches Bild wirkt nur exakt in der Mitte der Netzhaut hochauflösend und scharf. Außerhalb dieser Mitte wird die Abbildung zunehmend unschärfer und unfarbiger empfunden [08]. Das liegt an der ungleichmäßigen Verteilung und Dichte von Zapfchen und Stäbchen auf der Netzhaut.

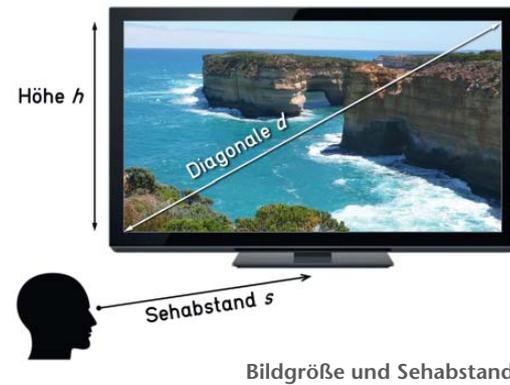
Erst durch die unmerklichen, sehr raschen Augenbewegungen entsteht im Gehirn ein hochqualitativer Gesamteindruck.

Die maximale Sehschärfe des menschlichen Auges kann durch die Winkel-Sehschärfe definiert werden, bei der zwei Objekte (z.B. Sterne oder Pixel) gerade noch als getrennt wahrgenommen werden. Dieses Auflösungsvermögen [09] liegt typisch zwischen 0,5 bis 1,0 arcmin (Bogenminuten), also bei maximal etwa 0,01° (Grad). Bei einem Sehabstand von 7 m ergibt sich daraus eine maximale Ortsauflösung von 1 mm. Damit folgt, dass bei jeder Abbildung (wie Plakat, Fernseher oder Leinwand) je nach Sehabstand eine zu hohe Ortsauflösung unnötig und teuer wird.

**Idealer Sehabstand**

Der ideale Sehabstand zu einem Bild ergibt sich mit den Eigenschaften des menschlichen Auges zwangsläufig aus der Anzahl der Pixel und der Bildfläche. Zur Vereinfachung und zur Herleitung von Faustformeln habe das Bild ein Seitenverhältnis von 16:9.

Aus der Bilddiagonalen  $d$  in Inch ergibt sich die Bildhöhe  $h$  in cm mit folgender



Formel:

$$h = 1,24 \text{ cm} \cdot d / \text{Inch}$$

Daraus kann mit der maximalen Winkelauflösung des menschlichen Auges und etwas Schulmathematik der optimale Sehabstand  $s$  berechnet werden:

Standard	Mega-Pixel	Pixel horizontal x vertikal	Abstand $s$
SD	0,6	1024 x 576	$6,0 \cdot h$
HD ready	0,9	1280 x 720	$4,5 \cdot h$
Full-HD	2,1	1920 x 1080	$3,0 \cdot h$
UltraHD	8,3	3840 x 2160	$1,5 \cdot h$
8K	33,1	7680 x 4320	$0,8 \cdot h$

Für ein TV-Gerät mit einer Bilddiagonale von 55 Inch ( $d$ ) ergibt sich eine Bildhöhe von 68 cm ( $h$ ) und damit ein optimaler Sehabstand von 2 Meter bei Full-HD und 1 Meter ( $s$ ) bei UltraHD. Das ist frustrierend wenig, denn der Sehabstand im typischen Wohnzimmer ist meistens viel größer und niemand sitzt 1 Meter vor seinem Fernsehgerät. Eine Wiedergabe mit UltraHD ist also nur sinnvoll, wenn die Bildgröße ausreichend groß ist. Es ist somit recht zweifelhaft, ob die erforderliche Umgestaltung des Wohnzimmers mit ausreichend geringem

Sehabstand oder die Anschaffung eines riesigen TV-Gerätes realisierbar ist.

**Wofür dann UltraHD?**

Eine Hauptursache für das große Angebot an UltraHD-Displays liegt in den nur geringfügig erhöhten Herstellkosten gegenüber Full-HD-Geräten. Die Ansteuer-Elektronik gerät erst bei Auflösungen oberhalb von UltraHD an physikalische Grenzen (Leitungskapazitäten). Die Hersteller von TV-Geräten müssen somit keine neue Technologie entwickeln, haben aber ein willkommenes zusätzliches Vermarktungsargument neben anderen Produkteigenschaften wie Smart, Interaktiv, Curved, OLED ...

Es gibt aber auch sehr gute und ernsthafte Gründe für UltraHD. Dies liegt an der Tatsache, dass viele Fachkreise neben mehr Pixel vor allem „bessere Pixel“ propagieren. Forschungen und Untersuchungen werden auf vielen Gebieten durchgeführt und folgende Verbesserungen sind vielversprechend:

- Besser kodierte Pixel (HEVC)
- Höhere Bildfrequenz (fps)
- Erweiterter Farbraum
- Mehr Helligkeitsstufen (Bit pro Pixel)
- Bessere Schwarzwerte (Kontrast)
- 3D-TV in Full-HD Auflösung
- Erweiterung der Audio-Standards

Manche dieser möglichen Verbesserungen sind noch unter heftiger und kontroverser Diskussion. Man ist sich nur einig, dass mehr Pixel alleine für einen wirklich eindrucksvollen Bildeindruck nicht ausreichen. Insbesondere eine Erweiterung des Farbraumes, höhere Bildwiederholfrequenzen (> 60 fps) und mehr Helligkeit sind gewünscht. Um Farbbrisse oder Helligkeitsstufen zu vermeiden, ist auch eine deutliche Erhöhung

der Farbtiefe auf 10 oder 12 Bit pro Pixel gegenüber dem heutigen Wert von 8 Bit erforderlich. Das ist etwa vergleichbar mit den Vorteilen der Fotografie (bzw. dem Fotobearbeiten) im Raw-Format bei 10 bis 16 Bit gegenüber dem JPG-Dateiformat mit nur 8 Bit pro Pixel.

### Neue HEVC-Kodierung

Mit all den möglichen Bildverbesserungen bei UltraHD und der vierfachen Pixelanzahl gegenüber Full-HD steigt das erforderliche Datenvolumen bei der Übertragung und Speicherung von Videoformaten stark an.

Entwickelt wurde dafür ein neuer Kodierungsstandard HEVC (High Efficiency Coding) [10]. Dieser ist auch bekannt als H.265 [11] oder MPEG-H Teil 2 und soll den bisher für Full-HD eingeführten Standard H.264 [12] ablösen.



Mit H.265 kann die erforderliche Bitrate gegenüber H.264 um 25 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die H.265-Codec-Technologie ist allerdings noch im Fluss und die Entwicklungs- und Lizenzkosten sind nicht vernachlässigbar.

Daher gibt es noch wenige angebotene Dienste und Produkte, welche ausgereifte HEVC-Codices verwenden bzw. implementiert haben. Insbesondere die Echtzeit-Einkodierung von UltraHD für z. B. Live-Fernsehübertragungen ist sehr anspruchsvoll.

### Höhere Bildwiederholfrequenz

Mit der hohen Ortsauflösung von UltraHD ist eine höhere Bildwiederholfrequenz

(fps = frames per second) zur ruckelfreien Darstellung ebenfalls wünschenswert. Bildfrequenzen von 120 fps (Hz) und mehr werden aktuell diskutiert. Damit Filme auch in UltraHD scharf erscheinen, müssen Filmkameras mit deutlich reduzierten Belichtungszeiten arbeiten, was eine zusätzliche Herausforderung darstellt.

Gegenüber der heutigen Darstellung von Full-HD mit 1080i (interlaced) und 50 Halbbildern pro Sekunde führen 2160p (progressiv) mit 60 oder 120 fps trotz HEVC zu exorbitant höheren Datenraten.

### Geräteschnittstellen und Kabel

Glücklicherweise ist für die Wiedergabe von Digitalfotos oder AV-Shows über einen PC keine HEVC-Videodekodierung im Anzeigegerät erforderlich. In diesem Fall ist lediglich eine 4K-taugliche Grafikkarte und eine dafür geeignete Schnittstelle (HDMI, DisplayPort oder Thunderbolt) erforderlich.

Das HDMI-Konsortium [13] hat vor einiger Zeit leider die Versionsbezeichnungen bei HDMI-Verbindungskabeln abgeschafft. So bleibt der Endkunde oft im Unklaren über die genauen Bandbreitenbegrenzungen, welche für die UltraHD-Wiedergabe eine entscheidende Rolle spielen. Der Standard HDMI 2.0 unterstützt UltraHD mit bis zu 4K bei 60 fps. Je nach Farbtiefe von 8 bis 16 Bit wird das Format 4:4:4 (volle Farbauflösung) bis 4:2:0 (halbierte Farbauflösung) unterstützt.

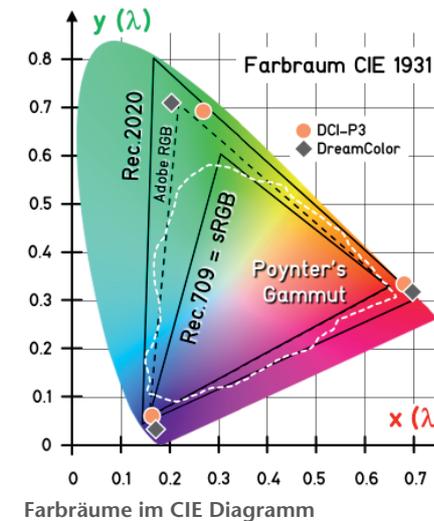
Bei DisplayPort [14] und Thunderbolt [15] sieht es nicht viel anders aus. Mit der neuesten Version 1.3 von DisplayPort werden bis zu 8K, 120 fps, 16 Bit und 4:4:4 unterstützt, allerdings nicht gleichzeitig und in allen Kombinationen. Thunderbolt mit Version 3 unterstützt 4K mit bis zu 10 Bit

Farbtiefe bei 120 fps.

Eine exakt pixelgenaue Bildwiedergabe mit mehr als 30 fps und mehr als 8 Bit Farbtiefe ist daher nicht zwischen allen Geräten und mit allen Kabeln erreichbar.

### Erweiterter Farbraum Rec.2020

Die für den Menschen sichtbaren Farben ergeben sich durch das komplexe Zusammenwirken der Reize von drei Zäpfchenarten (Rot, Grün und Blau). Diese „RGB-Signale“ können im dreidimensionalen (xyz) CIE-Diagramm als Projektion auf eine Ebene dargestellt werden. Bei der additiven Mischung von drei bestimmten Farben können aber nur die Farben innerhalb des zugehörigen Dreiecks wiedergegeben werden.



Der seit 1990 festgelegte Farbraum für HDTV nennt sich Rec.709 [16] und ist fast identisch zu dem in der PC-Technik verwendeten Farbraum sRGB [17]. Für UltraHD wurde ein erweiterter Farbraum Rec.2020 [05] vorgeschlagen, der deutlich über den

bei der Fotografie üblichen Farbraum AdobeRGB hinausgeht.

Zum Vergleich ist in der Abbildung mit dem CIE-Farbsystem der wahrnehmbaren Farben [18] noch der sogenannte Poynter Gammut [19] eingezeichnet. Dieser Bereich umfasst alle möglichen, reflektierten Farben von Objekten. Für eine ordentliche Wiedergabe von „natürlichen“ Farben ist der Farbraum sRGB also gut geeignet. In den erweiterten Farbräumen AdobeRGB, DCI-P3 und Rec.2020 sind dann noch mehr Farben möglich. Für die korrekte Darstellung z. B. eines Regenbogens, dessen Farben exakt auf der hufeisenförmigen Randkurve des CIE-Diagramms liegen, reichen diese Farbräume natürlich auch nicht aus.

Auf Anzeigegeräte mit Rec.2020 muss der Verbraucher leider noch warten. Außerdem ist für einen derartig erweiterten Farbraum nur eine erhöhte Farbtiefe mit 10 oder mehr Bit pro Pixel wirklich sinnvoll.

Bedauerlich ist die Tatsache, dass mit 4K keine Vereinheitlichung der Farbräume erreicht wurde. So führt die Vielfalt mit DreamColor (HP), AdobeRGB, DCI-P3, Rec.2020 und neuerdings ACES [20] weiterhin mit Umrechnungsaufwand zu Risiken und Nebenwirkungen. Eine Chance auf Einigung mit z. B. DCI-P3 zur Harmonisierung von Kinoprofi- und Consumertechnik wurde nicht ergriffen.

### Mehr Bits pro Pixel

In diesem Beitrag ist bei Zahlenwerten mit Einheit „Bit pro Pixel“ stets der Wert pro Farbe (die Farbtiefe) gemeint und nicht die dreifache gesamte Bitanzahl pro Pixel.

Das menschliche Auge kann nicht mehr als 256 Helligkeitsabstufungen unterscheiden. Daher ist eine gamma-kodierte

Farbtiefe von 8 Bit pro Pixel bei jeder Bildwiedergabe absolut ausreichend. Dennoch sind für die Aufnahme, Verarbeitung und Wiedergabe von Bildern aus vielerlei Gründen mehr als 8 Bit pro Pixel sinnvoll. Jeder kennt z. B. die störenden Helligkeitsstufen bei aus- und eingeblendeten Sonnenuntergängen auf TV-Geräten und bei AV-Projektionen. Nur durch mehr Farbtiefe werden solche Probleme beseitigt.

Der professionelle UltraHD-Standard erlaubt zwei Farbtiefen mit 10 oder 12 Bit, daran müssen sich die Gerätehersteller aber nicht halten. TV-Geräte mit UltraHD-Logo können auch nur 8 Bit pro Pixel nutzen, manche Geräte rechnen intern aber auch mit mehr als 14 Bit pro Pixel.

### Höhere Leuchtdichte

PC-Monitore und TV-Geräte haben eine typische Leuchtdichte von circa 100 cd/m<sup>2</sup> (cd = Candela). Manche Geräte können aber auch bis zu 400 cd/m<sup>2</sup> erreichen. Bei wenig Umgebungslicht ist eine solche Leuchtdichte über die gesamte Bildfläche zwar nicht erforderlich, es ist aber erwiesen, dass eine hohe Helligkeit von z. B. sehr kleinen Spitzlichtern den Bildeindruck extrem verbessert. Daher arbeitet das Unternehmen Dolby im Projekt „Dolby Vision“ an Displays mit bis zu 20.000 cd/m<sup>2</sup> [21]. Einige OLED-Displays erreichen auch bis zu 400 cd/m<sup>2</sup>, allerdings werden auf der gesamten Fläche nur circa 100 cd/m<sup>2</sup> erreicht. Eine schneebedeckte Winterlandschaft kann dann recht flau wirken.

Eine höhere Leuchtdichte kann natürlich auch zu einem besseren Kontrast führen und für einen verbesserten Schwarzwert ausgenutzt werden. In diesem Zusammenhang wird auch HDR (High Dynamic Range)

als Zukunft für UltraHD gesehen, allerdings müssen dazu neue TV-Standards definiert werden und die Farbtiefe von 8 Bit reicht nicht mehr aus.

### Unterstützung von Digitalfotos

Die bequeme Darstellung von Digitalfotos auf Ultra-HD TV-Displays wird von fast allen Herstellern sehr stiefmütterlich behandelt. Zwar können Fotodateien direkt über LAN, USB oder SD-Karte wiedergegeben werden, doch leider werden eine gute Skalierung, ein angepasstes Nachschärfen, die 16:9-Darstellung und ein schnelles Blättern (Caching) oft nicht unterstützt. Auch das Erzeugen und Nutzen von Playlisten, das Archivieren und Löschen von Fotodateien oder das Anzeigen von Raw-Dateien ist nicht möglich.

Daher ist eine wirklich bequeme Nutzung von Digitalfotos nur mit einem direkt angeschlossenen PC oder mit entsprechender Vorarbeit am PC möglich.

Ganz wichtig ist bei TV-Geräten und/oder Grafikkarten das Abschalten des sogenannten Overscan-Modus bei der Wiedergabe von TV, Fotos und Computergrafik. Dieses absolut unnütze Überbleibsel aus Analog-TV-Zeiten vergrößert das Bild um wenige Prozent, schneidet damit Bildinhalte ab und erlaubt keine pixelgenaue Darstellung.

### Projektor statt Fernsehgerät?

Eine ausreichende große Darstellung im Wohnzimmer kann natürlich mit einem 4K-Projektor anstelle eines UltraHD-TV-Gerätes erreicht werden. Abgesehen vom Bedarf einer Projektionsfläche und dem Betriebsgeräusch des Projektors ergibt sich die größte Einschränkung der Bildqualität

aber im reduzierten Schwarzwert. Auch bei abgedunkeltem Raum mit schwarz gestrichenen Wänden und dunklen Möbeln fällt stets viel Licht zurück auf die Leinwand.

Ein großes Display mit LCD- oder OLED-Technologie hat daher nach wie vor seine Berechtigung und vermutlich einen höheren WAF (Woman Acceptance Factor) [22] als ein schwarzes Kino-Wohnzimmer.

### Zusammenfassung

Mit UltraHD wird die Pixelzahl gegenüber FullHD auf 8,3 Megapixel vervierfacht und liegt damit endlich im Bereich üblicher Digitalfotos.

Für einen wirklichen Genuss von UltraHD ist aber nicht nur eine ausreichende Bildgröße mit einem optimalen Sehabstand erforderlich. Es wäre auch eine Erhöhung der Farbtiefe auf mindestens 10 Bit pro Pixel und ein vergrößerter Farbraum bis nahe an Rec.2020 sinnvoll. Dabei sollte eine Bildfrequenz von mindestens 60 Hertz erreicht werden. Siehe z. B. die Kaufberatung UHDTV [23].

Das neue 27-Zoll-Retina-Display des Apple iMac hat zum Beispiel eine sagenhafte Auflösung von 5120 x 2880 Pixel (5K, 16:9), den Farbraum DCI-P3 und 10 Bit Farbtiefe. DCI-P3 ist für Kinotechnik definiert und erreicht wie AdobeRGB den Rec.2020 auch nicht [24]. Außerdem kann übliche Foto-Software die 10 Bit unter OS-X gar nicht oder wie im Falle von Adobe-CC erst seit Dezember 2015 unterstützen [25]. Leider nicht für den 4K-iMac, sondern nur für das 5K-Modell.

Auch ein 31,5 Zoll (80 cm) UHD-Referenzmonitor von NEC mit dem Farbraum AdobeRGB, 10 Bit Farbtiefe und Leuchtdichte 350 cd/m<sup>2</sup> kostet immerhin noch

über 3.000 EUR. Damit vergleichbar ist der Studiomonitor Z32x von HP für circa 2.000 EUR.

UltraHD ist im Wohnzimmer aufgrund der Sehabstandsbedingung eher sinnlos und teuer. Auf dem Schreibtisch sieht die Situation schon anders aus. Für eine gute Entscheidung sollten aber die technischen Daten aller beteiligten Geräte möglichst genau betrachtet werden.

### Ausblick

Aufgrund der hohen Produktionskosten ist die Filmindustrie stark an hochqualitativen und zukunftssicheren Aufnahmemethoden für Bild und Ton interessiert. Diese Technik hält mit 3D, 4K, Surround-Audio... auch Einzug in die Kinos und wirkt ohne Zweifel mit gewisser Verzögerung auf Dienste und Produkte im Heim, vorrangig allerdings für TV- und Filminhalte. Daher sollten Freunde der AV- und Fototechnik keinen überstürzten Kauf eines allzu preisgünstigen UltraHD/4K-Anzeigegerätes tätigen.

Richtig zuversichtlich stimmen uns da die Geräte, Innovationen und Berichte über neue Display-Technologien mit OLED und Quantum-Dot (QD). Bei OLED scheinen die Kinderkrankheiten bald geheilt zu sein und mit Hilfe der QD-Technik soll der Farbraum Rec.2020 vielleicht schon vor dem Jahre 2020 erreicht werden? Da lohnt sich doch jedes Ansparen und Warten! □

Alle genannten Verweise [1] .. [25] auf Quellen finden Sie mit Internetlinks auf: [www.av-dialog-magazin.de](http://www.av-dialog-magazin.de)