



# Apple ProRes

Whitepaper  
Juni 2014

# Inhalt

|           |  |
|-----------|--|
| <b>3</b>  | <b>Einführung</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Autorisierte Apple ProRes-Implementierungen</b>   |
| <b>5</b>  | <b>Überblick über die Apple ProRes-Familie</b>   |
| <b>7</b>  | <b>Eigenschaften digitaler Bilder</b><br>Bildgröße (Volle Breite vs. Teilbreite)<br>Farbabtastung<br>Abtastbittiefe                      |
| <b>10</b> | <b>Eigenschaften von Apple ProRes-Codecs</b><br>Datenrate<br>Qualität<br>Leistung<br>Alphakanalunterstützung in Apple ProRes 4444-Codecs |
| <b>21</b> | <b>Anhang</b><br>Zieldatenraten  |
| <b>23</b> | <b>Glossar</b>   |

# Einführung

Apple ProRes ist einer der beliebtesten Codecs in der professionellen Postproduktion. Durch die Videocodecs der Apple ProRes-Familie wurde die Bearbeitung von Vollbild-, 10-Bit-, 4:2:2- und 4:4:4:4-High-Definition-(HD)-, 2K-, 4K- und 5K-Videoquellen mit Multistreamleistung in Final Cut Pro X möglich und bezahlbar. Dieses Whitepaper bietet detaillierte Informationen über alle sechs Mitglieder der Apple ProRes-Familie sowie technische Spezifikationen und Leistungskennzahlen.

# Autorisierte Apple ProRes-Implementierungen

Apple ProRes ist eine Codec-Technologie, die für eine hochwertige und leistungsstarke Bearbeitung in Final Cut Pro X verarbeitet wurde. Apple hat Apple ProRes für ausgewählte Unternehmen zur Verwendung in bestimmten Produkten und Arbeitsabläufen lizenziert.

Gelegentlich werden Codecs ohne Autorisierung in Soft- und Hardware-Produkten von Drittanbietern implementiert. Die Verwendung von nicht autorisierten Implementierungen (wie FFmpeg und abgeleitete Implementierungen) führt unter Umständen zu Fehlern beim Decodieren, Leistungseinbußen, Inkompatibilität und Instabilität.

Eine Liste aller autorisierten Apple ProRes-Lizenznehmer und -Entwickler sowie Informationen zur Lizenzierung finden Sie unter [support.apple.com/kb/HT5959?viewlocale=de\\_DE](https://support.apple.com/kb/HT5959?viewlocale=de_DE). Wenn Sie ein Produkt verwenden oder kaufen möchten, das Apple ProRes codiert und decodiert und nicht in dieser Liste aufgeführt ist, wenden Sie sich bitte unter [ProRes@apple.com](mailto:ProRes@apple.com) an Apple.

# Überblick über die Apple ProRes-Familie

Die ProRes-Codexs von Apple bieten eine unübertroffene Kombination aus Multistream-Echtzeitbearbeitungsleistung, beeindruckender Bildqualität und niedrigen Speicherraten. ProRes-Codexs von Apple nutzen die Multikernverarbeitung und bieten schnelle Decodiermodi bei reduzierter Auflösung. Alle ProRes-Codexs von Apple unterstützen alle Bildgrößen (einschließlich SD, HD, 2K, 4K und 5K) bei voller Auflösung. Die Datenraten variieren je nach Codextyp, Bildinhalt, Bildgröße und Bildrate.

Als Codec-Technologie mit variabler Bitrate (VBR) verwendet Apple ProRes weniger Bits auf einzelnen Bildern, bei denen eine Codierung mit einer höheren Datenrate nicht von Vorteil wäre. Alle ProRes-Codexs von Apple sind bildunabhängige (oder „Intra-Frame“-) Codexs, d. h., dass jedes Bild unabhängig von anderen Bildern codiert und decodiert wird. Diese Technik bietet die größtmögliche Bearbeitungsleistung und Flexibilität.

Apple ProRes umfasst die folgenden Formate:

- **Apple ProRes 4444 XQ:** Die hochwertigste Version von Apple ProRes für 4:4:4:4-Bildquellen (einschließlich Alphakanälen) mit einer sehr hohen Datenrate, um Details in Hochkontrastbildern (HDRI) zu erhalten, die von modernen hochqualitativen Digitalbildsensoren erzeugt werden. Apple ProRes 4444 XQ erhält dynamische Bereiche um ein Vielfaches besser als die dynamischen Bereiche von Rec. 709-Bildern – selbst für die Präzision bei der Verarbeitung extremer visueller Effekte, bei denen Tonskala-Schwarztöne oder Glanzlichter signifikant gestreckt sind. Wie beim standardmäßigen Apple ProRes 4444 unterstützt dieser Codec bis zu 12 Bit pro Bildkanal und bis zu 16 Bit für den Alphakanal. Apple ProRes 4444 XQ bietet eine Zieldatenrate von ungefähr 500 MBit/s für 4:4:4-Quellen bei 1920 x 1080 und 29,97 fps.

*Hinweis:* Für Apple ProRes 4444 XQ ist OS X 10.8 (Mountain Lion) oder höher erforderlich.

- **Apple ProRes 4444:** Eine äußerst hochqualitative Version von Apple ProRes für 4:4:4:4-Bildquellen (einschließlich Alphakanälen). Dieser Codec bietet voll auflösende 4:4:4:4 RGBA-Farben und eine Abbildungstreue in Mastering-Qualität. Ihr Unterschied im Vergleich zum Originalmaterial ist nicht erkennbar. Apple ProRes 4444 ist eine hochqualitative Lösung für das Speichern und den Austausch von Motion Graphics und Composites mit hervorragender Multigenerationsleistung und einem mathematisch verlustfreien Alphakanal von bis zu 16 Bit. Dieser Codec hat eine bemerkenswert niedrige Datenrate im Vergleich zu nicht komprimiertem 4:4:4-HD und bietet eine Zieldatenrate von ungefähr 330 MBit/s für 4:4:4-Quellen bei 1920 x 1080 und 29,97 fps. Er bietet auch eine direkte Codierung und Decodierung von RGB und Y'C<sub>B</sub>C<sub>R</sub>-Pixelformaten.

- **Apple ProRes 422 HQ:** Eine Version von Apple ProRes 422 mit höherer Datenrate, die die visuelle Qualität auf dem gleichen hohen Niveau wie Apple ProRes 4444 bietet, jedoch für 4:2:2-Bildquellen. Apple ProRes 422 HQ, das in der Postproduktionsindustrie von Videos viel verwendet wird, bietet die visuell verlustfreie Erhaltung hochqualitativer, professioneller HD-Videos, die von einem Single-Link-HD-SDI-Signal übertragen werden können. Dieser Codec unterstützt 4:2:2-Videoquellen mit einer 10-Bit-Farbtiefe in voller Breite und bleibt gleichzeitig über zahlreiche Decodierungs- und Codierungsprozesse hinweg visuell verlustfrei. Die Zieldatenrate des Apple ProRes 422 HQ beträgt etwa 220 MBit/s bei 1.920 x 1.080 und 29,97 fps.
- **Apple ProRes 422:** Ein hochqualitativer komprimierter Codec, der nahezu alle Vorteile des Apple ProRes 422 HQ bietet, jedoch bei 66 Prozent der Datenrate, für eine noch bessere Multistream-Echtzeitbearbeitungsleistung. Die Zieldatenrate des Apple ProRes 422 beträgt etwa 147 MBit bei 1920 x 1080 und 29,97 fps.
- **Apple ProRes 422 LT:** Ein höher komprimierter Codec als Apple ProRes 422 mit ungefähr 70 Prozent der Datenrate und 30 Prozent kleineren Dateigrößen. Dieser Codec eignet sich gut für Umgebungen, bei denen Speicherkapazität und Datenrate mit einem Aufpreis verbunden sind. Die Zieldatenrate des Apple ProRes 422 LT beträgt etwa 102 MBit/s bei 1920 x 1080 und 29,97 fps.
- **Apple ProRes 422 Proxy:** Ein noch höher komprimierter Codec als Apple ProRes 422 LT, der für die Nutzung in Offline-Arbeitsabläufen bestimmt ist, die niedrige Datenraten, aber vollauflegendes Bild erfordern. Die Zieldatenrate des Apple ProRes 422 Proxy beträgt etwa 45 MBit/s bei 1920 x 1080 und 29,97 fps.

*Hinweis:* Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 eignen sich ideal für den Austausch von Medien mit Motion Graphics, da sie quasi verlustfrei sind. Und sie sind die einzigen Apple ProRes-Codecs, die Alphakanäle unterstützen.

# Eigenschaften digitaler Bilder

Die technischen Eigenschaften digitaler Bilder entsprechen verschiedenen Aspekten der Bildqualität. Beispielsweise können hochauflösende HD-Bilder mehr Details übertragen als ihre SD-Gegenstücke mit einer niedrigeren Auflösung. 10-Bit-Bilder können feinere Farbabstufungen übertragen und gleichzeitig Farbstreifen vermeiden, die bei 8-Bit-Bildern auftreten können.

Die Rolle eines Codecs besteht darin, die Bildqualität bei einer bestimmten reduzierten Datenrate so gut wie möglich beizubehalten und gleichzeitig die schnellste Codierungs- und Decodierungsgeschwindigkeit zu bieten. Die ProRes-Familie von Apple unterstützt die drei wichtigsten Eigenschaften digitaler Bilder, die zur Bildqualität beitragen – *Bildgröße*, *Farbabtastung* und *Abtasttiefe* –, und bietet gleichzeitig bei jeder unterstützten Datenrate eine branchenführende Leistung und Qualität. Damit die Vorteile der Apple ProRes-Familie als Ganzes genutzt und für den jeweiligen Arbeitsablauf in der Postproduktion die richtigen Familienmitglieder ausgewählt werden, ist es wichtig, diese drei Eigenschaften zu verstehen.

## Bildgröße (Volle Breite vs. Teilbreite)

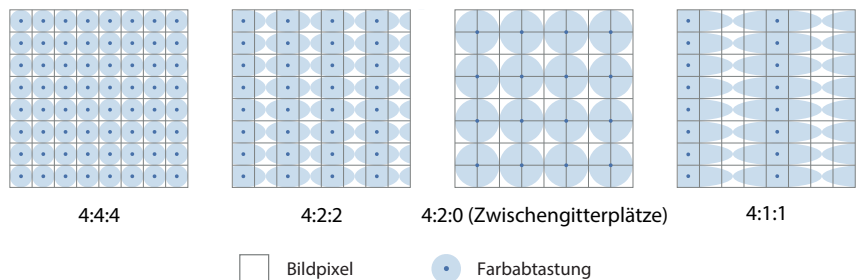
Viele Video-Camcorder codieren und speichern Videobilder bei HD-Formaten mit 1080 Zeilen bzw. 720 Zeilen mit weniger als der vollen HD-Breite von 1920 Pixel oder 1280 Pixel. Wenn solche Formate angezeigt werden, werden sie horizontal auf volle HD-Breiten hochgerechnet, aber sie können nicht die Details übertragen, die bei HD-Formaten mit voller Breite möglich wären.

Alle Mitglieder der Apple ProRes-Familie können HD-Videoquellen mit voller Breite codieren (manchmal auch als „Vollraster“-Videoquellen bezeichnet), um die maximal möglichen Details beizubehalten, die von einem HD-Signal übertragen werden können. Apple ProRes-Codecs können bei Bedarf auch HD-Quellen mit Teilbreite codieren und dabei mögliche Qualitäts- und Leistungseinbußen, die sich aus der Hochskalierung von Teilbreitenformaten ergeben, vor der Codierung verhindern.

## Farbabtastung

Für Farbbilder sind drei Informationskanäle erforderlich. Bei Computergrafiken wird die Farbe eines Pixels in der Regel durch R-, G- und B-Werte definiert. Bei herkömmlichem digitalen Video wird ein Pixel durch  $Y'$ -,  $C_B$ - und  $C_R$ -Werte dargestellt, wobei  $Y'$  für die „Luma“ oder den Graustufenwert steht und  $C_B$  und  $C_R$  die „Chroma“- oder Farbdifferenzinformationen enthalten. Da das Auge auf feine Chroma-Details weniger sensibel reagiert, ist es möglich, einen Mittelwert zu bilden und weniger  $C_B$ - und  $C_R$ -Abtastungen zu codieren, wobei ein minimaler sichtbarer Qualitätsverlust beim gelegentlichen Ansehen auftritt. Diese als *Farbunterabtastung* bezeichnete Technik wird häufig verwendet, um die Datenrate von Videosignalen zu reduzieren. Eine zu starke Farbunterabtastung kann jedoch die Qualität hinsichtlich Compositing, Farbkorrektur und anderen Bildverarbeitungsoperationen beeinträchtigen. Die Apple ProRes-Familie verarbeitet die folgenden derzeit beliebtesten Chroma-Formate:

- **4:4:4** ist das qualitativ hochwertigste Format zur Erhaltung von Chroma-Details. Bei 4:4:4-Bildquellen erfolgt eine Unterabtastung oder Mittelung von Chroma-Informationen. Für jede Pixelstelle erfolgen drei einzelne Abtastungen, entweder  $Y'$ ,  $C_B$  und  $C_R$  oder R, G und B. Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 unterstützen 4:4:4-Bildquellen aus RGB- oder  $Y'C_B C_R$ -Farbbereichen vollständig. Die vierte „4“ bedeutet, dass Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 für jede Pixelstelle auch eine einzelne Alphakanalabtastung übertragen können. Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 sollen 4:4:4-RGB+Alphaquellen, die aus Computergrafikanwendungen wie Motion exportiert wurden, sowie 4:4:4-Videoquellen aus High-End-Geräten wie Dual-Link-HDCAM-SR unterstützen.
- **4:2:2** ist ein qualitativ hochwertiges professionelles Videoformat, bei dem die Chroma-Werte von  $Y'C_B C_R$ -Bildern gemittelt werden, sodass nur eine  $C_B$ - und eine  $C_R$ -Abtastung bzw. ein „ $C_B/C_R$ -Chroma-Paar“ für jede  $Y'$ -Abtastung (Luma) vorhanden ist. Diese minimale Farbunterabtastung gilt in der Regel für qualitativ hochwertiges Compositing und Farbkorrektur als angemessen, obwohl mit 4:4:4-Quellen bessere Ergebnisse erzielt werden können. 4:2:2-Quellen werden durch viele beliebte Higher-End-Videocamcorderformate, einschließlich DVCPRO HD, AVC-Intra/100 und XDCAM HD422/50, erzeugt. Alle Mitglieder der Apple ProRes 422-Familie unterstützen die Chroma-Auflösung in 4:2:2-Videoformaten vollständig.
- **4:2:0** und **4:1:1** haben mit nur einem  $C_B/C_R$ -Chroma-Paar pro Luma-Abtastung die geringste Chroma-Auflösung der hier erwähnten Formate. Diese Formate werden von verschiedenen Videocamcordern für Verbraucher und Fachleute verwendet. Je nach Qualität des Bildverarbeitungssystems einer Kamera können die Formate 4:2:0 und 4:1:1 eine ausgezeichnete Anzeigequalität bieten. In Compositing-Arbeitsabläufen kann es jedoch schwierig sein, sichtbare Artefakte an den Rändern eines zusammengesetzten Elements zu vermeiden. Zu den 4:2:0-HD-Formaten gehören HDV, XDCAM HD, und AVC-Intra/50. 4:1:1 wird bei DV verwendet. Alle Apple ProRes 422-Formate können 4:2:0- und 4:1:1-Quellen unterstützen, wenn das Chroma vor dem Codieren auf 4:2:2 hochgerechnet wird.





## Abtastbittiefe

Die Anzahl von Bits, die zum Darstellen der einzelnen  $Y'$ -,  $C_B$ - oder  $C_R$ -Bildabtastwerte (oder R-, G- oder B-Abtastwerte) verwendet wird, bestimmt die Anzahl der möglichen Farben, die an jeder Pixelstelle vorhanden sein können. Die Abtastbittiefe bestimmt auch die Gleichmäßigkeit einer feinen Farbschattierung, die in einem Bildfarbverlauf ohne sichtbare Quantisierung oder Streifen dargestellt werden kann (z. B. einem Himmel bei Sonnenuntergang).

Traditionell sind digitale Bilder auf 8-Bit-Abtastwerte beschränkt. In den letzten Jahren hat die Anzahl der professionellen Geräte und Aufnahmetechniken, die 10-Bit- und sogar 12-Bit-Bildabtastwerte unterstützen, zugenommen. 10-Bit-Bilder finden sich nun häufig bei 4:2:2-Videoquellen mit professionellen digitalen (SDI, HD-SDI oder sogar HDMI) Ausgabeformaten. 4:2:2-Videoquellen überschreiten selten 10 Bit, aber eine zunehmende Anzahl von 4:4:4-Bildquellen fordert eine 12-Bit-Auflösung, wenngleich das eine oder die zwei niederwertigsten Bit bei durch Sensoren bereitgestellte Bilder mehr Rauschen als Signal aufweisen. 4:4:4-Quellen enthalten High-End-Filmscanner und filmähnliche Digitalkameras und können High-End-Computergrafiken beinhalten.

Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 unterstützen Bildquellen mit bis zu 12 Bits und behalten Alpha-Abtasttiefen von bis zu 16 Bit bei. Alle Apple ProRes 422-Codex unterstützen Bildquellen mit bis zu 10 Bit, auch wenn die beste 10-Bit-Qualität mit den Familienmitgliedern für höhere Bitraten – Apple ProRes 422 und Apple ProRes 422 HQ – erreicht wird.

*(Hinweis: Wie Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 können eigentlich alle Apple ProRes 422-Codex Bildabtastwerte mit mehr als 10 Bit akzeptieren, obwohl solche hohen Bittiefen bei 4:2:2- oder 4:2:0-Videoquellen sehr selten auftreten.)*

# Eigenschaften von Apple ProRes-Codecs

Jeder Bild- oder Videocodec kann dadurch charakterisiert werden, wie er sich in drei kritischen Dimensionen verhält: Komprimierung, Qualität und Komplexität. *Komprimierung* bedeutet Datenreduzierung oder wie viele Bits im Vergleich zum ursprünglichen Bild erforderlich sind. Bei Bildsequenzen oder Videostreams steht Komprimierung für die Datenrate, die für die Übertragung in Bit/s oder für die Speicherung in Byte/Stunde ausgedrückt wird. *Qualität* beschreibt, wie stark ein komprimiertes Bild dem Original ähnelt. „Farbtreue“ wäre daher eine genauere Bezeichnung, aber „Qualität“ ist der weit verbreitetere Begriff. *Komplexität* bezieht sich darauf, wie viele arithmetische Operationen berechnet werden müssen, um ein Einzelbild oder eine Bildsequenz zu komprimieren oder zu dekomprimieren. Bei Implementierungen von Software-Codecs gilt: Je geringer die Komplexität, desto höher die Anzahl der Videostreams, die in Echtzeit gleichzeitig decodiert werden können. Dies führt bei Postproduktionsanwendungen zu einer besseren Leistung.

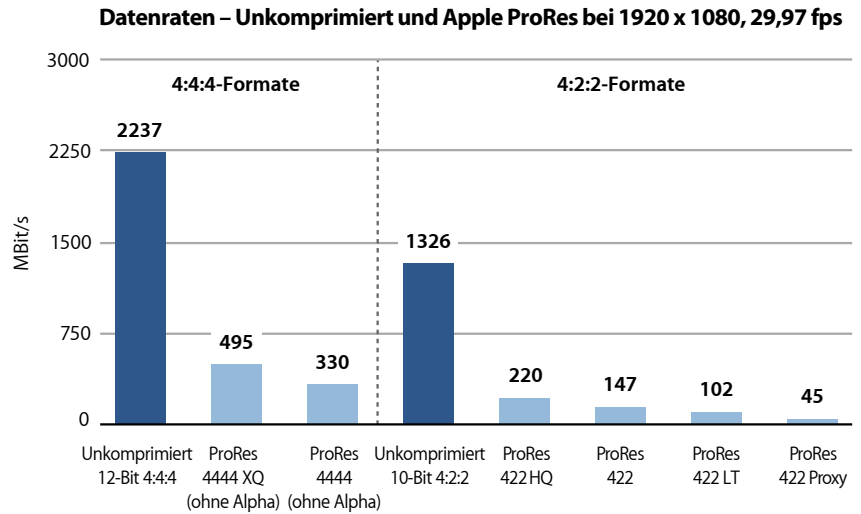
Bei jedem Design eines Bild- oder Video-Codecs müssen Kompromisse hinsichtlich dieser drei Eigenschaften eingegangen werden. Da Codecs, die in professionellen Camcordern oder für die professionelle Videobearbeitung verwendet werden, eine hohe Videoqualität beibehalten müssen, ist ein Kompromiss bei der Datenrate oder der Leistung nötig. AVCHD-Camcorder können beispielsweise H.264-Videostreams mit hervorragender Bildqualität bei einer geringen Datenrate erzeugen. Die Komplexität des H.264-Codecs ist jedoch sehr hoch, was bei der Echtzeit-Videobearbeitung mit mehreren Videostreams und Effekten eine geringere Leistung zur Folge hat. Im Vergleich bietet Apple ProRes eine ausgezeichnete Bildqualität sowie eine geringe Komplexität und ermöglicht somit eine bessere Leistung bei der Echtzeit-Videobearbeitung.

In den folgenden Abschnitten werden die Verhaltensweisen der verschiedenen Apple ProRes-Codecs beschrieben und die Codecs hinsichtlich dieser drei wichtigen Codec-Eigenschaften – *Datenrate*, *Qualität* und *Leistung* – miteinander verglichen.

## Datenrate

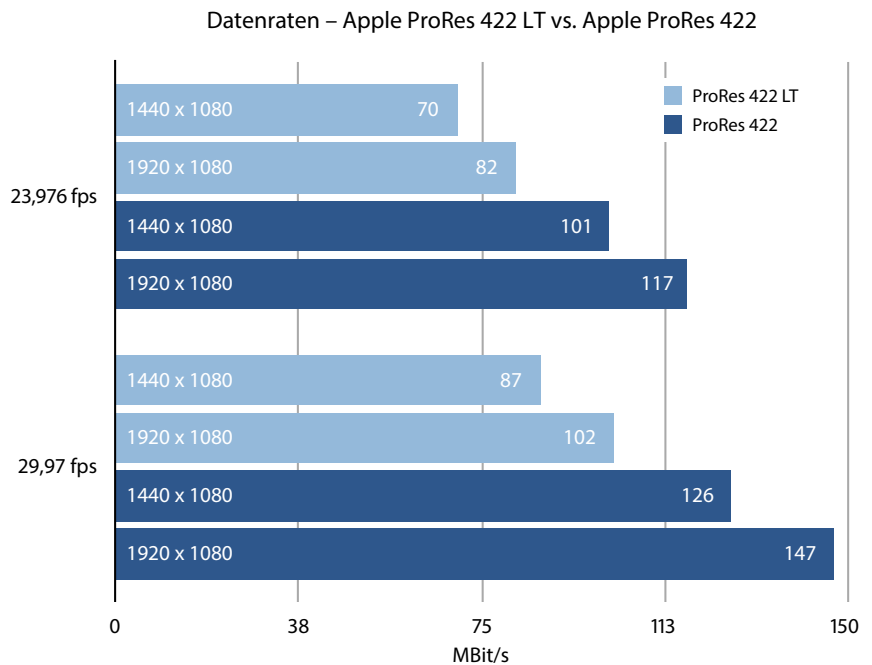
Die Apple ProRes-Familie umfasst eine große Menge an Datenraten, um eine Vielfalt an Arbeitsabläufen und Anwendungsmöglichkeiten zu unterstützen. In diesem Abschnitt werden die Apple ProRes-Datenraten miteinander und mit den Datenraten nicht komprimierter Videosignale verglichen. Außerdem ist in diesem Abschnitt dargestellt, wie sich die Bildgröße und die Bildrate auf die Apple ProRes-Datenraten auswirken. Abschließend enthält der Text Informationen zur variablen Bitrate (VBR) der Apple ProRes-Codec-Familie.

Im nachfolgenden Balkendiagramm sind die Datenraten der Apple ProRes-Formate im Vergleich zu denen von unkomprimierten 4:4:4-12-Bit- und 4:2:2-10-Bit-Bildsequenzen mit voller Breite (1920 x 1080) bei 29,97 Bildern/s dargestellt. Das Diagramm zeigt, dass selbst die beiden hochqualitativsten Apple ProRes-Formate – Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 – deutlich geringere Datenraten bieten als ihre unkomprimierten Gegenstücke.



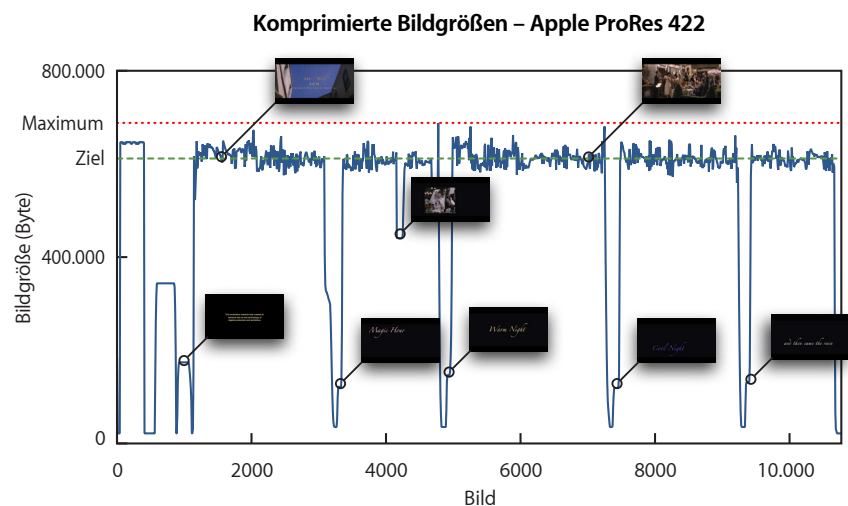
Die im obigen Balkendiagramm dargestellten Datenraten gelten für HD-Bilder mit voller Breite (1920 x 1080) bei 29,97 Bildern/s. Die Apple ProRes-Familie unterstützt auch das HD-Format 720p bei voller Breite (1280 x 720). Zusätzlich zu HD-Formaten mit voller Breite unterstützen die Apple ProRes-Codex drei verschiedene HD-Videoformate mit Teilbreite, die in vielen beliebten HD-Camcordern als Ausnahmeauflösungen verwendet werden: 1280 x 1080, 1440 x 1080 und 960 x 720.

Die Datenrate eines Apple ProRes-Formats wird hauptsächlich durch drei Schlüsselfaktoren bestimmt: Apple ProRes-Codec-Typ, codierte Bildgröße und Bildrate. Im nachfolgenden Diagramm sind einige Beispiele dargestellt, wie sich die Datenrate eines Apple ProRes-Formats durch Variieren einer dieser Schlüsselfaktoren ändert. Eine Tabelle der Datenraten einiger Apple ProRes-Formate, die für die Echtzeit-Bearbeitung in Final Cut Pro X unterstützt werden, finden Sie im Anhang.



Apple ProRes ist ein Video-Codec mit variabler Bitrate (VBR). Das bedeutet, dass die Anzahl der Bits, die zum Codieren der einzelnen Bilder in einem Stream verwendet wird, nicht konstant ist, sondern von einem Bild zum nächsten variiert. Ziel des Apple ProRes-Codierers ist es, für eine gegebene Videobildgröße und einen gegebenen Apple ProRes-Codec-Typ eine Zielanzahl an Bits pro Bild zu erreichen. Durch Multiplizieren dieser Anzahl mit den Bildern pro Sekunde des zu codierenden Videoformats wird die Zieldatenrate für ein bestimmtes Apple ProRes-Format errechnet.

Es handelt sich bei Apple ProRes zwar um einen VBR-Codec, die Variabilität ist in der Regel jedoch gering. Die tatsächliche Datenrate liegt in der Regel nahe bei der Zieldatenrate. Ein gegebenes Apple ProRes-Format weist auch eine maximale Anzahl an Bit pro Bild auf, die nie überschritten wird. Dieses Maximum beträgt etwa 10 Prozent mehr als die Zielanzahl der Bit pro Bild. Im nachfolgenden Diagramm ist die tatsächliche Anzahl der pro Bild verwendeten Bits in einer Apple ProRes-Beispielvideosequenz dargestellt.



Bei der abgebildeten Sequenz handelt es sich um einen ASC/DCI-StEM-Minifilm (Standard Evaluation Material) bei 1920 x 1080.

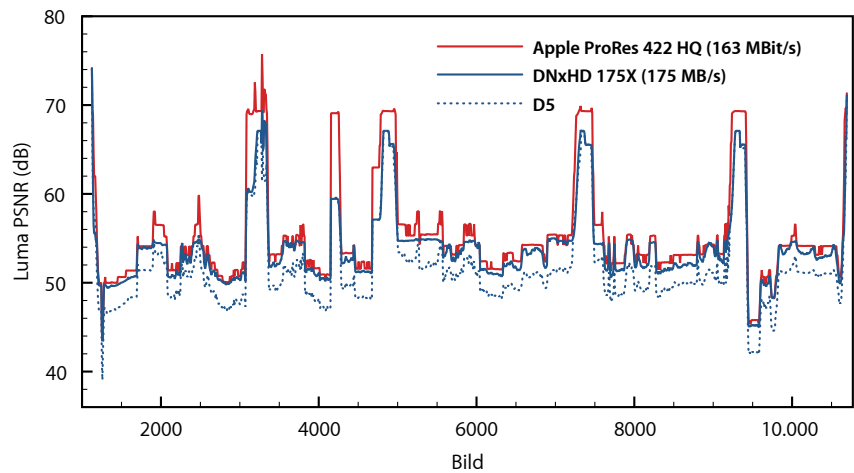
Wie Sie sehen, verwendet bei dieser speziellen Sequenz aus 10.000 Bildern nur ein Bild die maximale Anzahl an Bits und die meisten Bilder sind ein paar Prozent vom Ziel entfernt angehäuft. Viele Bilder verwenden jedoch deutlich weniger Bits als das Ziel. Das liegt daran, dass Apple ProRes-Codierer nur dann einem Bild Bits hinzufügen, wenn dadurch eine bessere Übereinstimmung mit dem ursprünglichen Bild erzielt wird. Ab einem bestimmten Punkt wird bei einfachen Einzelbildern wie einem komplett schwarzen Bild mit ein paar Wörtern durch Hinzufügen weiterer Bits keine bessere Qualität erzeugt. Apple ProRes-Codierer verschwenden keine Bits für ein Bild, wenn die Farbtreue durch Hinzufügen weiterer Bits nicht verbessert wird.

## Qualität

Auch wenn die Fähigkeit, hochqualitative Ausgaben zu erzeugen, ein wichtiges Attribut von Bild- und Video-Codecs ist, besteht das eigentliche Ziel eines Codes darin, die Qualität – oder Farbtreue – zu erhalten. Bilder durchlaufen vor der Apple ProRes-Codierung oft viele Verarbeitungsphasen und in diesen Phasen können den Bildern sichtbare Fehler oder „Artefakte“ hinzugefügt werden. Wenn eine Bildsequenz von Anfang an sichtbare Artefakte aufweist, behält Apple ProRes diese Artefakte ganz genau bei, wodurch Betrachter fälschlicherweise denken könnten, dass derartige Fehler vom Apple ProRes-Codec selbst verursacht wurden. Das Ziel eines jeden Mitglieds der Apple ProRes-Familie besteht darin, die Qualität der ursprünglichen Bildquelle genau beizubehalten – egal ob sie gut oder schlecht ist.

Die Fähigkeit der verschiedenen Apple ProRes-Codex, die Qualität beizubehalten, kann sowohl quantitativ als auch qualitativ ausgedrückt werden. Im Bereich der Bild- und Videokomprimierung ist das am weitesten verbreitete quantitative Maß der Farbtreue das Signal-Rausch-Verhältnis (Signal-to-noise ratio, PSNR). PSNR ist ein Maß dafür, wie stark ein komprimiertes Bild (nach dem Dekomprimieren) mit dem ursprünglichen Bild übereinstimmt, das dem Codierer bereitgestellt wurde. Je höher der PSNR-Wert, desto stärker stimmt das codierte Bild mit dem Original überein. Im nachfolgenden Diagramm ist der PSNR-Wert für jedes Einzelbild in einer Testsequenz für drei verschiedene Codex dargestellt: Apple ProRes 422 HQ, Avid DNxHD und Panasonic D5.

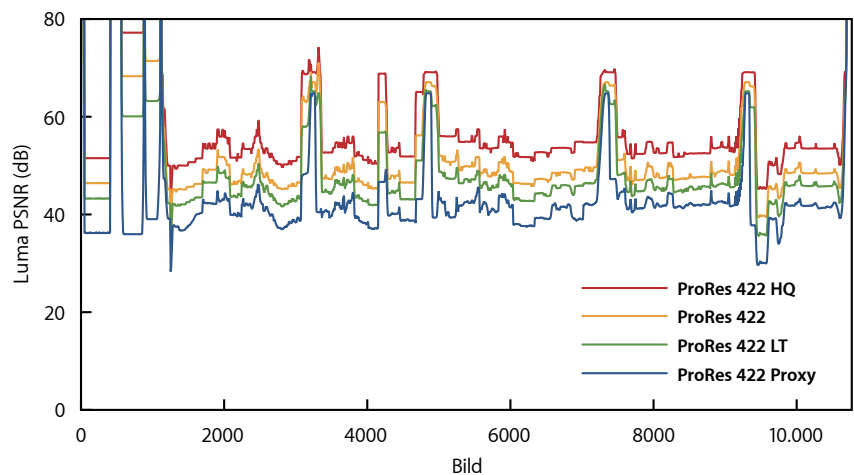
### PSNR-Vergleich – Apple ProRes, DNxHD und D5



Gemessen anhand eines ASC/DCI-StEM-Minifilms (Standard Evaluation Material) bei 1920 x 1080.

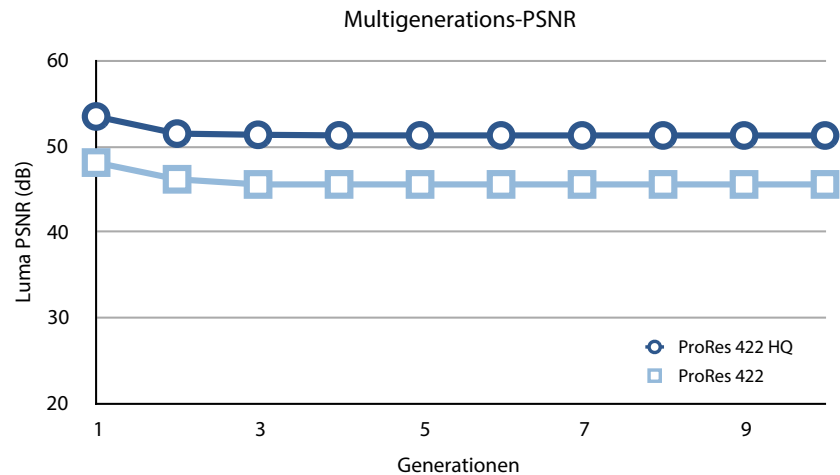
Im nächsten Diagramm ist dieselbe Sequenz für die einzelnen Apple ProRes 422-Codex dargestellt. Wie das Diagramm zeigt, gibt es zwischen den einzelnen Familienmitgliedern einen Unterschied beim PSNR-Wert. Diese Unterschiede entsprechen den Vergleichsdatenraten der Apple ProRes 422-Codex. Der PSNR-Wert für Apple ProRes 422 HQ beträgt 15 und ist 20 dB höher als der für Apple ProRes 422 Proxy, aber der Apple ProRes 422 HQ-Stream hat eine fast fünfmal so hohe Datenrate als der Apple ProRes 422 Proxy-Stream. Der Vorteil der höheren Farbtreue hat jedoch größere Dateien zur Folge. Daher ist es wichtig, das Apple ProRes-Familienmitglied entsprechend der Anforderungen Ihres Arbeitsablaufs auszuwählen.

### PSNR-Vergleich – Apple ProRes 422-Familie



Gemessen anhand eines ASC/DCI-StEM-Minifilms (Standard Evaluation Material) bei 1920 x 1080.

Neben der Angabe der visuellen Farbtreue bietet der Unterschied bei den PSNR-Werten auch eine Aussteuerungsreserve. Wenn Sie beispielsweise die ursprüngliche Sequenz aus dem obigen Diagramm und dann die mit Apple ProRes 422 HQ und Apple ProRes 422 codierten Versionen desselben Streams anzeigen würden, würden alle drei identisch aussehen. Der höhere PSNR-Wert für Apple ProRes 422 HQ gibt jedoch eine größere Aussteuerungsreserve für die Qualität an. Diese erhöhte Aussteuerungsreserve bedeutet, dass eine Bildsequenz über mehrere Generationen hinweg codiert und decodiert werden kann und dennoch wie im nachfolgenden Diagramm dargestellt visuell mit dem Original identisch ist.



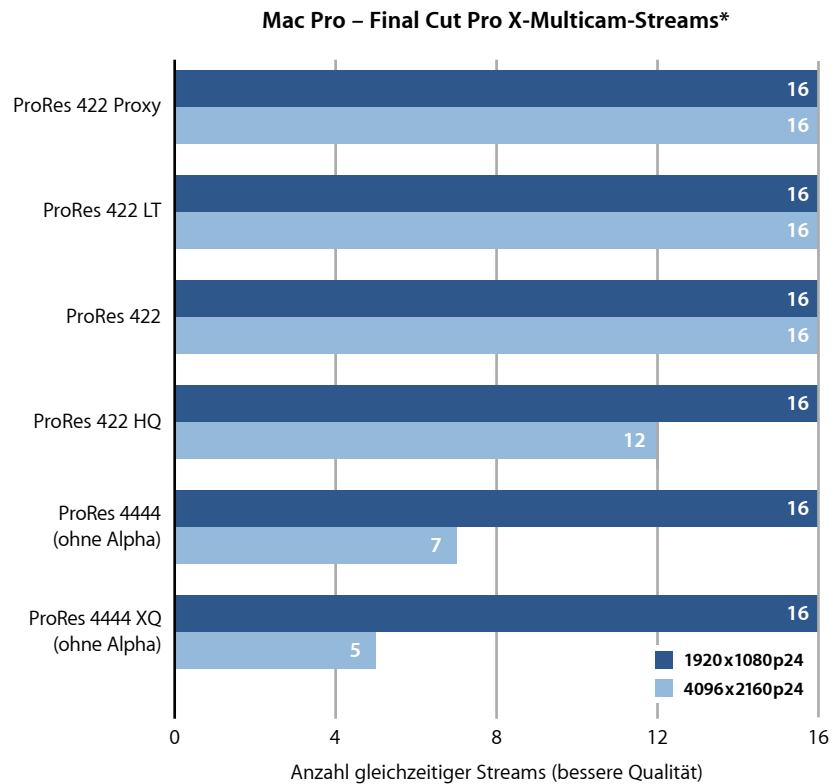
Da PSNR kein perfektes Maß für die komprimierte Bildtreue ist – es gibt keinen speziellen PSNR-Wert, der absolut garantieren kann, dass sich ein komprimiertes Bild visuell nicht vom Original unterscheidet –, ist eine qualitative Beschreibung der erwarteten Bildqualität für jeden Apple ProRes-Codec-Typ hilfreich. Beachten Sie, dass die qualitative Beschreibung in der Tabelle unten für Apple ProRes 4444 (ohne Alphakanal) mit der für Apple ProRes 422 HQ identisch ist. Das liegt daran, dass Apple ProRes 4444 trotz seiner um 50 Prozent höheren Zielbitrate als der von Apple ProRes 422 HQ zusätzliche Bits verwendet, um die größere Anzahl von Chroma-Abtastungen in 4:4:4 bei derselben hohen Qualitätsaussteuerungsreserve zu codieren, der von Apple ProRes 422 HQ für 4:2:2-Quellen sichergestellt wird.

| Apple ProRes-Codec | Sichtbare Unterschiede (1. Gen.)             | Qualitätsaussteuerungsreserve  |
|--------------------|--|--|
| ProRes 4444 XQ     | Praktisch nie                                | Sehr hoch, hervorragend für generationsübergreifende Bearbeitung und Kameraoriginale |
| ProRes 4444        | Praktisch nie                                | Sehr hoch, hervorragend für generationsübergreifende Bearbeitung                     |
| ProRes 422 HQ      | Praktisch nie                                | Sehr hoch, hervorragend für generationsübergreifende Bearbeitung                     |
| ProRes 422         | Sehr selten                                  | Hoch, sehr gut für die meisten generationsübergreifenden Arbeitsabläufe              |
| ProRes 422 LT      | Selten                                       | Gut für einige generationsübergreifende Arbeitsabläufe                               |
| ProRes 422 Proxy   | Fein bei Bildern mit hoher Detailgenauigkeit | OK, für die erste Generation zum Anzeigen und Bearbeiten                             |

## Leistung

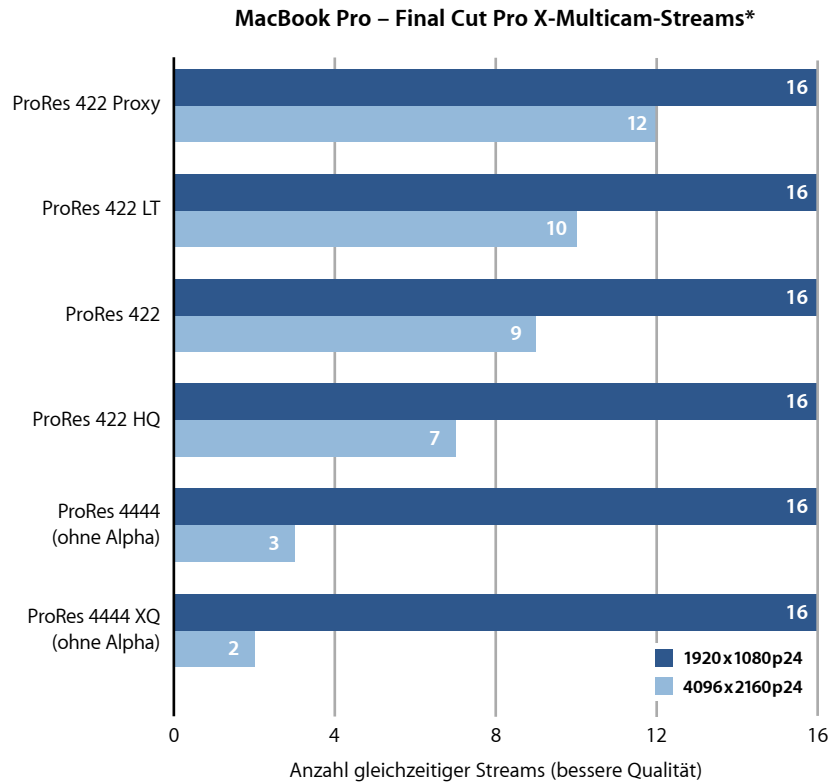
Die Apple ProRes-Codec-Familie ist für Geschwindigkeit ausgelegt und eine hohe Geschwindigkeit ist beim Codieren und Decodieren absolut notwendig, um Engpässe im Arbeitsablauf zu vermeiden.

Die schnelle Decodierung ist insbesondere bei der Multistream-Echtzeitbearbeitung in Final Cut Pro X wichtig. Die Apple ProRes-Codec-Familie schneidet dabei außergewöhnlich gut ab. Für jeden Apple ProRes-Codec-Typ ist in den folgenden Diagrammen die Anzahl der Streams in voller Breite angezeigt, die auf einem Mac Pro- und einem MacBook Pro-Computer gleichzeitig in Echtzeit bearbeitet werden können. (In jedem Diagramm ist die Anzahl möglicher 4096-x-2160-4K-Streams hellblau dargestellt. Die Anzahl möglicher 1920-x-1080-HD-Streams ist dunkelblau dargestellt.) In der Praxis müssen Sie natürlich meist nicht fünf, sechs oder mehr Streams gleichzeitig bearbeiten. Diese Diagramme vermitteln eine Vorstellung davon, wie viel Verarbeitungszeit für Echtzeit-Untertitelung, Effekte usw. bei Verwendung von ein, zwei oder drei Streams zur Verfügung steht.



\*Mit der Multicam-Funktion von Final Cut Pro X können Sie bis zu 16 Kameraperspektiven gleichzeitig anzeigen, während Sie Kameraperspektiven in Echtzeit wechseln oder schneiden.

Die Tests wurden von Apple in März 2014 mit Serienmodellen des Mac Pro 12-Core mit 2,7 GHz, 1-TB-Flashspeicher, 64 GB RAM, AMD FirePro D700-Grafik und OS X 10.9.2 durchgeführt. Getestet wurde mit einer Vorabversion von Final Cut Pro X und 10 Minuten langen 1920x1080p 24- und 4096x2160p24-ASC-DCI-StEM-Multicam-Clips (Standard Evaluation Material) für die einzelnen Inhaltstypen. Mac Pro überwacht die Wärme- und Energiebedingungen des Systems kontinuierlich und kann die Prozessorgeschwindigkeit bei Bedarf anpassen, damit ein optimaler Systembetrieb beibehalten wird. Die Leistung kann je nach Systemkonfiguration und Inhalt variieren.



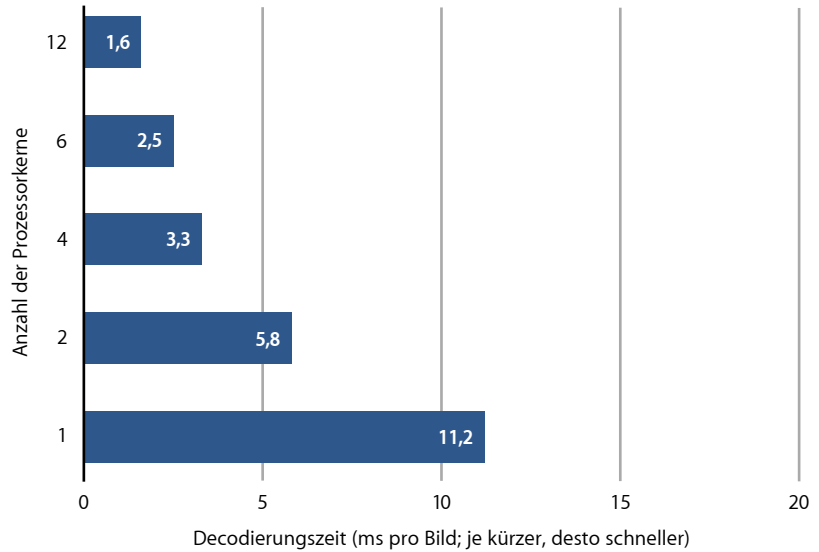
\*Mit der Multicam-Funktion von Final Cut Pro X können Sie bis zu 16 Kameraperspektiven gleichzeitig anzeigen, während Sie Kameraperspektiven in Echtzeit wechseln oder schneiden.

Die Tests wurden von Apple im März 2014 mit Serienmodellen des MacBook Pro (15") mit Retina-Display, 2,6-GHz-Quad-Core-Prozessor, 1-TB-Flashspeicher, 16GB RAM, NVIDIA GeForce GT 750M-Grafik und OS X 10.9.2 durchgeführt. Getestet wurde mit einer Vorabversion von Final Cut Pro X und 100 Minuten langen 1920x1080p24- und 4096x2160p24-ASC-DCI-STEM-Multicam-Clips (Standard Evaluation Material für die einzelnen Inhaltstypen). MacBook Pro überwacht die Wärme- und Energiebedingungen des Systems kontinuierlich und kann die Prozessorgeschwindigkeit bei Bedarf anpassen, damit ein optimaler Systembetrieb beibehalten wird. Die Leistung kann je nach Systemkonfiguration und Inhalt variieren.



Die Mac-Notebooks und -Desktopcomputer von heute beruhen auf Multikernverarbeitung. Daher muss die Geschwindigkeit eines Decoders zur schnellen Bearbeitung bei steigender Anzahl der Verarbeitungskerne skalierbar sein, d. h., dass die Decodierungszeit pro Bild abnehmen sollte. Viele Implementierungen von Industrie-Codecs geraten an ihre Grenzen und setzen nicht auf Leistungssteigerungen, wenn mehr Prozessoren hinzukommen. Apple ProRes-Codecs werden jedoch bei zunehmender Kernzahl schneller, wie das folgende Diagramm zeigt.

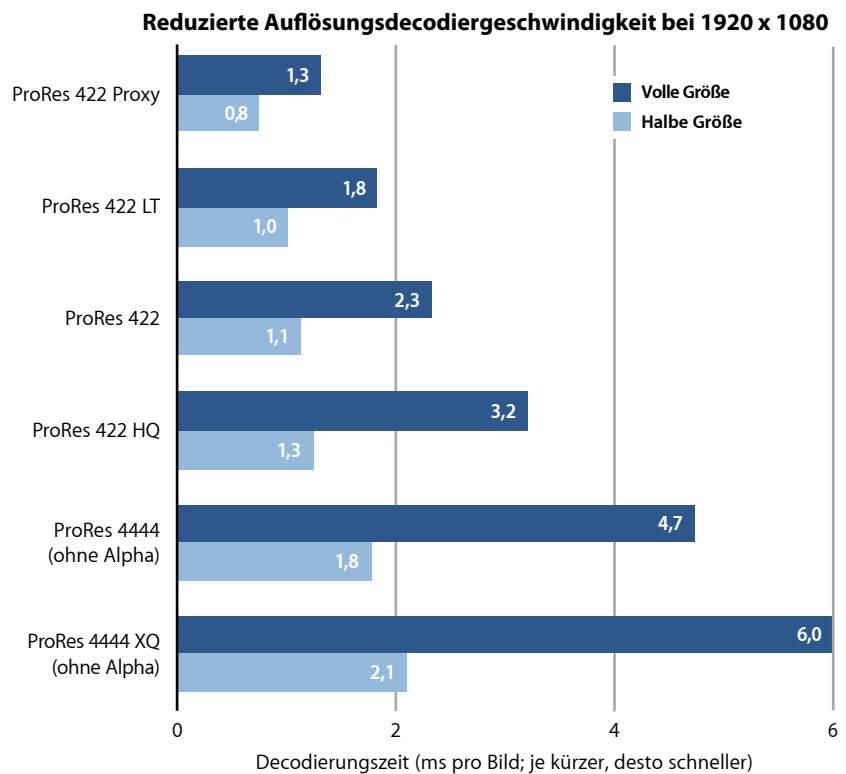
#### Skalierung für mehrere Prozessoren – Apple ProRes 422 HQ bei 1920 x 1080



Die Tests wurden von Apple im März 2014 mit OS X Mavericks v.10.9.2 und einem Mac Pro mit 12-Core Intel Xeon-Prozessor mit 2,7 GHz durchgeführt. Die Leistung kann je nach Systemkonfiguration, Inhalt und zur Leistungsmessung verwendetem Tool variieren.

Die ProRes-Decoder von Apple wurden insbesondere für die hochqualitative Bearbeitung von Codecs für Final Cut Pro X entwickelt. Sie sind nicht nur bei der Decodierung von Videos bei voller Bildgröße und Bildqualität schnell, sondern bei der Decodierung von Bildern mit halber Bildgröße (1/2 Höhe und 1/2 Breite) sogar noch schneller. Insbesondere bei hochauflösenden Formaten wie HD und 2K bieten Bilder mit halber Größe viele Bildschirmdetails für Bearbeitungsentscheidungen.

Das nachfolgende Diagramm zeigt, dass die Decodierung bei halber Größe deutlich schneller ist als die bereits schnelle Decodierung bei voller Bildgröße, und zwar insbesondere bei den hochqualitativen Apple ProRes-Codecs. Die schnellere Decodierungsgeschwindigkeit bedeutet wiederum, dass mehr CPU-Zeit zum Decodieren weiterer Streams oder Echtzeit-Effekte verfügbar ist.



Die Tests wurden von Apple im März 2014 mit Serienmodellen des MacBook Pro (15") mit Retina-Display, 2,6-GHz-Quad-Core-Prozessor, 1-TB-Flashspeicher, 16 GB RAM, NVIDIA GeForce GT 750M-Grafik und OS X 10.9.2 durchgeführt. MacBook Pro überwacht die Wärme- und Energiebedingungen des Systems kontinuierlich und kann die Prozessorgeschwindigkeit bei Bedarf anpassen, damit ein optimaler Systembetrieb beibehalten wird. Die Leistung kann je nach Systemkonfiguration, Inhalt und zur Leistungsmessung verwendetem Tool variieren.

Obwohl eine schnelle Decodierungsgeschwindigkeit der primäre Aspekt bei der Echtzeitbearbeitungsleistung ist, ist eine schnelle Codierungsgeschwindigkeit bei wesentlichen Schritten in Arbeitsabläufen der Postproduktion ebenso wichtig. Wie die Apple ProRes-Decodierer wurde die Apple ProRes-Familie der Codierer als effiziente Softwareimplementierung konzipiert und die schnelle Codierung wird durch effiziente Nutzung von Multikernprozessoren erreicht. Eine schnelle Codierungsgeschwindigkeit ist für einige Schritte absolut notwendig und bei praktisch allen anderen auch wichtig.

Bei der Echtzeit-Erfassung und Apple ProRes-Codierung von Basisbandvideosignalen (analoge oder digitale SD- oder HD-Signalquellen) müssen Apple ProRes-Software-Codierer schnell genug sein, um mit den eingehenden Echtzeit-Videobildern mithalten zu können. Dazu muss ein entsprechendes Videoaufnahmegerät verwendet werden. Sonst ist jedoch keine spezielle Codierhardware erforderlich, um eine Echtzeit-Erfassung von Basisband-Videosignalen mit Apple ProRes-Formaten zu erzielen.

Bei der dateibasierten Umcodierung von Videodateien, die mit anderen Video-Codecs (und nicht denen von Apple ProRes) codiert wurden, beinhaltet die Umcodierung zu Apple ProRes die Decodierung der anfänglichen Technik und eine erneute Codierung zu Apple ProRes. Die minimale Gesamtzeit für die Umcodierung ist daher die Summe aus der Zeit, die zum Decodieren der Datei erforderlich ist, und der Zeit, die zum erneuten Codieren zu Apple ProRes benötigt wird. Bei einigen Video-Codec-Formaten, die bekanntermaßen hochkomplex und daher bei der Decodierung relativ langsam sind (z. B. JPEG 2000 und das systemeigene Codec-Format REDCODE® RAW (R3D)) wird die Gesamtzeit für die Umcodierung durch die Decodierungszeit bestimmt. Dennoch hilft die schnelle Apple ProRes-Codierung dabei, die insgesamt für die Umcodierung benötigte Zeit zu reduzieren.

Eine schnelle Codierung und Decodierung ist auch beim Rendern und Exportieren von Vorteil. Das Rendern von Effekten als Teil eines kreativen Prozesses oder als letzter Schritt vor der Ausgabe stellt in der Regel eine Decodierung des Quellmediums und eine erneute Codierung des ausgewählten finalen Ausgabeformats dar. Während des Renderingvorgangs müssen alle Decodierungs-, Mischungs- und Compositing-Schritte vorab berechnet werden, bevor sie in das komprimierte Format codiert werden, das in Ihrem Final Cut Pro X-Projekt definiert wurde. Obwohl Sie einen beliebigen Apple ProRes-Codec als Renderingformat – von Apple ProRes 422 LT bis Apple ProRes 4444 XQ – auswählen und es während der Postproduktion jederzeit ändern können, wird von Final Cut Pro X standardmäßig in Apple ProRes 422 gerendert.

Beim Rendern im Apple ProRes-Format wird die Gesamtzeit für das Rendering durch die Geschwindigkeit der Decodierungs- und der Codierungsschritte bestimmt, die im Vergleich mit anderen komplexeren und langsameren Codecs bedeutend schneller verlaufen können. Der Geschwindigkeitsvorteil von Apple ProRes ist auch beim Exportieren einer Datei am Ende eines Projekts hilfreich. Wenn die Bereitstellung per Internet, DVD oder Blu-ray Disc erfolgen muss, können Sie den Exportvorgang beschleunigen, indem Sie die Bearbeitung im Apple ProRes-Format vornehmen und nicht in anderen professionellen Formaten, einschließlich unkomprimierter Formate.

## Alphakanalunterstützung in Apple ProRes 4444-Codecs

Zusätzlich zu den  $Y'CbCr$ - oder RGB-4:4:4-Pixeln unterstützen die Codec-Typen Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 einen optionalen Alphakanal. Die Abtastnomenklatur für solche  $Y'CbCrA$ - oder RGBA-Bilder lautet 4:4:4:4, wodurch angegeben wird, dass für jede Pixelstelle zusätzlich zu den drei  $Y'CbCr$ - oder RGB-Werten ein Alpha- oder A-Wert vorhanden ist. Ein Alphawert gibt den Anteil seines zugehörigen RGB- oder  $Y'CbCr$ -Pixels an, der mit dem Pixel an der entsprechenden Stelle eines Hintergrundbild gemischt werden soll. Dadurch wird ein Effekt unterschiedlicher Transparenz zur Verwendung in Compositing-Arbeitsabläufen geschaffen. Im Gegensatz zu  $Y'CbCr$ - oder RGB-Pixelwerten stellen Alphawerte keine Abtastungen realer Bilder oder sogar Abtastungen computergenerierter Bilder dar, die beide durch Menschen betrachtet werden sollen.

Alphawerte sind eigentlich numerische Daten, die angeben, wie ein Bild im Vordergrund mit einem Bild im Hintergrund gemischt oder zusammengeschnitten werden soll. Aus diesem Grund codieren Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 Alphawerte ganz genau und nicht ungefähr. Diese genaue Art der Codierung wird als „verlustfrei“ (oder manchmal als „mathematisch verlustfrei“) Komprimierung bezeichnet. Sie verwendet andere Codierungstechniken als die der Apple ProRes-Codec-Familie für RGB- oder  $Y'CbCr$ -Pixelwerte, wobei eine ungefähre Codierung akzeptabel ist, solange Unterschiede vom Original für den Betrachter nicht sichtbar sind und sie sich nicht auf die Verarbeitung auswirken. Die Codecs Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 codieren Alphakanalwerte mit einer beliebigen Bittiefe bis einschließlich 16 Bit verlustfrei.

Zusammenfassend können die Codecs Apple ProRes 4444 XQ und Apple ProRes 4444 beim Codieren der  $Y'CbCr$ - oder RGB-Pixelwerte zum Anzeigen als „praktisch verlustfrei“ und beim Codieren der Alphawerte, die das Compositing angeben, als „mathematisch verlustfrei“ eingestuft werden. Folglich wird der Grad der Qualität und der Farbtreue bei Apple ProRes 4444-Alphakanälen nie in Frage gestellt, da die codierten Daten immer genau mit dem Original übereinstimmen.

Bei einer beliebigen verlustfreien Komprimierung variiert die Datenrate je nach der Menge der zu codierenden Bilddetails. Dies gilt auch für die verlustfreie Apple ProRes 4444-Alphakanalkomprimierung. In der Praxis enthalten Alphakanäle jedoch nur die Informationen zu Objektkonturen, sodass durch den optionalen Alphakanal meist nur ein paar zusätzliche Prozente zur Apple ProRes 4444-Gesamtdatenrate hinzukommen. Daher wird die Leistung beim Decodieren oder Codieren durch das Vorhandensein eines Alphakanals in einem Apple ProRes 4444-Stream in der Regel um maximal etwa 10 Prozent oder weniger reduziert.

# Anhang

## Zielraten

| Maße        | Bild Rate | ProRes 422 Proxy |      | ProRes 422 LT |      | ProRes 422 |      | ProRes 422 HQ |      | ProRes 4444 (ohne Alpha) |      | ProRes 4444 XQ (ohne Alpha) |      |
|-------------|-----------|------------------|------|---------------|------|------------|------|---------------|------|--------------------------|------|-----------------------------|------|
|             |           | MBit/s           | GB/h | MBit/s        | GB/h | MBit/s     | GB/h | MBit/s        | GB/h | MBit/s                   | GB/h | MBit/s                      | GB/h |
| 720 x 486   | 24p       | 10               | 4    | 23            | 10   | 34         | 15   | 50            | 23   | 75                       | 34   | 113                         | 51   |
|             | 60i, 30p  | 12               | 5    | 29            | 13   | 42         | 19   | 63            | 28   | 94                       | 42   | 141                         | 64   |
| 720 x 576   | 50i, 25p  | 12               | 6    | 28            | 13   | 41         | 18   | 61            | 28   | 92                       | 41   | 138                         | 62   |
| 960 x 720   | 24p       | 15               | 7    | 35            | 16   | 50         | 23   | 75            | 34   | 113                      | 51   | 170                         | 76   |
|             | 25p       | 16               | 7    | 36            | 16   | 52         | 24   | 79            | 35   | 118                      | 53   | 177                         | 80   |
|             | 30p       | 19               | 9    | 44            | 20   | 63         | 28   | 94            | 42   | 141                      | 64   | 212                         | 95   |
|             | 50p       | 32               | 14   | 73            | 33   | 105        | 47   | 157           | 71   | 236                      | 106  | 354                         | 159  |
|             | 60p       | 38               | 17   | 87            | 39   | 126        | 57   | 189           | 85   | 283                      | 127  | 424                         | 191  |
| 1280 x 720  | 24p       | 18               | 8    | 41            | 18   | 59         | 26   | 88            | 40   | 132                      | 59   | 198                         | 89   |
|             | 25p       | 19               | 9    | 42            | 19   | 61         | 28   | 92            | 41   | 138                      | 62   | 206                         | 93   |
|             | 30p       | 23               | 10   | 51            | 23   | 73         | 33   | 110           | 49   | 165                      | 74   | 247                         | 111  |
|             | 50p       | 38               | 17   | 84            | 38   | 122        | 55   | 184           | 83   | 275                      | 124  | 413                         | 186  |
|             | 60p       | 45               | 20   | 101           | 46   | 147        | 66   | 220           | 99   | 330                      | 148  | 495                         | 223  |
| 1280 x 1080 | 24p       | 31               | 14   | 70            | 31   | 101        | 45   | 151           | 68   | 226                      | 102  | 339                         | 153  |
|             | 60i, 30p  | 38               | 17   | 87            | 39   | 126        | 57   | 189           | 85   | 283                      | 127  | 424                         | 191  |
| 1440 x 1080 | 24p       | 31               | 14   | 70            | 31   | 101        | 45   | 151           | 68   | 226                      | 102  | 339                         | 153  |
|             | 50i, 25p  | 32               | 14   | 73            | 33   | 105        | 47   | 157           | 71   | 236                      | 106  | 354                         | 159  |
|             | 60i, 30p  | 38               | 17   | 87            | 39   | 126        | 57   | 189           | 85   | 283                      | 127  | 424                         | 191  |
| 1920 x 1080 | 24p       | 36               | 16   | 82            | 37   | 117        | 53   | 176           | 79   | 264                      | 119  | 396                         | 178  |
|             | 50i, 25p  | 38               | 17   | 85            | 38   | 122        | 55   | 184           | 83   | 275                      | 124  | 413                         | 186  |
|             | 60i, 30p  | 45               | 20   | 102           | 46   | 147        | 66   | 220           | 99   | 330                      | 148  | 495                         | 223  |
|             | 50p       | 76               | 34   | 170           | 77   | 245        | 110  | 367           | 165  | 551                      | 248  | 826                         | 372  |
|             | 60p       | 91               | 41   | 204           | 92   | 293        | 132  | 440           | 198  | 660                      | 297  | 990                         | 445  |

Zielratenrate (Fortsetzung)

| Maße        | Bild Rate | ProRes 422 Proxy |      | ProRes 422 LT |      | ProRes 422 |      | ProRes 422 HQ |      | ProRes 4444 (ohne Alpha) |      | ProRes 4444 XQ (ohne Alpha) |      |
|-------------|-----------|------------------|------|---------------|------|------------|------|---------------|------|--------------------------|------|-----------------------------|------|
|             |           | MBit/s           | GB/h | MBit/s        | GB/h | MBit/s     | GB/h | MBit/s        | GB/h | MBit/s                   | GB/h | MBit/s                      | GB/h |
|             |           |                  |      |               |      |            |      |               |      |                          |      |                             |      |
| 2048 x 1080 | 24p       | 41               | 19   | 93            | 42   | 134        | 60   | 201           | 91   | 302                      | 136  | 453                         | 204  |
|             | 25p       | 43               | 19   | 97            | 44   | 140        | 63   | 210           | 94   | 315                      | 142  | 472                         | 212  |
|             | 30p       | 52               | 23   | 116           | 52   | 168        | 75   | 251           | 113  | 377                      | 170  | 566                         | 255  |
|             | 50p       | 86               | 39   | 194           | 87   | 280        | 126  | 419           | 189  | 629                      | 283  | 944                         | 425  |
|             | 60p       | 103              | 46   | 232           | 104  | 335        | 151  | 503           | 226  | 754                      | 339  | 1131                        | 509  |
| 2048 x 1556 | 24p       | 56               | 25   | 126           | 57   | 181        | 81   | 272           | 122  | 407                      | 183  | 611                         | 275  |
|             | 25p       | 58               | 26   | 131           | 59   | 189        | 85   | 283           | 127  | 425                      | 191  | 637                         | 287  |
|             | 30p       | 70               | 31   | 157           | 71   | 226        | 102  | 340           | 153  | 509                      | 339  | 764                         | 344  |
|             | 50p       | 117              | 52   | 262           | 118  | 377        | 170  | 567           | 255  | 850                      | 382  | 1275                        | 574  |
|             | 60p       | 140              | 63   | 314           | 141  | 452        | 203  | 679           | 306  | 1019                     | 458  | 1528                        | 688  |
| 3840 x 2160 | 24p       | 145              | 65   | 328           | 148  | 471        | 212  | 707           | 318  | 1061                     | 477  | 1591                        | 716  |
|             | 25p       | 151              | 68   | 342           | 154  | 492        | 221  | 737           | 332  | 1106                     | 498  | 1659                        | 746  |
|             | 30p       | 182              | 82   | 410           | 185  | 589        | 265  | 884           | 398  | 1326                     | 597  | 1989                        | 895  |
|             | 50p       | 303              | 136  | 684           | 308  | 983        | 442  | 1475          | 664  | 2212                     | 995  | 3318                        | 1493 |
|             | 60p       | 363              | 163  | 821           | 369  | 1178       | 530  | 1768          | 795  | 2652                     | 1193 | 3977                        | 1790 |
| 4096 x 2160 | 24p       | 155              | 70   | 350           | 157  | 503        | 226  | 754           | 339  | 1131                     | 509  | 1697                        | 764  |
|             | 25p       | 162              | 73   | 365           | 164  | 524        | 236  | 786           | 354  | 1180                     | 531  | 1769                        | 796  |
|             | 30p       | 194              | 87   | 437           | 197  | 629        | 283  | 943           | 424  | 1414                     | 636  | 2121                        | 955  |
|             | 50p       | 323              | 145  | 730           | 328  | 1049       | 472  | 1573          | 708  | 2359                     | 1062 | 3539                        | 1593 |
|             | 60p       | 388              | 174  | 875           | 394  | 1257       | 566  | 1886          | 848  | 2828                     | 1273 | 4242                        | 1909 |
| 5120 x 2160 | 24p       | 194              | 87   | 437           | 197  | 629        | 283  | 943           | 424  | 1414                     | 636  | 2121                        | 955  |
|             | 25p       | 202              | 91   | 456           | 205  | 655        | 295  | 983           | 442  | 1475                     | 664  | 2212                        | 995  |
|             | 30p       | 243              | 109  | 546           | 246  | 786        | 354  | 1178          | 530  | 1768                     | 795  | 2652                        | 1193 |
|             | 50p       | 405              | 182  | 912           | 410  | 1311       | 590  | 1966          | 885  | 2949                     | 1327 | 4424                        | 1991 |
|             | 60p       | 485              | 218  | 1093          | 492  | 1571       | 707  | 2357          | 1061 | 3535                     | 1591 | 5303                        | 2386 |

# Glossar

**Alphakanal** Ein zusätzlicher Informationskanal, der optional in RGB- und  $Y'CbCr$ -Bilder eingebunden werden kann. Wenn er in ein RGB-Bild eingebunden ist, gibt es für jeden R-, G- und B-Wert, der ein Pixel definiert, einen A-Wert, der angibt, wie das RGB-Pixel mit einem Hintergrundbild gemischt werden soll. In der Regel gibt ein extremer A-Wert eine Transparenz von 100 % und der andere extreme Wert eine Deckkraft von 100 % an. Werte zwischen diesen Extremen geben den Grad der Deckkraft an.

**Apple ProRes-Format** Ein mit Apple ProRes codierter Bitstream, in der Regel in Form einer .mov-Datei, für den der Apple ProRes-Codec-Typ und das Videoformat angegeben sind. Beispielsweise ein Format „Apple ProRes 422 HQ 1920 x 1080i 29,97“.

**Bildsequenz** Eine geordnete Reihe von Einzelbildern, die beim Anzeigen mit einer angegebenen Bildrate vom Betrachter als Bildsequenz mit Echtzeit-Bewegung wahrgenommen werden. Wenn eine Bildsequenz nicht als „Video“ bezeichnet wird, handelt es sich oft um eine Reihe von RGB-Bildern (mit einem optionalen Alphakanal) wie bei den Dateiformaten DPX, TIFF und OpenEXR.

**Codec** Abkürzung für *Compressor/Decompressor*. Ein allgemeiner Begriff, der sich auf den Codierer und Decodierer bezieht.

**Codierer** Ein Algorithmus oder Verarbeitungssystem, der bzw. das unkomprimierte Bilder als Eingabe verwendet und einen komprimierten Bitstream als Ausgabe bereitstellt. Bei Apple ProRes bezieht sich dieser Begriff auf eine QuickTime-Compressor-Komponente, die eine mit Apple ProRes codierte .mov-Datei generiert.

**Decodierer** Ein Algorithmus oder Verarbeitungssystem, der bzw. das einen komprimierten Bitstream als Eingabe verwendet und eine Sequenz von Bildern oder Videobildern als Ausgabe bereitstellt. Bei Apple ProRes bezieht sich dieser Begriff auf eine QuickTime-Decompressor-Komponente, die eine mit Apple ProRes codierte .mov-Datei zur weiteren Verarbeitung oder Anzeige konvertiert.

**verlustfrei** Ein Codec-Typ, bei dem das Codieren eines Einzelbilds und das anschließende Decodieren zu einem Bild führt, das mathematisch garantiert dieselben Pixelwerte wie das Original aufweist.

**Video** Eine Bildsequenz, bei der für die Einzelbilder in der Regel der  $Y'CbCr$ -Farbbereich und Farbrunterabtastungskanäle mit einem der folgenden Muster verwendet werden: 4:2:2, 4:2:0 oder 4:1:1.

**Videoformat** Eine Videosequenz mit angegebener Bildhöhe, Bildbreite und Bildrate. Beispielsweise ein Videoformat „1920 x 1080i 29,97“.

**Visuell verlustfrei** Ein Codec-Typ, bei dem das Codieren eines Einzelbilds und das anschließende Decodieren zu einem Bild führt, dass mathematisch nicht verlustfrei ist, sich aber visuell nicht vom Original unterscheidet, wenn es auf identischen Monitoren neben dem Original angezeigt wird.