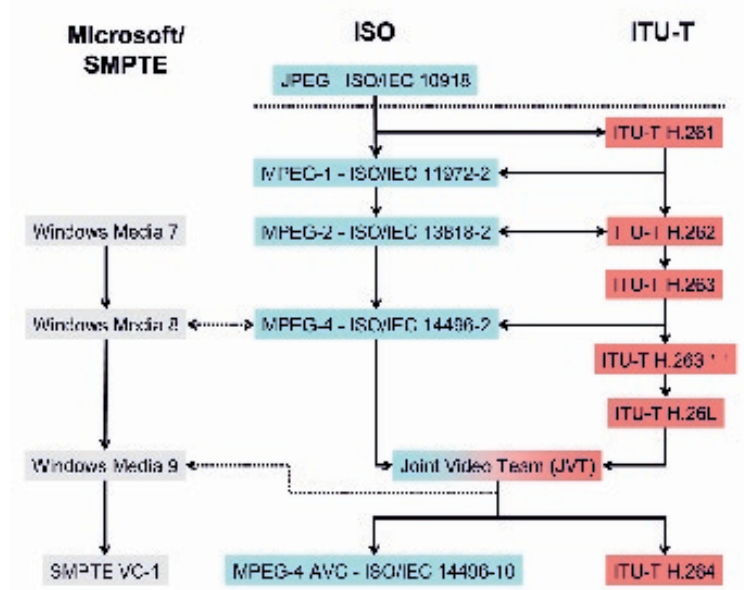


BROADCAST

Welcher Videocodec in Zukunft die Welt des digitalen Fernsehens dominieren wird, wurde auch in diesem Jahr auf der NAB heiß diskutiert. Die Frage lautet: wird sich MPEG-4 AVC durchsetzen oder muss man mit Microsofts Windows Media Codec (VC-1) rechnen? Die Industrie geht kein Risiko ein und schreibt in den einschlägigen Spezifikationen wie ATSC, DVD-9 oder Blu-ray die Unterstützung beider Codecs vor. Dieser Beitrag erklärt die Unterschiede und Gemeinsamkeiten beider Kompressionsverfahren.



[01] Stammbaum der Videokodierungsstandards

SMPTE VC-1 und MPEG-4 AVC im Vergleich

Die Welt der Videokodierungsstandards ist in zwei Gruppen aufgeteilt, in ITU-T und ISO. Während die ISO die MPEG-Standards produziert, werden die ITU-T-Empfehlungen unter der Bezeichnung H.26x publiziert. Abbildung 01 zeigt den Stammbaum der verschiedenen ISO- und ITU-Standards sowie die Evolutionskette der Microsoft Codecs. Die einzelnen Spezifikationen sind nicht vollständig unabhängig voneinander, sondern bauen zeitweise aufeinander auf beziehungsweise werden direkt in Form von Kooperationen entwickelt.

Der aktuelle MPEG-4-AVC-Standard (ISO/IEC 14496-10) wurde vom „Joint Video Team“ (JVT) erarbeitet, einem Kooperationsgremium aus Experten beider Standardisierungsgruppen, das sich im Sommer 2001 gebildet hat. Der AVC-Standard wurde inzwischen bei der ITU-T als Empfehlung H.264 verabschiedet. Dies ist nicht die erste Kooperation der beiden Organisationen: Der MPEG-2-Video-Standard war ebenfalls das Resultat einer engen Kooperation zwischen den Videoexperten von MPEG und der ITU-T (entspricht dort H.262).

MPEG Codecs wurden traditionell für den Consumer-Electronics-Markt entwickelt, mit verschiedenen Formen von digitalen Fernsehdiensten als dominanter Anwendung. Die ITU-T hat ihren Schwerpunkt im Bereich der Kommunikationstechnik, wodurch Videokonferenz und Bildtelefonie traditionell die Hauptmotivatoren für die Videokodierung bildeten.

Microsoft war und ist sowohl an der ISO- als auch an der ITU-T-Standardisierung aktiv beteiligt. Beispielsweise hat der Konzern eine Version der Referenzsoftware für MPEG-4 entwickelt und gespendet. Der Leiter der JVT-Gruppe arbeitet für Microsoft, er ist auch seit Jahren Vorsitzender der „Video Coding Experts Group

(VCEG)“ bei der ITU-T. Daraus ergibt sich eine gewisse personelle und auch technische Nähe von Microsoft zu den großen Standardisierungsgruppen.

GRUNDLAGEN DER STANDARDISIERUNG

Eine Standardisierung soll stets die Interoperabilität zwischen Produkten verschiedener Hersteller gewährleisten. Das bedeutet, dass ein standardkonformer Bitstrom, der durch einen Encoder der Firma A erzeugt wurde, von standardkonformen Decodern aller anderen Firmen dekodiert werden kann.

Um dieses Ziel und gleichzeitig ein Höchstmaß an Zukunftssicherheit zu erreichen, werden bei allen ITU-T- und MPEG-Standards grundsätzlich nur der Decoder und die Bitstrom-Syntax spezifiziert. Das bedeutet auch, dass die Standards den Encoder nicht festlegen – so lässt er sich ständig verbessern, ohne dass die Decoder verändert werden müssen, solange der Encoder standardkonforme Bitströme erzeugt.

Broadcaster, beispielsweise vertreten durch die EBU (European Broadcasting Union), bauen ihre Sendedienste vorzugsweise auf offene Standards auf. Diese Strategie gibt ihnen langfristige Investitionssicherheit und ein hohes Maß an Unabhängigkeit von einem bestimmten Zulieferer. Der Sender kann jederzeit das beste und günstigste Videokodierungsprodukt kaufen und die zuvor erstellten Sendebänder bleiben weiterhin gültig. Auch in diesem Bereich gilt: Konkurrenz belebt das Geschäft, drückt die Preise und steigert die Qualität.

Das ist einer der Gründe, warum Broadcaster nur ungern eine proprietäre Lösung wie Windows Media 9 (WM-9) unterstützen.

VIDEOKODIERUNG

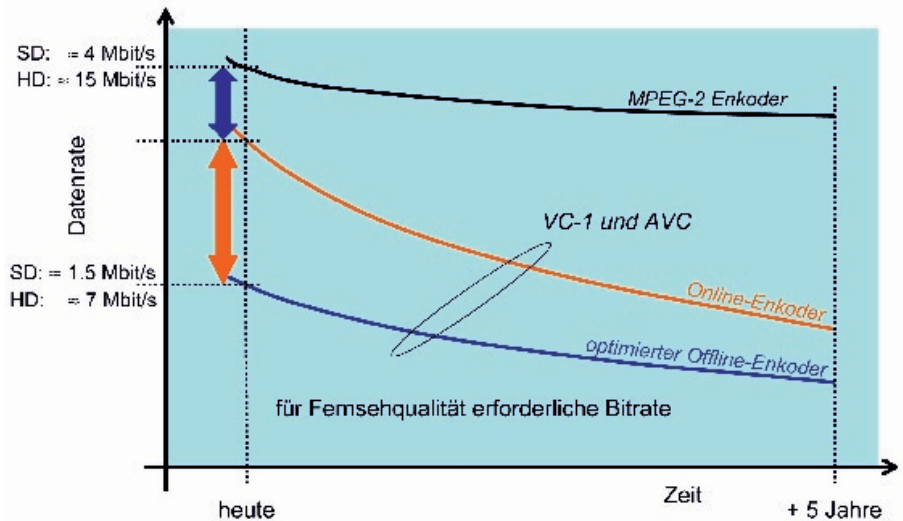
WM-9 resultiert aus einer Folge von Videocodern, die Microsoft ursprünglich für den Einsatz auf PCs und die Hauptanwendung Internet Media Streaming ausgelegt hatte. Um den Broadcastern entgegenzukommen, bemüht sich das Unternehmen seit mehr als einem Jahr darum, die SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) zur Akzeptanz von Windows Media als Standard zu bewegen. Zu diesem Zweck hat sich Microsoft dazu entschlossen, den Decoder und die dazugehörige Bitstrom-Syntax von Windows Media 9 offen zu legen und auch in Zukunft stabil zu halten. Da dies der erste digitale Videokodierungsstandard bei der SMPTE ist, wurde mit der Zählung neu angefangen und der vorgeschlagene Standard mit der Abkürzung VC-1 bezeichnet. Das Microsoft-Produkt heißt weiterhin WM-9 oder eventuell demnächst WM-10. Die Kompatibilität zur VC-1-Spezifikation soll erhalten bleiben.

Trotz aller Fortschritte des Gates-Konzerns bei der Standardisierung erweist sich die Existenz beziehungsweise Nichtexistenz eines kostenlos verfügbaren Referenz-Encoders für VC-1 aber weiterhin als Problem. Für MPEG-Standards gibt es im Gegensatz dazu nämlich immer eine Referenz-Implementierung für den Encoder und den Decoder.

VERGLEICHE ZWISCHEN WM-9 UND MPEG

Häufig werden Vergleiche zwischen Windows Media und MPEG angestellt. Diese Vergleiche sind jedoch in der Regel bedeutungslos, weil MPEG eine Spezifikation ist, die einen Videodecoder beschreibt und die Syntax für den zugehörigen Bitstrom. Windows Media dagegen ist ein komplettes Videokodierungsprodukt. Ein Vergleich zwischen Windows Media und MPEG entspricht in etwa einem Vergleich zwischen einem Auto und einem Motor. Der Motor hat kein Fahrgestell und kein Getriebe, die Reifen fehlen auch. Man kann aber einem Motor nicht den Vorwurf machen, keine Bremsen zu besitzen. Genauso wenig kann man es dem MPEG-Codec als Nachteil anrechnen, dass er beispielsweise nicht über integrierte DRM-Funktionen verfügt.

WM-9 ist das Videokodierungsprodukt von Microsoft, dessen Bitstrom sich mit einem VC-1-konformen Decoder dekodieren lässt. Darüber hinaus umfasst WM-9 eine Reihe von weiteren nützlichen Funktionalitäten und Eigenschaften. Es ist daher auch möglich, WM-9 mit einem MPEG-konformen Produkt zu vergleichen, etwa mit den Encoder-Lösungen von Envivio oder Optibase, die ebenfalls eine Reihe von zusätzlichen Funktionalitäten und Eigenschaften aufweisen.



[02] Erwartete Verbesserung der Kodiereffizienz in der Zukunft

Der angestrebte SMPTE-VC-1-Standard enthält gleichfalls nur die Beschreibung des Decoders und der zugehörigen Bitstrom-Syntax. Auf dieser Basis ist ein Vergleich mit einer MPEG-Spezifikation möglich und auch sinnvoll.

FORTSCHRITTE VON VC-1/AVC GEGENÜBER MPEG-2

Der MPEG-2-Videostandard stammt aus dem Jahr 1994. Seitdem hat sich die Videokodierung natürlich weiterentwickelt. Die Freiheit beim Entwickeln der MPEG-2-Encoder hat im Laufe der Zeit zu einer deutlichen Verbesserung der erreichten Bildqualität geführt: So hat sich die Kodierleistung für MPEG-2 seit 1994 in etwa verdoppelt. Benötigte man anfangs Bitraten zwischen sechs und acht MBit/s, um Qualität vergleichbar oder besser als PAL oder NTSC zu erreichen, so genügen heute Bitraten von drei bis vier MBit/s oder weniger. Allerdings ist seit geraumer Zeit festzustellen, dass die weitere Optimierung von MPEG-2-Encodern eine Sättigung erreicht. Deutliche Verbesserungen bei der Kodierleistung lassen sich jetzt durch den Umstieg auf MPEG-4 AVC oder auch VC-1 erreichen.

Man argumentiert heute mit einer Verbesserung der Kodierleistung um den Faktor 2 und mehr gegenüber MPEG-2. Entsprechende Tests wurden für MPEG-4 AVC durchgeführt (siehe DP 06:04, Seite 76 ff). Die neuen AVC Encoder stehen am Anfang einer ähnlichen Entwicklung wie die MPEG-2 Encoder vor zehn Jahren. Fachleute gehen davon aus, dass AVC Encoder sich in den kommenden Jahren weiter verbessern werden und der Abstand zu MPEG-2

wachsen wird [Abbildung 02]. Die Testergebnisse für AVC resultieren aus einem optimierten Offline-Software-Encoder, der nicht für den praktischen Einsatz konzipiert wurde, sondern um die Leistungsfähigkeit des Standards zu demonstrieren.

DESIGNPHILOSOPHIE

Der VC-1 Codec wurde unter der Maßgabe entwickelt, eine kostengünstige Implementierung zu ermöglichen und dabei nur vernachlässigbare Qualitätsverluste hinzunehmen. Bedingt durch seine Entwicklungsgeschichte basiert das Konzept für Windows Media und somit auch das Konzept für VC-1 auf einer Software-Implementierung des Codecs auf einem PC. Im Unterschied zu VC-1 wurde AVC mit der Philosophie entwickelt, die maximal erzielbare Kodiereffizienz zu erreichen – gleichzeitig aber innerhalb vernünftiger Komplexitätsschranken zu bleiben. Dabei werden diese Begrenzungen durchaus großzügig interpretiert, um auch für die Zukunft ein tragfähiges Konzept zu haben.

Alle modernen Videokodierungsverfahren bauen auf dem gleichen Grundkonzept auf: einem bewegungskompensierten, hybriden Codec mit DCT-basierter Transformationskodierung. Die Unterschiede liegen in den Details. Das gilt auch für die Kodierverfahren bei VC-1 und AVC. Beide benutzen nahezu den gleichen Satz an Kodierwerkzeugen sowie eine weitgehend gleichartige Struktur für den Encoder. Die Grundstruktur für einen AVC Encoder ist in Abbildung 03 dargestellt, für einen VC-1 Encoder in Abbildung 04. In beiden Darstellungen sind Funktionsblöcke, die wesentliche Unterschiede enthalten, rot gekennzeichnet.

BROADCAST

KODIERWERKZEUGE FÜR MPEG-2, AVC UND VC-1 IM ÜBERBLICK

Funktionsblock	MPEG-2	MPEG-4 AVC	SMPTE VC-1
Intra-Prädiktion	DC-Prädiktion pro Makroblock	4 × 4 räuml. 16 × 16 räuml.	Koeffizienten im Frequenzbereich
Picture Coding Type	Frame Field Picture adaptive Frame/Field	Frame Field Picture adaptive Frame/Field Makroblock adaptive Frame/Field	Frame Field Progressive Picture adaptive Frame/Field
Blockgröße für die Bewegungskompensation	16 × 16 16 × 8, 8 × 16	16 × 16 16 × 8, 8 × 16 8 × 8 8 × 4, 4 × 8 4 × 4	16 × 16 16 × 8, 8 × 16 8 × 8 8 × 4, 4 × 8 4 × 4
Genauigkeit der Bewegungsvektoren	Full Pel Half Pel	Full Pel Half Pel Quarter Pel	Full Pel Half Pel Quarter Pel
P-Frame	ein Referenzbild	ein oder mehrere Referenzbilder	ein Referenzbild
B-Frame	ein Referenzbild in jede Richtung	ein oder mehrere Referenzbilder in jede Richtung, weitere Prädiktionsmethoden	ein Referenzbild in jede Richtung
Schleifenfilter	kein Filter	De-Blocking Filter	De-Blocking, überlappende Transformation
Entropiekodierung	VLC	CAVLC CABAC	adaptive VLC
Transformation	8 × 8 Discrete Cosinus Transformation (DCT)	approximative, ganzzahlige DCT mit Blockgröße 8 × 8 4 × 4	approximative, ganzzahlige DCT mit Blockgröße 8 × 8 8 × 4, 4 × 8 4 × 4

Die Tabelle stellt die Kodierwerkzeuge von AVC und VC-1 und deren Charakteristika übersichtlich zusammen. Zur Ergänzung listet sie auch die entsprechenden Kodierwerkzeuge für MPEG-2 auf.

KODIERUNGSVERFAHREN

Die interessantesten Unterschiede zwischen AVC und VC-1 liegen in der Entropiekodierung und bei der Intra-Prädiktion. AVC bietet für die Entropiekodierung zwei Alternativen an – Context Adaptive Variable Length Coding (CAVLC) und Context Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC). Insbesondere durch den Einsatz von CABAC erreicht AVC einen erheblichen Kodiergewinn im Bereich von 15 bis 20 Prozent. Allerdings ist CABAC kostspielig in der Implementierung, weswegen AVC auch das einfachere zu implementierende, aber weniger leistungsfähige CAVLC-Verfahren anbietet. VC-1 verwendet für die Entropiekodierung ein adaptives „Variable Length Coding“-Verfahren, das deutlich einfacher zu implementieren, jedoch wiederum weniger effektiv ist als CABAC.

Für die Intra-Kodierung (Kodierung der Standbildinformation zum Beispiel bei I-Frames) baut AVC auf einen neuartigen, ausgefeilten Mechanismus zur räumlichen Prädiktion der Pixelwerte. Er stellt eine Vielzahl von Prädiktionsmodi bereit, die der Encoder auswählen kann. Dieser Auswahlmechanismus bietet die Möglichkeit, die Intra-Kodierung effektiv auf das vorliegende Bildmaterial anzupassen, was aber mit einem erheblichen Rechenaufwand einhergeht. Tests, die im Rahmen der MPEG-Standardisierung durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass sich die Intra-Kodierung von AVC auch für die Kompression von Standbildern hervorragend eignet und selbst die entsprechenden Standards wie JPEG und JPEG2000 hinter sich lässt.

Im Vergleich dazu setzt VC-1 auf ein eher konventionelles Prädiktionsverfahren, das direkt auf den Spektralkoeffizienten benachbarter Makroblöcke zugreift. Sehr ähnliche Mechanismen zur AC/DC-

Prädiktion kamen auch schon bei früheren Videocodecs (beispielsweise ISO/IEC 14496-2, ITU-T H.263) erfolgreich zum Einsatz.

IMPLEMENTIERUNGS-AUFWAND

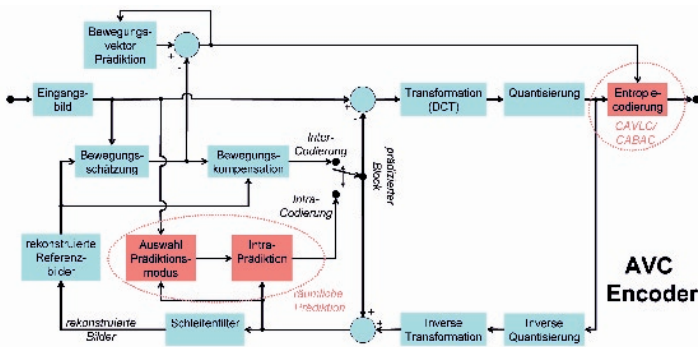
Der Rechenaufwand für die AVC-Encodierung hängt davon ab, in welchem Umfang die angebotenen Kodieroptionen verwendet beziehungsweise in welchem Umfang die Optionen getestet werden, um die Parameter möglichst optimal einzustellen (Rate-Distortion-Optimierung). Als Faustregel lässt sich annehmen, dass ein AVC-Encoder mit vorzeigbarer Kodierperformance etwa die acht- bis zehnfache Komplexität eines MPEG-2-Encoders aufweist. Die Dekodierung von AVC ist etwa dreimal aufwändiger als bei MPEG-2. Ein derart hoher Rechenaufwand umfasst den Einsatz von CABAC sowie eine geeignete Rate-Distortion-Optimierung. Auf der anderen Seite hat sich die verfügbare Rechenleistung seit den Anfängen von MPEG-2 etwa um den Faktor 100 erhöht.

Für Windows Media 9 gibt es bereits sehr leistungsfähige Software-Implementierungen, bei denen die Echtzeitkodierung selbst für HD-Material in Sichtweite ist. An dieser Stelle macht sich der geringere Aufwand für VC-1 bemerkbar, wobei sich über den Optimierungsgrad der Implementierung nur spekulieren lässt. In jedem Fall erscheint es plausibel, dass die Microsoft-Implementierung deutlich weiter optimiert ist als die bis dato gezeigten AVC-Implementierungen.

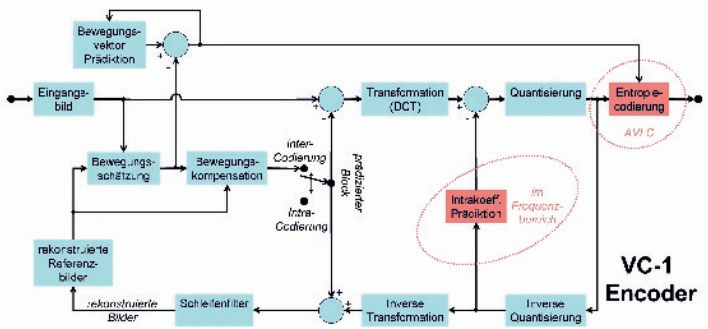
BILDQUALITÄT

Das Grundkonzept sowie die einzelnen Kodierwerkzeuge bei AVC und VC-1 unterscheiden sich nicht tiefgreifend. So verhält es sich auch bei der Einschätzung der mit dem jeweiligen Codec erzielten Bildqualität. Eine Reihe von Organisationen haben zum Teil umfangreiche Tests durchgeführt, um etwaige Qualitätsunterschiede

VIDEOKODIERUNG



[03] Schematischer Encoder für MPEG-4 AVC



[04] Schematischer Encoder für SMPTE VC-1

festzustellen. Nur einige der Ergebnisse wurden publiziert. In den überwiegenden Fällen zeigte das Resultat keinen klaren Gewinner. Beide Codecs lagen in etwa auf gleicher Augenhöhe. In dieser Situation billigten die Tester dem AVC Codec für die Zukunft ein größeres Verbesserungspotenzial zu als dem Microsoft Codec. Die Qualitätsunterschiede innerhalb eines Standards sind signifikanter als die Unterschiede zwischen AVC und VC-1. Die visuelle Qualität eines Codecs hängt vom Encoder ab. Eine wesentliche, qualitätsbestimmende Komponente des Encoders ist beispielsweise die Bitraten-Regelung, die nicht durch den Standard festgelegt ist. Die Bitraten-Regelung verwaltet das Bit-Budget des Encoders, um einen Bitstrom mit konstanter Bitrate (CBR – Constant Bit Rate) zu erzeugen, wobei die Bildqualität so wenig wie möglich schwanken soll. Alternativ dazu gibt es den Ansatz, einen Bitstrom mit variabler Bitrate (VBR – Variable Bit Rate) zu erzeugen, so dass die Bildqualität nahezu konstant bleibt. Beim Gestalten der entsprechenden Regelalgorithmen können die Encoder-Hersteller ihr ganzes proprietäres Know-how einsetzen und die resultierende Bildqualität in einem weiten Bereich beeinflussen. Im Hinblick auf AVC stellt die Aufgabe, eine funktionierende Bitratenregelung zu entwickeln, durch die umfassenden Kodieroptionen eine praktische Herausforderung dar. Die Qualitätsunterschiede zwischen verschiedenen AVC Encodern sind derzeit erheblich und zeigen, dass es bei der AVC-Enkodierung noch viel Spielraum für Verbesserungen gibt. Zum jetzigen Zeitpunkt scheint Microsoft für WM-9 die besseren Regelalgorithmen gefunden zu haben, was die wettbewerbsfähige Bildqualität des Codecs erklärt.

LIZENZIERUNG

Neben den technischen Eigenschaften der Codecs und der Verfügbarkeit von Produkten tritt die Frage nach der Lizenzierung für die Standards immer mehr in den Vordergrund. Für die MPEG-4-AVC-Lizenzierung wurden zwei Patent-Pools eingerichtet: Einer von der Firma MPEG-LA (MPEG Licensing Authority), die bereits die Patent-Pools für MPEG-2 erfolgreich verwaltet, und einer, den Via Licensing betreibt, eine Tochterfirma von Dolby Laboratories. Die ursprünglich von MPEG-LA vorgeschlagenen Lizenzierungsmodelle wurden vielerorts heftig debattiert und kritisiert. Durch das Entstehen einer zusätzlichen Lizenzierungsmöglichkeit in Form von Via Licensing und durch die gleichzeitige Aussicht auf einen weiteren Wettbewerber in Form von VC-1 wurde MPEG-LA gezwungen, günstigere Lizenzbedingungen anzubieten. Details dazu finden sich auf den Websites der entsprechenden Anbieter (www.mpegla.com, www.vialicensing.com).

Für VC-1 bietet Microsoft eine Lizenz an, die preislich unter den Angeboten von Via Licensing und MPEG-LA liegt. Allerdings deckt diese Lizenz nicht die Rechte anderer Patenthalter ab, deren Tech-

nologie in VC-1 verwendet wird. Durch die Offenlegung der VC-1-Spezifikation kann es sich Microsoft nicht mehr leisten, Patentansprüche Dritter zu ignorieren. Um wettbewerbsfähig zu sein, muss das Unternehmen für VC-1 auch auf andere grundlegende Patente zurückgreifen. MPEG-LA hat deshalb für VC-1 einen weiteren Patent-Pool aufgelegt und Patenthalter so genannter essenzieller Patente aufgefordert, sich zu melden und dem Pool beizutreten. Im Januar 2005 haben sich bereits zwölf Firmen mit entsprechenden Patentansprüchen gemeldet.

Eine Firma, die Technologie in einen MPEG-Standard einbringt, verpflichtet sich unter so genannten RAND-Bedingungen (Reasonable And Non-Discriminatory), Zugang zu der patentierten Technologie zu gewähren. Streng genommen gilt diese Zusage nur für Produkte, die für sich in Anspruch nehmen, dass sie zum MPEG-Standard konform sind. Für andere Produkte muss diese Bedingung nicht erfüllt werden. Das kann bedeuten, dass eine Firma ihr Kodierungspatent zu den RAND-Bedingungen in den MPEG-Patent-Pool einstellt, aber für den VC-1-Patent-Pool deutlich höhere Preise verlangen kann. Der Preisfindungsprozess ist noch nicht abgeschlossen, aber es steht zu erwarten, dass die Lizenzbedingungen für VC-1 kostspieliger ausfallen werden als für MPEG-4 AVC.

FAZIT

Die technische Nähe von MPEG-4 AVC und VC-1 eröffnet Microsoft die Möglichkeit, in Zukunft die Windows-Media-Produktlinie mit relativ geringem Aufwand zu 100 Prozent auf den MPEG-4-AVC-Standard umzustellen. Die Vorteile Microsofts hinsichtlich der Optimierungstiefe und Implementierungsreife und der Qualität der Enkodieralgorithmen ließen sich dabei wahrscheinlich gewinnbringend umsetzen. Wenn das Unternehmen wollte, dann hätte es sicher eines der besten MPEG-4-AVC-konformen Videokodierungsprodukte und könnte dafür auch richtig Geld verlangen. Warum Microsoft das bisher noch nicht getan hat, bleibt wohl das Geheimnis der verantwortlichen Manager.

► Klaus Diepold

Klaus Diepold ist seit 2002 Professor für Datenverarbeitung an der Technischen Universität München (TUM). Nach Abschluss seiner Promotion an der TUM hat er mehr als zehn Jahre in der Fernsehindustrie verbracht und preisgekrönte Produkte für die Videosignalverarbeitung sowie Video Codecs entwickelt. Er ist seit rund acht Jahren im Rahmen der MPEG-Standardisierung aktiv und gemeinsam mit Sebastian Möritz Verfasser des Buches „Understanding MPEG-4. Technology and Business Insights“ (Focal Press, 2004).