



# Informatik der digitalen Medien

Ergänzungs-Studienangebot der Mediendidaktik für  
Lehramtstudenten  
Dr. rer. nat. Harald Sack  
Institut für Informatik  
FSU Jena

Wintersemester 2005/2006

# Informatik der digitalen Medien

1

2

3

4

5

30.11.2005 – Vorlesung Nr. 6

7

8

9

10

11

12

13

14

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (Teil 4)

# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Videokodierung und -komprimierung**
  - **Grundlagen**
  - Videotechnik
  - Komprimierung von Videosignalen
  - Videokomprimierung nach MPEG

# Videokodierung und -komprimierung

## ● Grundlagen

- **Video (Film):**  
kontinuierliche Abfolge von aufeinander folgenden Einzelbildern, die aufgrund der **Netzhautträglichkeit** des Menschen als zusammenhängende, bewegte Sequenz erscheint.
- **Netzhautträglichkeit:**  
das von der Netzhaut (Retina) wahrgenommene Bild bleibt für 1/16s auf dieser bestehen, ehe es verlischt
- Kodierung einer Video(Film)sequenz erfordert **sehr viel Speicherplatz**
- Bild und Ton müssen **synchron** ablaufen
  - erfordert hohe Bandbreite

# Videokodierung und -komprimierung

- **Grundlagen**

- **Wahrnehmung von Bewegung**

- komplexe Funktion der menschlichen Sensorik
- abhängig von
  - **Physiologischen Faktoren**
    - Beeinflussung benachbarter Lichtsinneszellen in der Retina
    - Foveale Objektverfolgung (Nachführung des Auges)
    - Vergenz und Akkomodation
  - **Psychologischen Faktoren**
    - Elimination gleichförmiger Bewegung durch das Gehirn
    - Koppelung von Bewegung und Beschleunigungswahrnehmung (Gleichgewichtsorgan)

# Videokodierung und -komprimierung

- Grundlagen

- **Kenngößen der menschlichen Wahrnehmung**

- zeitlichen Auflösung von Einzelbildern
  - physiologische **obere** Grenze : 50 – 60 Hz
  - psychologische **untere** Grenze: 25 – 30 Hz



„Flimmern“ von Fernsehbildern



Hand-Auge Koordination



# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

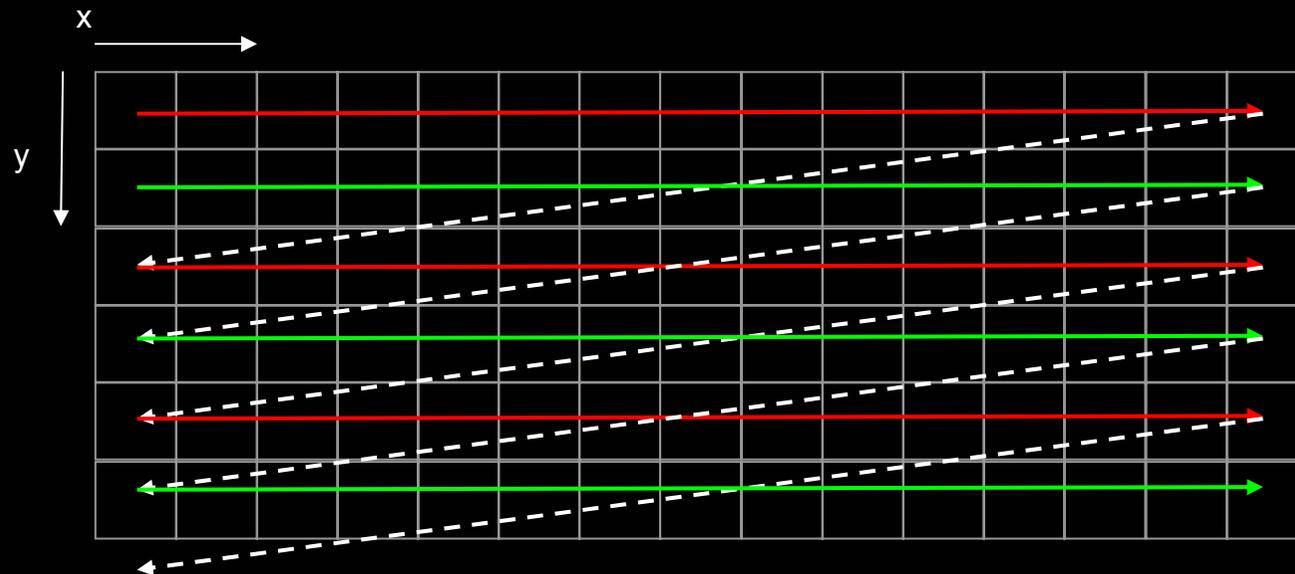
- **Videokodierung und -komprimierung**
  - Grundlagen
  - **Videotechnik**
  - Komprimierung von Videosignalen
  - Videokomprimierung nach MPEG

# Videokodierung und -komprimierung

- Videotechnik

- Analoge Videotechnik

- zeilenweise Abtastung von Einzelbildern



- Serialisierung der Bildpunkte im Zeilensprungverfahren (**Interlacing**)

# Videokodierung und -komprimierung

- Videotechnik

- Analoge Videotechnik

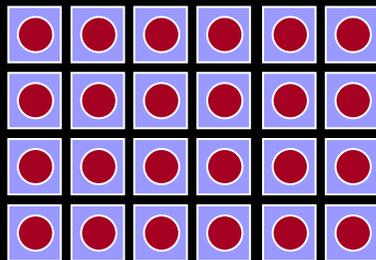
- Farbfernsehen – PAL

- **PAL** (Phase Alternation Line, Europa) sendet mit **Bildwiederholfrequenz** von 25 Hz und einer **Bildauflösung** von 720x576 Pixeln, wobei 2 gegenseitig verschränkte Halbbilder mit im Takt von jeweils 1/50s gesendet werden

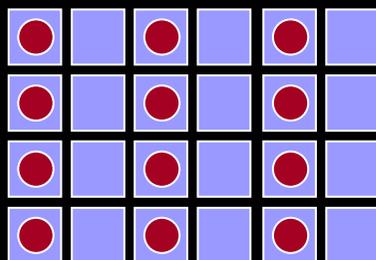


# Videokodierung und -komprimierung

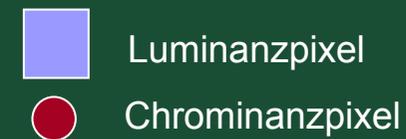
- Videotechnik
  - Subsampling



4:4:4 – kein Subsampling

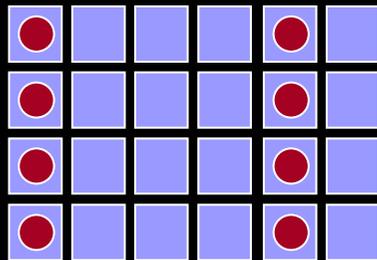


4:2:2 – horizontales Subsampling um Faktor 2

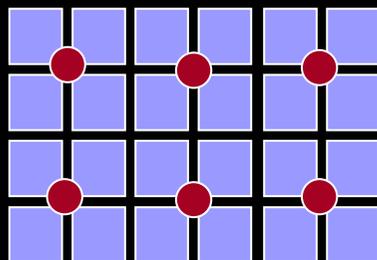


# Videokodierung und -komprimierung

- Videotechnik
  - Subsampling



4:1:1 – horizontales Subsampling um Faktor 4



4:2:0 – horizontales und vertikales Subsampling um Faktor 2



# Videokodierung und -komprimierung

- Videotechnik

- PAL – benötigte Bandbreite

- Bildauflösung: 720 x 576 Pixel
- Bildwiederholfrequenz: 25 Hz
- Farbtiefe: 8 Bit
- Subsampling: 4:2:2

- Benötigte Bandbreite:

$$720 \times 576 \times 25 \times 8 + 2 \times (360 \times 576 \times 25 \times 8) = 166 \text{ Mbps}$$

Luminanzpixel

Chrominanzpixel

# Videokodierung und -komprimierung

- Videotechnik

- HDTV – High Definition Television

- Bildauflösung: z.B. 1920 x 1080 Pixel
    - Bildwiederholfrequenz: bis 60 Hz
    - Farbtiefe: 8 Bit
    - Subsampling: 4:2:2

- Benötigte Bandbreite (Beispiel):

$$\begin{array}{c} 1920 \times 1080 \times 60 \times 8 \\ | \\ \text{Luminanzpixel} \end{array} + 2 \times \begin{array}{c} (960 \times 1080 \times 60 \times 8) \\ | \\ \text{Chrominanzpixel} \end{array} = \underline{\underline{1,99 \text{ Gbps}}}$$

# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

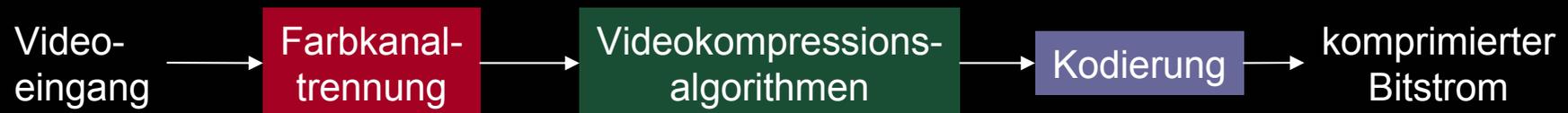
- **Videokodierung und -komprimierung**
  - Grundlagen
  - Videotechnik
  - **Komprimierung von Videosignalen**
  - Videokomprimierung nach MPEG

# Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Grundlagen**

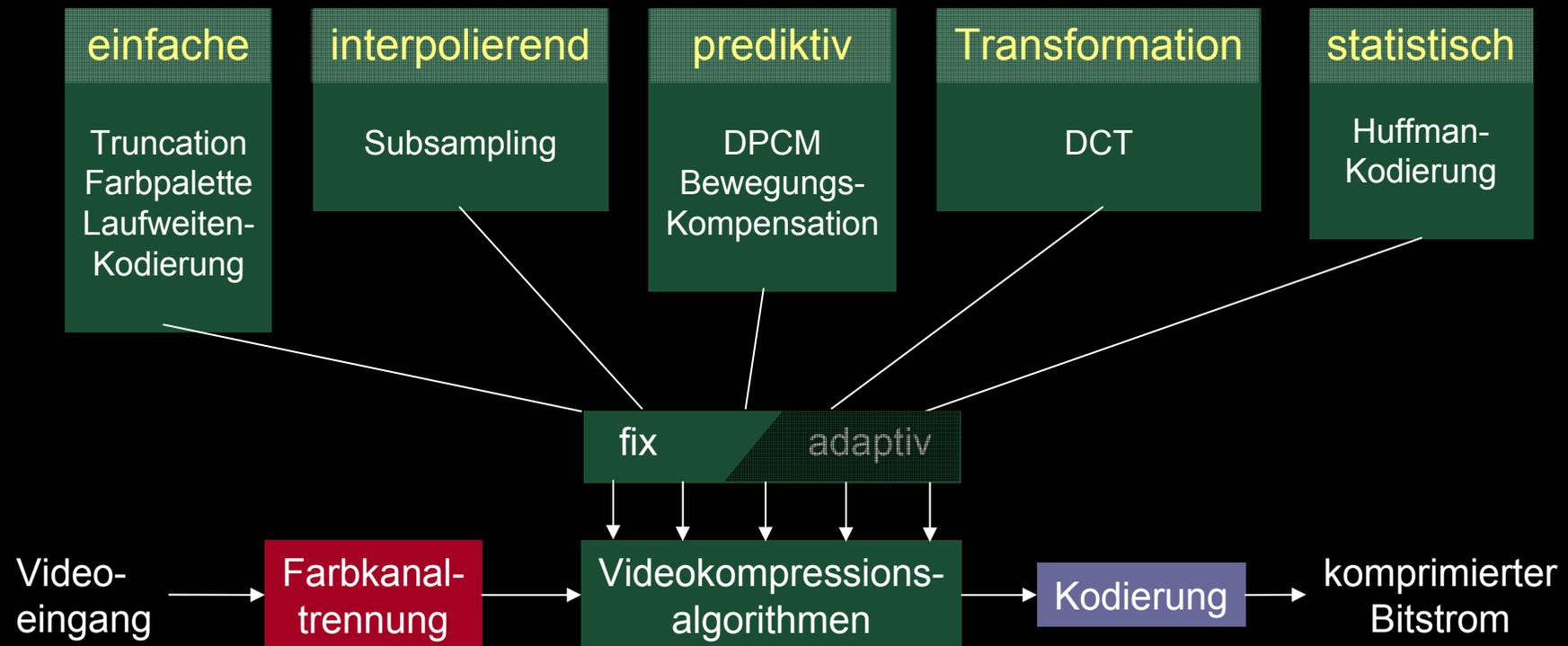
- Videosequenzen enthalten in der Regel viel Redundanz
  - **räumliche** Redundanz
  - **zeitliche** Redundanz
- starkes Reduktionspotenzial für Videokodierung
- allgemeines Vorgehen:



# Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Grundlagen**



# Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Einfache Verfahren**

- Reduktion des Datenaufkommens durch Reduktion der Bildinformation (**Truncation**)
  - z.B. Farbtiefe reduzieren (24 Bit → 8 Bit)
  - Verlust von Bilddetails
  - erfordert keine komplexen Berechnungsschritte
- Flächen identischer Farbe lassen sich effizient über Lauflängenverfahren komprimieren



→  
24 → 8



# Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Interpolative Verfahren**

- Speichere nur eine Teilmenge der vorgegebenen Bildpunkte und berechne daraus interpolativ die restlichen Bildpunkte, die zum vollständigen Bild noch fehlen
- Effizient auf Videosequenz anwendbar, da
  - viele Bildbereiche verändern sich über lange Zeit kaum



Hintergrund weitgehend statisch

# Videokodierung und -komprimierung

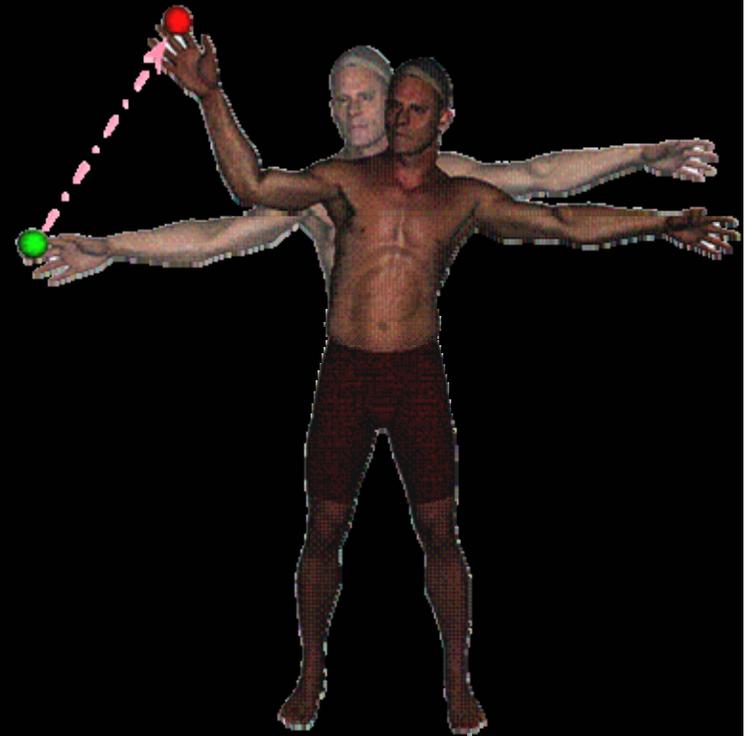
- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Interpolative Verfahren**

- Effizient auf Videosequenz anwendbar, da

- viele Bildbereiche verändern sich über lange Zeit kaum
- oft bewegen sich nur wenige Bildobjekte, daher speichere **Anfangs- und Endpunkt** der Bewegung, **interpoliere die Zwischensequenz**

- Komprimierung kann auch erfolgen durch Speicherung der **Differenz** vom Originalbild zum interpolierten (berechneten) Bild



# Videokodierung und -komprimierung

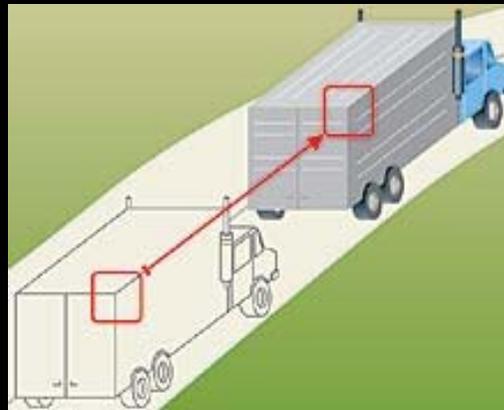
- **Komprimierung von Videosignalen**
  - **Transformationsverfahren**
    - Diskrete Cosinus Transformation (DCT)  
vgl. JPEG-Verfahren
    - Wavelet Transformation
  - **Statistische Kodierung**
    - Bildpunkte sind in der Regel statistisch verteilt, d.h. bestimmte Farb-/Helligkeitswerte sind häufiger als andere
    - Verwende Kodierung mit variabler Länge, z.B. Huffman Kodierung

# Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen**

- **Prediktive Kodierung**

- Ausnutzung von inhärenten Redundanzen in Videosequenzen
  - z.B. Hintergrund statisch, nur ein Objekt im Vordergrund bewegt
  - **Objekte** und **Objektbewegungen** müssen erkannt werden



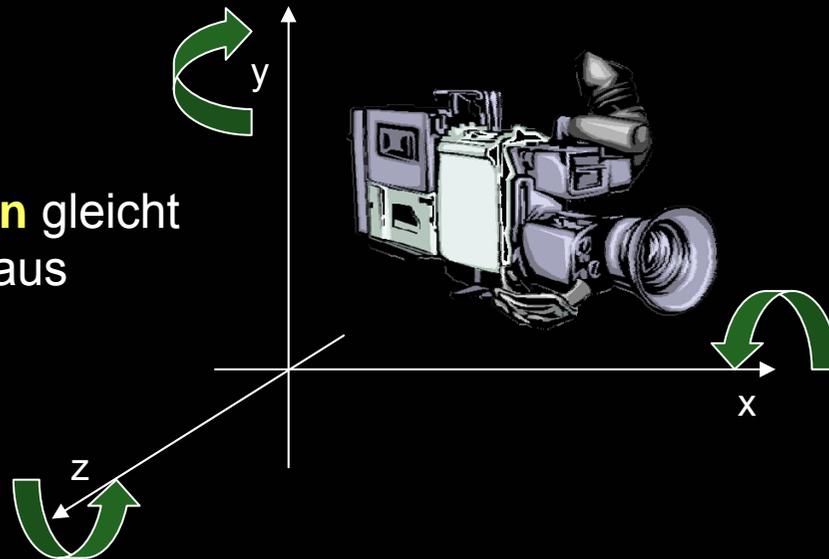
# Videokodierung und -komprimierung

## ● Komprimierung von Videosignalen

### ○ **Prediktive Kodierung**

- Ursache für Bildveränderungen in Videosequenzen sind oft **Bewegungen der Kamera**
  - Geradlinige Bewegungen der Kamera (**Translation**)
  - Kameraschwenk (**Rotation**)
  - Einsatz von Zoomobjektiven (**Skalierung**)

**Bewegungskompensation** gleicht Bewegungen der Kamera aus



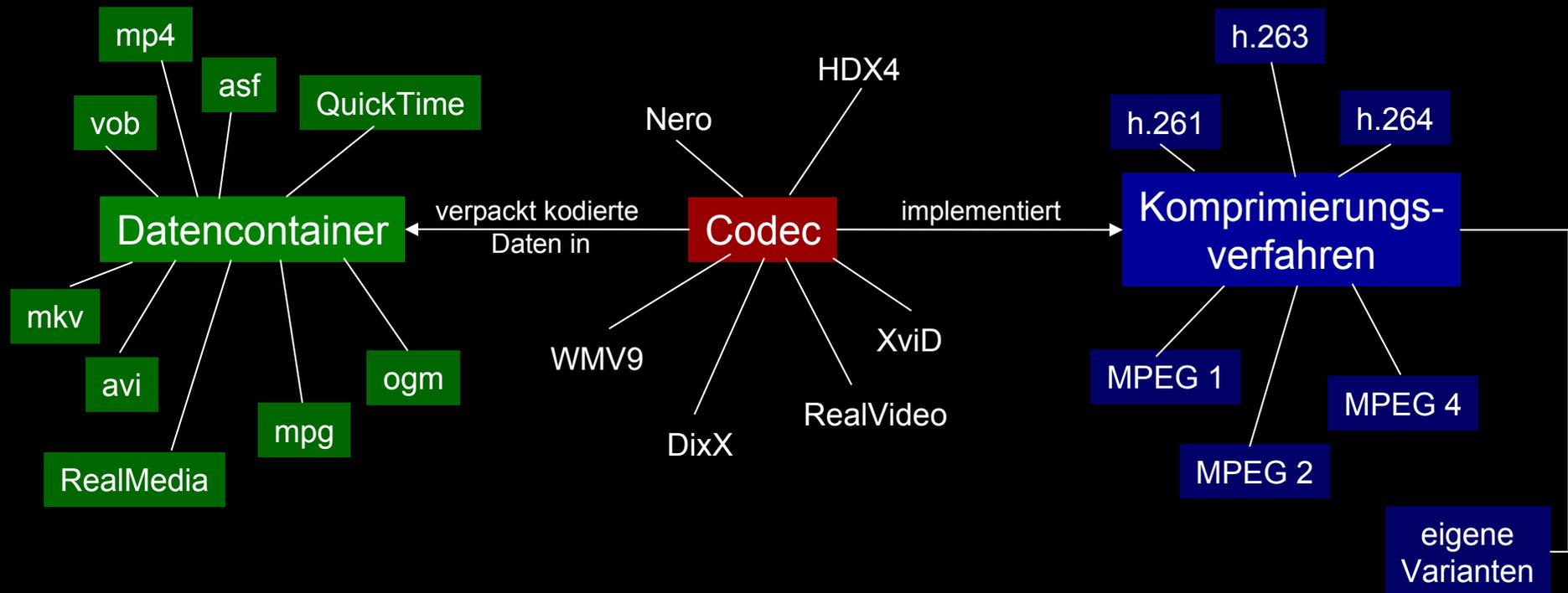
# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Videokodierung und -komprimierung**
  - Grundlagen
  - Videotechnik
  - Komprimierung von Videosignalen
  - **Videokomprimierung nach MPEG**

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG
  - Codecs und Komprimierungsverfahren



# Videokodierung und -komprimierung

- **Videokomprimierung nach MPEG**

- **MPEG - Moving Pictures Experts Group**

- eigentlich ISO/IEC JTC1/SC29/WG11
- seit 1988, ca. 360 Mitglieder aus Industrie/Forschung

- **MPEG-1 Standard 1992**

- VCD, MP3-Audiokomprimierung
- Datenrate 1,5 Mbps erfordert Komprimierung von >100:1

- **MPEG-2 Standard 1995**

- Digitalfernsehen (DVB), DVD
- MPEG-3 Standard in MPEG-2 integriert (HDTV)

- **MPEG-4 Standard 1999**

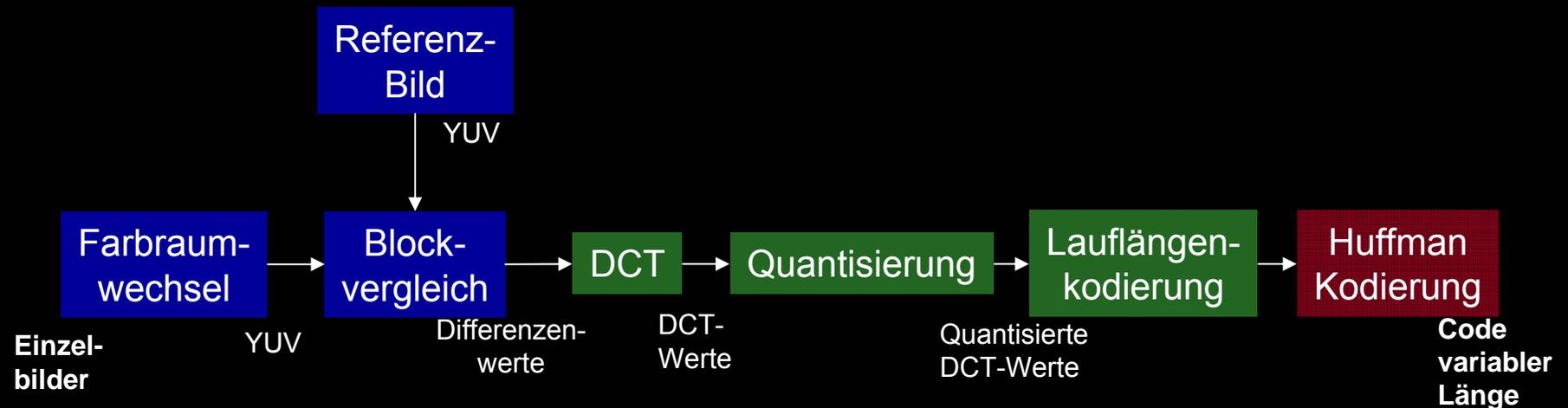
- Interaktives Audio und Video über drahtlose Netze und Internet
- HDTV, DRM, komplexe Objektverwaltung

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

- Prinzipieller Ablauf

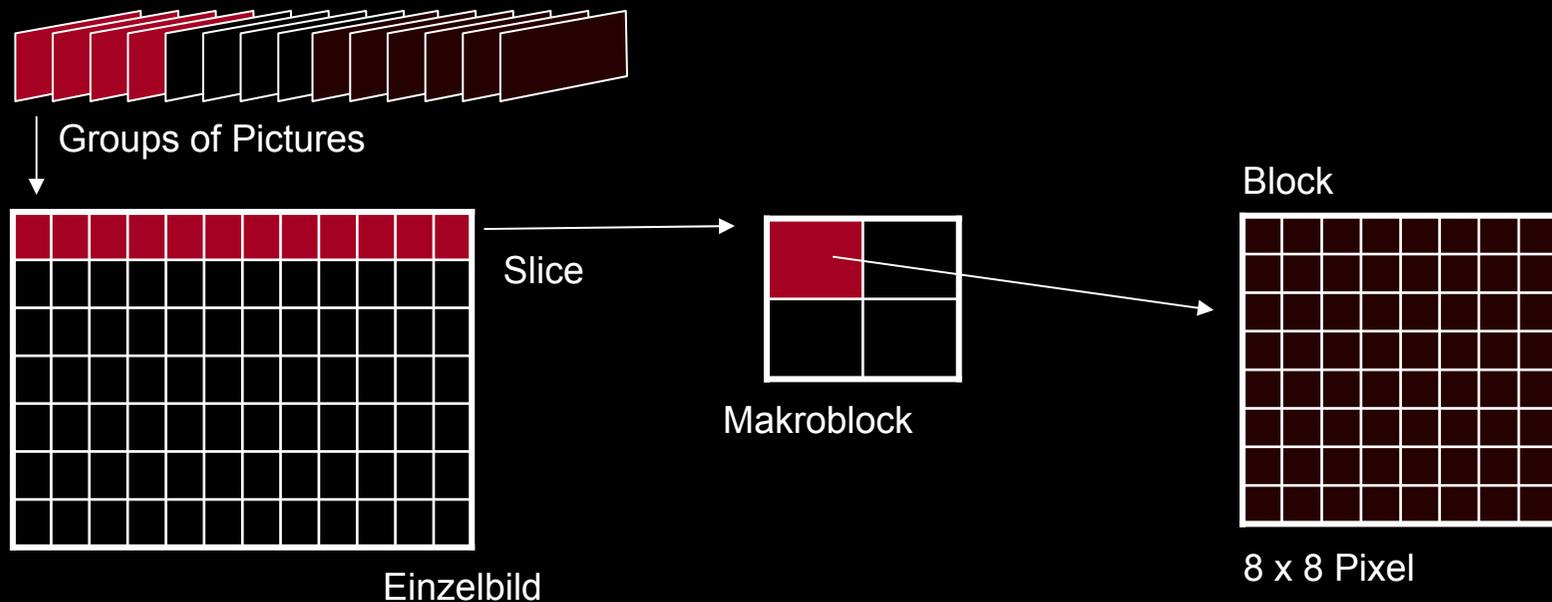


# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

- Strukturierung des MPEG-Datenstroms



# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

- Ablauf

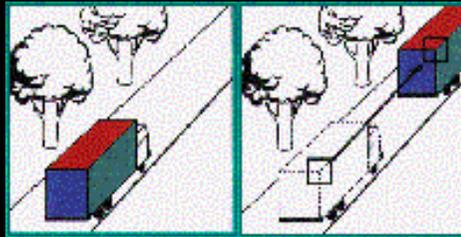
- Farbraumkonvertierung → **YCbCr (4:2:2)**
- Aufteilung der Einzelbilder in Zeilenabschnitte (Slices) und Makroblöcke
  - 16 x 16 Pixel Luminanz (Makroblock)
  - 8 x 8 Pixel Chrominanz (Block)
- **Bewegungsvorhersagealgorithmus**
  - Vergleiche Luminanzmakroblöcke aufeinander folgender Einzelbilder
  - Ortsveränderungen von Luminanzmakroblöcken werden über **Vektoren** kodiert
  - Qualität abhängig von Suchraumgröße

# Videokodierung und -komprimierung

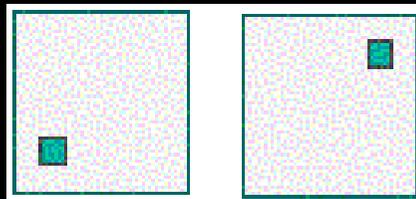
- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

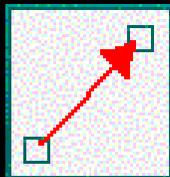
- Bewegungsvorhersage



- Bild n und Bild n+1



- Bewegtes Objekt identifiziert



- Vektor berechnen & kodieren

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

- Ablauf

- Farbraumkonvertierung →  $Y C_r C_b$  (4:2:2)
- Bewegungsvorhersagealgorithmus
- **DCT – Transformation**
  - Unterscheide Einzelbildvarianten:
  - **Intra-Frame (I-Frame)**  
vollständiges Einzelbild, keine Bewegungsvorhersage, stets erstes Bild einer Sequenz (Standbild)
  - **Predictive Frame (P-Frame)**  
nutzt zusätzlich Bewegungsvorhersage, bezieht sich auf vorhergehendes I-Frame
  - **Bidirectional Frame (B-Frame)**  
Bewegungsvorhersage, bezieht sich auf vorhergehendes/nachfolgendes P-/I-Frame

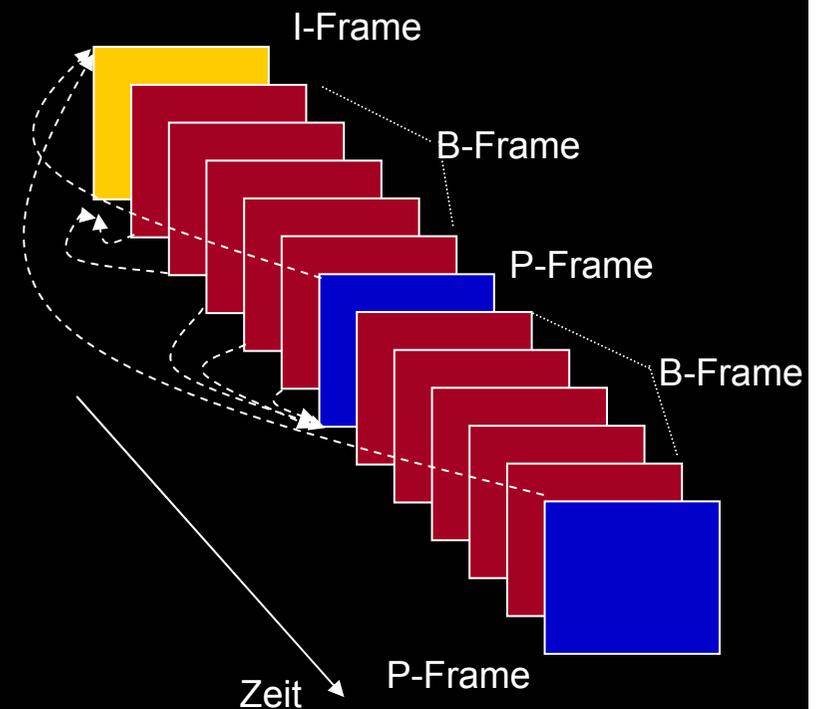
# Videokodierung und -komprimierung

## ● Videokomprimierung nach MPEG

### ○ MPEG1 – Videokodierung

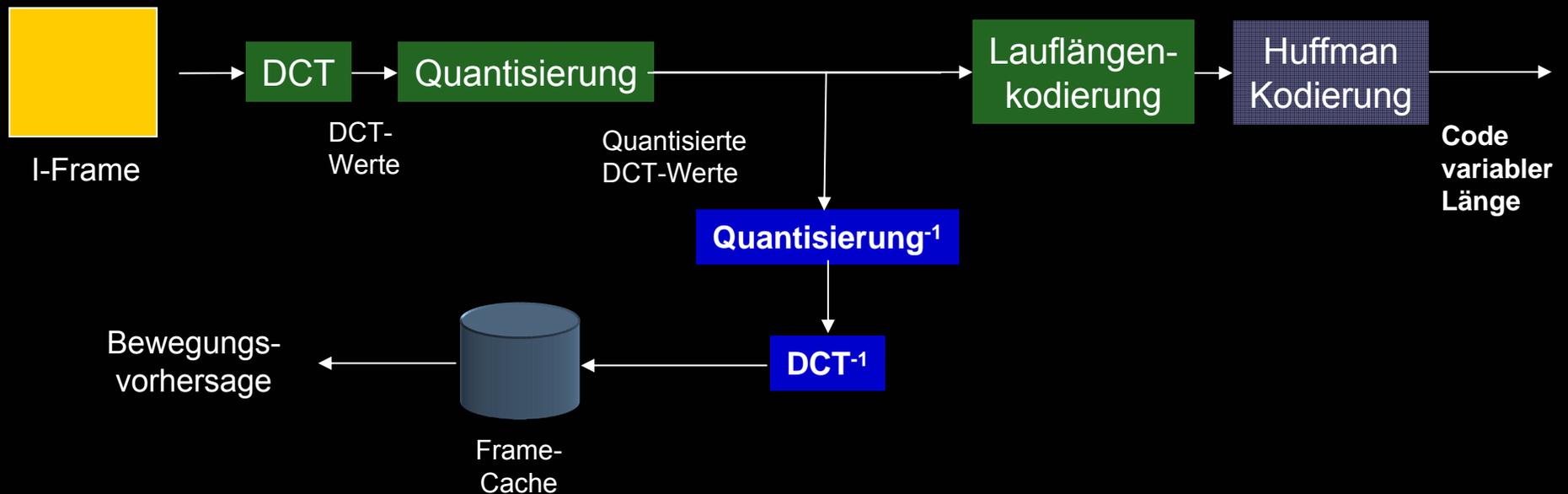
#### ● Frametypen

- I-Frame muß nach spätestens 12 Frames wieder folgen
- Reihenfolge und jeweilige Wiederholungsanzahl der einzelnen Frames sonst nicht vorgeschrieben



# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG
  - MPEG1 – Videokodierung
    - I-Frame Kodierung



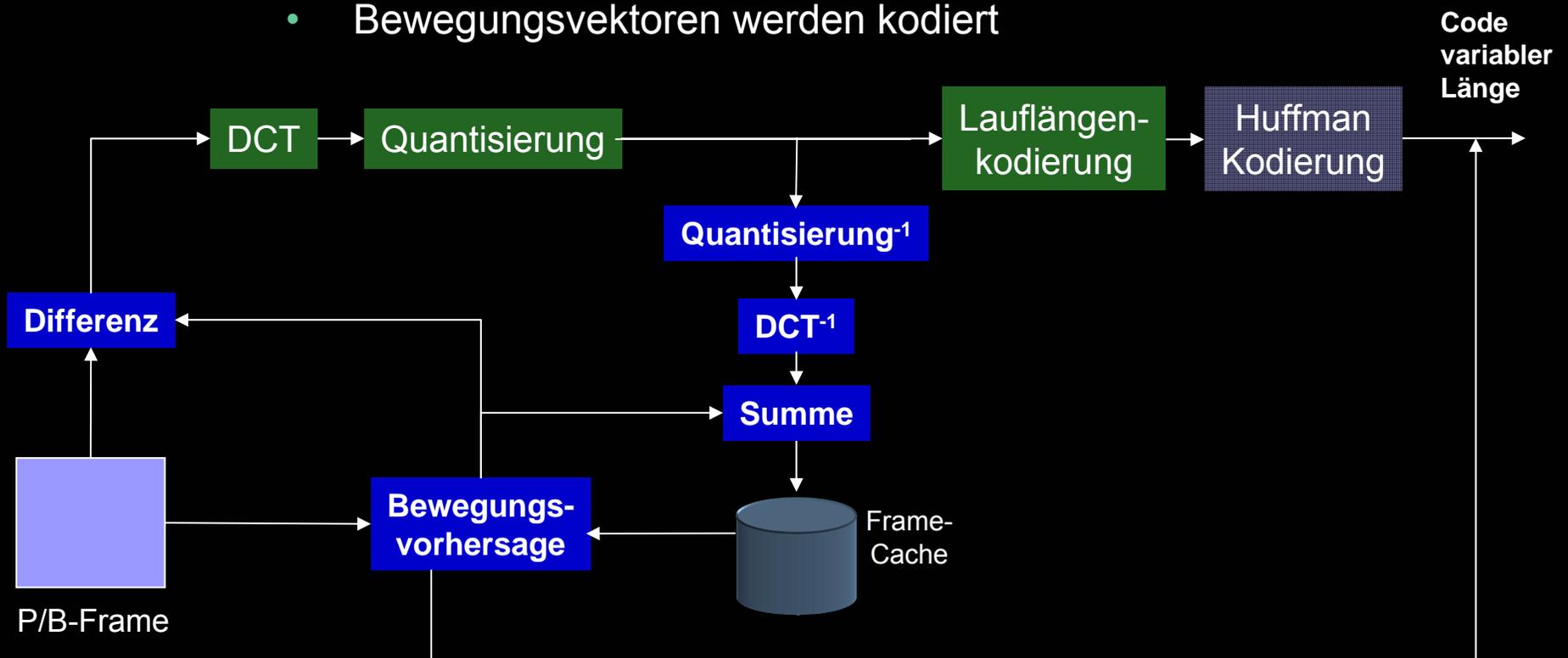
# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

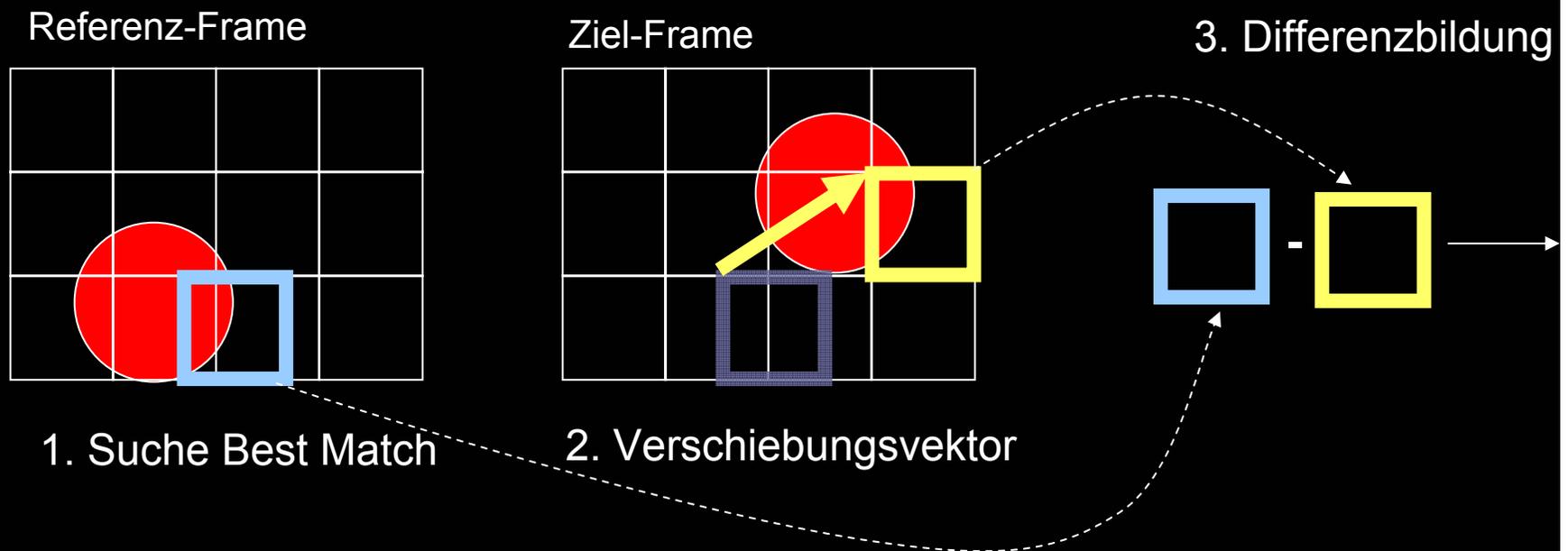
- P/B-Frame Kodierung

- Bewegungsvektoren werden kodiert



# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG
  - MPEG1 – Videokodierung
    - P-Frame Kodierung



# Videokodierung und -komprimierung

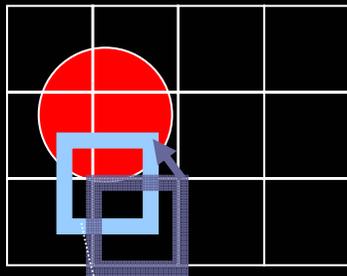
- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG1 – Videokodierung

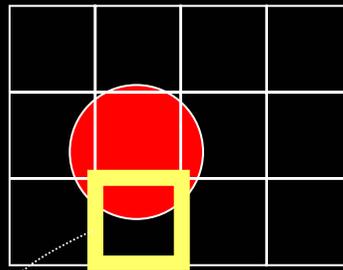
- B-Frame Kodierung

- Bidirektionale Bewegungsvorhersage

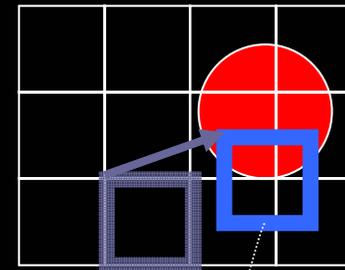
Past Referenz



Ziel-Frame



Future Referenz



1. Suche Best Match
2. Verschiebungsvektoren

$$\text{Yellow Box} - (\text{Blue Box} + \text{Blue Box}) / 2$$

3. Differenzbildung

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG
  - MPEG1 – Videokodierung
    - Typische Kompressionsfaktoren (720x594, 4:2:0)

Frame	Size	Rate
I	92 kB	7:1
P	32 kB	20:1
B	13 kB	50:1
average	26 kB	25:1

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- Kenngrößen **MPEG 1**

- Bandbreite: 1,25 MBit/s Video + 2 Audiokanäle  
≤1,82 MBit/s
- Auflösung: 360 x 288 x 25 (CIF Europe)  
352 x 240 x 30 (CIF USA)
- kein Interlacing möglich (→ TV-Aufzeichnung)

- Kenngrößen **MPEG 2**

- Bandbreite: 2 MBit/s – 80 MBit/s
- Auflösung: bis HDTV (1920 x 1080)  
theoretisch bis 16383 x 16383
- Subsampling: 4:4:4 bzw. 4:2:2
- Interlacing-Übertragung möglich

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG2

- Räumliche Skalierbarkeit

Datenstrom kann in verschiedenen Auflösungen angezeigt werden

- Zeitliche Skalierbarkeit

Datenstrom reagiert adaptiv auf Veränderungen der Bandbreite

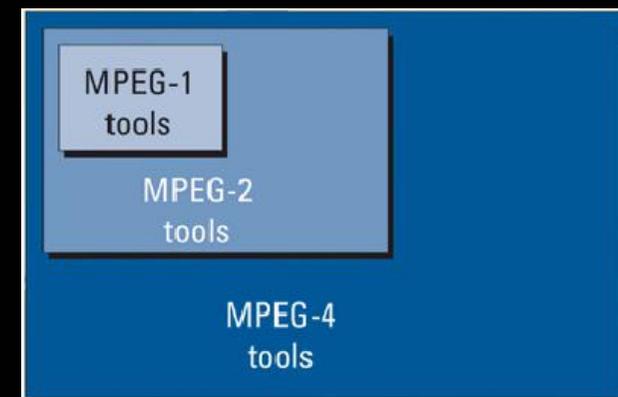
- MPEG3 war ursprünglich für HDTV vorgesehen, wurde dann aber mit in MPEG2 integriert

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4

- ISO-14496
- digitales TV, interaktive Multimedia-Anwendungen
- Videokodierung bei nur **geringer Bandbreite** und gleichzeitig **fehleranfälliger Umgebung**
- **Objektorientiertes Komprimierungsmodell**
  - Standbilder / Video-Objekte / Audio-Objekte
  - Synthetische Grafikobjekte (2D/3D)
  - Sprach- und Klangsynthese
  - ...
- Ergänzung zu den Standards MPEG 1 und MPEG 2



# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

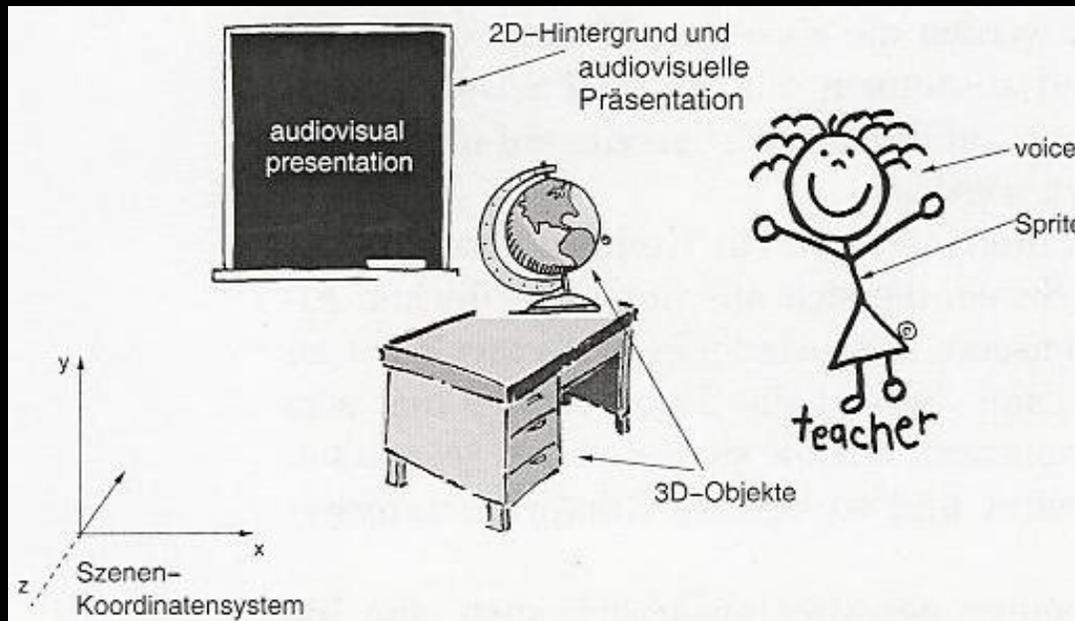
- MPEG4

- Unterstützung von interaktiven Anwendungen durch **Medien Objekte**
  - (Person, Hintergrund, Text, Grafik, animierte Körper)
- Interaktion mit Inhalten
  - Verändern von Objekten
  - Navigieren in Szenen
  - Starten von Animationen
  - Auswahl von Sprachen
- Erstellen synthetischer Szenen aus Medien Objekten

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4

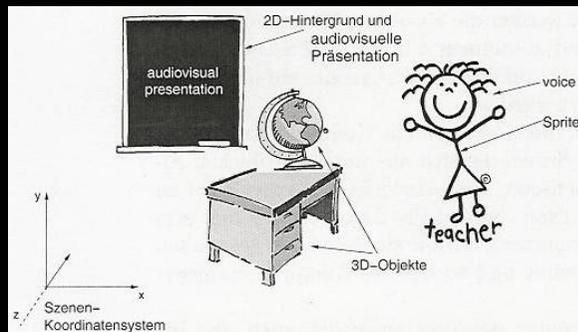


- **Zerlegung der Szene** in verschiedene Audio- & Video- Medienobjekte
- einzelne Medienobjekte werden **getrennt voneinander komprimiert**
- jedes Medienobjekt hat eigene räumliche/zeitliche Position und Dimension

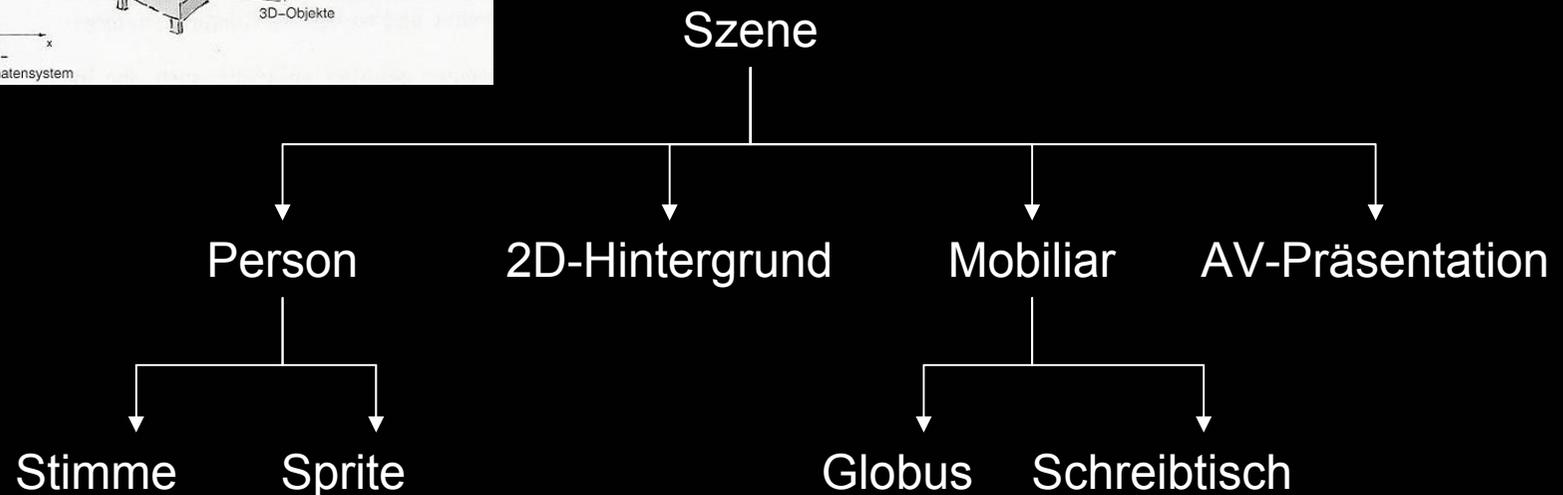
# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4



## MPEG 4 – Szenenbeschreibung (vgl. VRML)



# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4



- Zerlegung der Szene in **Vordergrund** (Person, Sprite) und **Hintergrund**
- Hintergrund bleibt meist weitgehend statisch
- Vordergrund kann getrennt komprimiert werden

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4

- BIFS (Binary Format for Scenes)

- Szenenbeschreibung wird in spezieller Beschreibungssprache modelliert

- Inhaltsbasierte Skalierung:

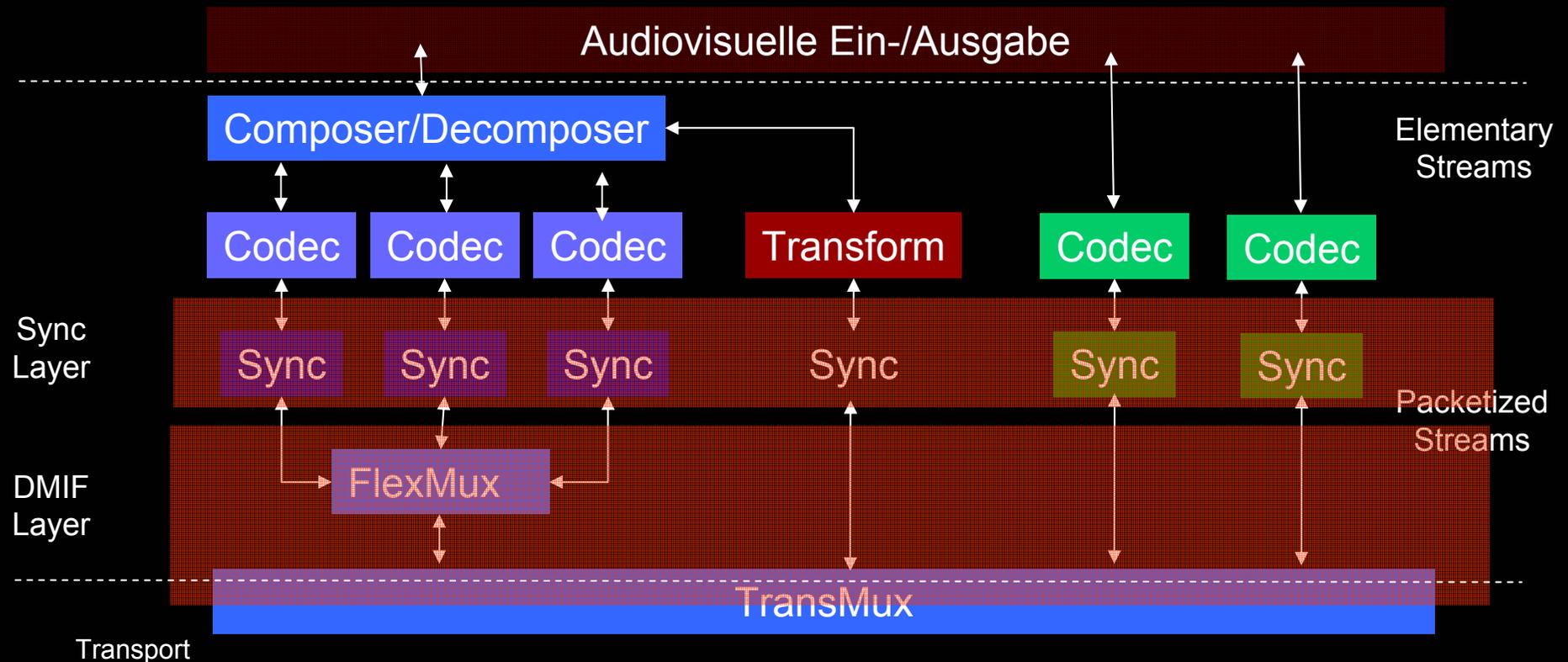
- Objekte werden hierarchisch nach ihrer Bedeutsamkeit geordnet
- weniger wichtige Objekte können bei Bedarf weggelassen werden

- Object Descriptor legt für Medienobjekt fest, welche Metadaten / Datenströme diesem zugeordnet sind

# Videokodierung und -komprimierung

- Videokomprimierung nach MPEG

- MPEG4



# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Videokodierung und -komprimierung**
  - Grundlagen
  - Videotechnik
  - Komprimierung von Videosignalen
  - **Videokomprimierung nach MPEG**

# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

### ○ Literatur



Ch. Meinel, H. Sack:

**WWW – Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien,**

Springer, 2004.



P.A. Henning:

**Taschenbuch Multimedia,**

3. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig, 2003.