

# 1 Einleitung

Bewegung verleiht dem Kino seine anziehende Illusion, Fernsehen erhält dadurch Lebendigkeit und Gegenwärtigkeit. Ohne Bewegung gäbe es diese Bewegtbildmedien nicht. Kino und Fernsehen vermögen Geschichten zu erzählen, Nachrichten zu verbreiten und Bildung zu vermitteln. Selbst stärkste Gefühlsregungen können ausgelöst werden. Doch wie wird die Bewegung, die wir mit unseren Augen als so real wahrnehmen, aufgenommen, gespeichert und dargestellt? Und welchen Einfluss hat dabei die Film- und Videotechnik?

Die Aufzeichnung und Darstellung von Bewegung ist mit der Erfindung der Filmtechnik Ende des 19. Jahrhunderts möglich geworden. Seit damals existiert auch die Frage, welche Bildfrequenz als Kompromiss aus Aufnahme- und Wiedergabetechnologie der visuellen Wahrnehmung von Bewegung am besten entspricht. Heute hat man mit dem Aufkommen von digitalen Video- und High-Definition-(HD-)Camcordern viele Möglichkeiten, was die Wahl der Bildfrequenz, der Belichtungszeit oder des Abtastmodus angeht. Alle diese Parameter wirken sich auf die festgehaltene Bewegung aus. Dabei stehen Film- und Videoschaffende nicht mehr vor der Frage, welche Bewegungsauflösung die Beste ist, sondern es geht um die Ästhetik einer Bewegtbildaufnahme in Bezug auf das zu Erzählende. Man macht sich beispielsweise trotz vorhandenem Rucken den Bewegungscharakter von Filmaufnahmen im Fernsehen zu Nutze, an den sich die Masse der Konsumenten während einer jahrzehntelangen Kinotradition gewöhnt hat. Dennoch wird der Bewegtbilddarstellung erst durch hohe zeitliche und örtliche Auflösungen eine Präsenz eröffnet, die dem Kinogänger zu real erscheinen mag, aber dem Action-Gamer, der an bis zu 100 Bilder pro Sekunde gewöhnt ist, gerade genügt.

Die Vielfalt an Aufnahmeformaten setzt eine Auseinandersetzung mit den damit möglichen Workflows der Postproduktion und der Distributionswege voraus. In den meisten Fällen müssen Sendestandards bedient werden, die nicht mehr viel Spielraum lassen. Trotzdem bietet die aktuelle Kameratechnik ausreichende Eingriffsmöglichkeiten, um die Bewegungsaufnahme zu beherrschen und den Anspruch an Bildqualität und Ästhetik an ein Maximum zu führen. Mithilfe digitaler Bearbeitung eröffnen sich zusätzlich vielfältige Manipulationsmöglichkeiten, die neben Formatkonvertierungen bei Bedarf auch eine Veränderung der Bewegungskonstruktion erlauben.

Das vorliegende Buch behandelt die Problematik der Bewegtbildaufnahme und -wiedergabe in den Zeiten von 25p, 50i und 50p<sup>1</sup>. Der Leser soll den Hintergrund dieser Bezeichnungen sowie aktuelle Technologien kennen und verstehen lernen, nicht zuletzt um Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Bewegtbildsystemen besser



Kapitel 2 bis 5 bilden die vier thematischen Schwerpunkte, das Buch kann aber auch als Nachschlagewerk genutzt werden, da die einzelnen Abschnitte verständlich formuliert sind und auf eventuelle Zusammenhänge explizit verwiesen wird.

In Kapitel 2 werden Grundlagen bezüglich Bewegung und Bewegungswahrnehmung behandelt. Zuerst wird genauer auf den Begriff Bewegung eingegangen, danach werden in Film und Fernsehen vorkommende Bewegungen beschrieben. Schließlich werden die physiologischen und psychologischen Eigenschaften der visuellen Bewegungswahrnehmung erläutert.

Kapitel 3 geht auf die Aufnahme der Bewegung ein. Anfangs werden die Charakteristika der Filmkamera und Eigenschaften von Videosensoren behandelt, auf die eine eingehende Betrachtung des Begriffs Bewegungsauflösung folgt. Welche Probleme durch eine Bewegungsaufnahme entstehen können, ist am Ende des Kapitels beschrieben.

Verschiedene Display- und Projektionstechniken können unterschiedliche Einflüsse auf die Bewegungswiedergabe haben. Die teilweise notwendigen Signalkonvertierungen sind dafür verantwortlich. Wie diese Wiedergabetechnologien aussehen und warum Bewegtbildsignale dafür konvertiert werden müssen, ist in Kapitel 4 erläutert. Am Ende findet sich eine Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Beeinflussung der Bewegungsdarstellung.

Kapitel 5 beschreibt den praktischen Teil. Um einen Praxisbezug herzustellen, wird Eingangs auf die Situation im Produktionsalltag eingegangen, danach werden die produzierten Bilder dargestellt. Nach der Beschreibung der verwendeten Kameras und der Dreharbeiten wird erläutert, welche Parameter zur Aufnahme benutzt wurden. Der Betrachtung und Auswertung des subjektiven Versuchs geht eine Analyse ausgewählter Clips voraus. Schließlich werden die Ergebnisse der praktischen Untersuchung zusammengefasst und diskutiert. ◀

---

<sup>1</sup> Von der EBU (European Broadcast Union) wurde für die Bezeichnung von Zeilensprungsignalen die Nennung der Vollbildanzahl festgelegt. Dabei soll die aktive Zeilenzahl, der Abtastmodus und die Vollbildfrequenz genannt werden, statt „50i“ müsste hier beispielsweise „1080i/25“ stehen. Da die Arbeit Bildaufnahmefrequenzen auch unabhängig von der Auflösung behandelt, werden die oben genannten Termini jedoch beibehalten.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Was kennzeichnet Bewegung?

In der Physik bezeichnet Bewegung die Ortsänderung eines Körpers innerhalb einer bestimmten Zeit. Verharrt der Körper dagegen am selben Ort, so ruht er. In Abhängigkeit des Betrachters kann Bewegung verschiedene Eigenschaften annehmen, je nachdem wie sie örtlich und zeitlich verläuft:

- **Absolute und relative Bewegung.** Absolute Bewegung geschieht unabhängig von einem Bezugssystem. Sie ist nicht wahrnehmbar, da sie viele Bewegungskomponenten enthält, welche außerhalb unserer Erfahrung liegen. Alle wahrnehmbare Bewegung ist demnach relativ, das heißt, sie ist eine Ortsveränderung eines Körpers in einem Bezugssystem oder in Bezug auf einen anderen Körper. Beispielsweise kann die Bewegung eines Schiffes auf dem Ozean noch wahrgenommen werden. Die Drehung der Erde und deren Kreisen um die Sonne nehmen wir als Tag und Nacht wahr, jedoch nicht als unsere eigene Bewegung.
- **Wirkliche und scheinbare Bewegung.** Die Bewegung ist wirklich, wenn der bewegte Körper als bewegt und der unbewegte als ruhend angesehen werden. Sie ist scheinbar, wenn der bewegte Körper als ruhend und der unbewegte als bewegt gelten. Scheinbare Bewegung erfährt man, wenn man während einer Zugfahrt am Bahnhof steht und meint, der eigene Zug fahre los, aber in Wirklichkeit ist es der sich am Bahnsteig gegenüber befindende.
- **Geradlinige (translatorische) und krummlinige (rotierende) Bewegung.** Die Bewegung ist geradlinig, wenn der Körper seine Bewegungsrichtung unverändert beibehält (Translation: Parallelverschiebung). Sie ist krummlinig, wenn er sie ständig ändert. Das Extrem ist die Rotation, wobei der Körper an verschiedenen Stellen unterschiedlich große Geschwindigkeiten besitzt. So nimmt die Geschwindigkeit eines rotierenden Rades von innen nach außen zu.

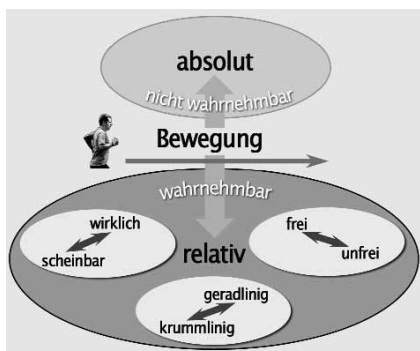


Abb. 2.1: Wahrnehmbare Bewegung kann unterschiedliche Eigenschaften haben.

Eine physikalische Größe, um die Bewegung zu messen, ist die Geschwindigkeit ( $v$ ). Zur Bestimmung der Geschwindigkeit müssen der Weg des Körpers ( $s$ ) und die Dauer der Bewegung ( $t$ ) bekannt sein. Diese Größen stehen in folgendem Zusammenhang:

$$v = \frac{s}{t}$$

Daraus wird die Abhängigkeit von Zeit und Weg (Ortsveränderung) deutlich. Bleibt die Geschwindigkeit konstant, spricht man von gleichförmiger Bewegung. Ändert sie sich, nennt man sie ungleichförmig. Ist die ungleichförmige Bewegung mit einer stetig wachsenden Geschwindigkeit verbunden, heißt sie beschleunigte Bewegung<sup>1</sup>. Ein sich bewegendes Körper besitzt kinetische<sup>2</sup> Energie  $E_{kin}$ . Sie ist abhängig von Geschwindigkeit ( $v$ ) und Masse ( $m$ ) des Körpers. Mit der Formel

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

lässt sich der Zusammenhang darstellen. Je größer die Masse oder die Geschwindigkeit des Körpers ist, desto mehr kinetische Energie besitzt er. Das bedeutet aber auch, dass ihm diese Energie vor seiner Bewegung zugeführt wurde: Bewegung und Ruhe können nur durch die Einwirkung von Kräften hervorgerufen werden. Diese Kräfte können einfach sein, wenn sie nur auf eine Kraft zurückzuführen sind, oder zusammengesetzt sein, wenn sie auf mehrere Kräfte zurückzuführen sind. Eine Bewegung wird als frei bezeichnet, wenn ein Körper ungehindert der Wirkung der ihn bewegendes Kräfte folgen kann, und als unfrei, wenn ihm eine feste Bahn vorgeschrieben ist. Die Bewegungsrichtung eines Körpers wird also durch die Richtung der auf den Körper einwirkenden Kraft oder die Summe von Vektoren mehrerer, gleichzeitig einwirkender Kräfte bestimmt. Wirken unterschiedliche Kräfte verschiedener Richtungen zeitlich unabhängig auf einen Körper ein, spricht man von chaotischer Bewegung.

Im Bereich der Medizin oder Physiologie versteht man unter Bewegung das Gehen, Laufen oder sonstiges Bewegen des Körpers eines Menschen. Die Beschaffenheit des menschlichen Körpers erlaubt eine Fortbewegung, der Mensch kann sich mit eigenen Kräften von einem Ort zum anderen bewegen. Menschliche Bewegungen können auf physikalische Weise betrachtet oder auf solche Erscheinungen zurückgeführt werden.

Bewegung in Film und Fernsehen ist ein Abbild der Realität. Eine fortlaufende Darstellung von zeitlich diskret aufgenommenen Standbildern ruft unter Ausnutzung von augenphysiologischen Eigenschaften die Wahrnehmung von Bewegung hervor.

---

<sup>1</sup> Für die sogenannte gleichmäßige Beschleunigung  $a$  gilt:  $a = \frac{n - n_0}{t}$

<sup>2</sup> Bewegungsenergie

Der Bildschirm ersetzt in diesem Fall unser eigenes, direktes Erfahren. Dadurch wird allerdings die Bestimmung von oben genannten Bewegungseigenschaften nicht oder nur bedingt eingeschränkt.

## **2.2 Bewegungsarten in Film und Fernsehen**

### **2.2.1 Objektbewegung**

Bewegt sich ein Objekt innerhalb einer Bewegtbildszene, spricht man von Objektbewegung oder lokaler Bewegung. Die Form der Bewegung, welche ein Objekt ausführt, kann unterschiedliche Anforderungen an die Bewegungskonstruktion haben. Der sprechende Mund eines Moderators vollführt weniger Bewegung als der vom Dach springende Actionheld. Trotzdem kann der Actionheld, wenn er beispielsweise in einer Totalen<sup>3</sup> gefilmt wird, das gleiche Ausmaß an Bewegung bezüglich des Bildes hervorrufen.

An dieser Stelle sollen typische, in Bewegtbildern vorkommende Bewegungen von Objekten wie Personen, Fahrzeugen oder Gegenständen und ihrer Umgebung beschrieben werden. Diese Bewegungsarten beziehen sich auf das Bild, welches eine feststehende Kamera abbildet. Grundsätzlich ist zu sagen, dass alle möglichen Bewegungen auf vielfältigste Weise mit einer Kamera aufgezeichnet werden können, weshalb hier nur ein geringer Ausschnitt dessen genannt wird, was wirklich realisierbar ist.

#### **2.2.1.1 Personen**

Personen sind die am häufigsten gezeigten Objekte in Film und Fernsehen. Geschichten werden mittels Protagonisten<sup>4</sup> erzählt, Nachrichten von Moderatoren präsentiert, in Shows treten Künstler auf. Ein Mensch vollzieht sogenannte biologische Bewegung, er hat etwa 200 Freiheitsgrade, um sich zu bewegen und verschiedenste Bewegungsformen auszuführen. Bezüglich des Bildes kann sich eine Person innerhalb einer Szene oder durch den Bildausschnitt bewegen. Diese Bewegung kann in verschiedenen Geschwindigkeiten, auch beeinflusst durch die Einstellungsgröße<sup>5</sup> und Entfernung der Kamera zur Person, auftreten. Schnelles Gehen in einer totalen Einstellung kann eine geringe Bewegungskonstruktion erfordern, im Gegensatz zu langsamer Fortbewegung aufgenommen in einer Nah- oder Großeinstellung. Finden beispielsweise Bewegungen eines Tänzers an ein und demselben Punkt statt, können seine Arm- und Beinbewegungen trotzdem hohe Geschwindigkeiten erreichen. Bewegt sich eine Person auf die Kamera zu, führt das zusätzlich zu einer Ausdeh-

---

<sup>3</sup> In einer Totalen bekommt der Zuschauer einen Überblick von der gesamten Szene.

<sup>4</sup> Synonym für Schauspieler oder Darsteller

<sup>5</sup> Die Einstellungsgröße sagt aus, wieviel von einer Person oder einem Objekt im Bild gezeigt wird.

nung des Körpers bezüglich des Bildausschnitts. Menschliche Bewegungen setzen sich aus horizontalen, vertikalen und rotierenden Bewegungskomponenten zusammen. Daraus kann bei gleichzeitiger Betrachtung aller Gliedmaßen ein chaotischer Bewegungseindruck entstehen. Dennoch verläuft die Bewegung einer Person als einheitlicher Körper meist gleichförmig, aber nicht immer geradlinig. Menschliche Bewegungsformen sind teilweise auch auf Tiere übertragbar.

### 2.2.1.2 Fahrzeuge

Fahrzeuge können indirekt von Personen bewegt sein (z. B. ein Auto). Die Bewegungen verlaufen für gewöhnlich auf einer geradlinigen Bahn in horizontaler Richtung (Auto auf einer Straße, Schiff auf einem Fluss). Die Muster der Bewegungen sind größtenteils ganzheitlich, das heißt, sie bewegen sich ohne oder nur mithilfe weniger Teilbewegungen fort (Rad eines PKW oder Propeller des Flugzeugs). Ein Fahrzeug kann auf eine Kamera zufahren oder sich entfernen, was einer Ausdehnung oder einem Zusammenziehen des Fahrzeugs im Bild entspricht. Auch hier ist die im Bild auftretende Bewegungsgeschwindigkeit des Fahrzeugs abhängig von Einstellungsgröße und Entfernung zur Kamera. Je nach Standpunkt und Blickrichtung der Kamera kann ein Fahrzeug neben der meist horizontalen Bewegungskomponente auch vertikale Bewegungen im Bild hervorrufen. Ein Extrembeispiel hierfür ist der Blick von einer Autobahnbrücke (vgl. Abb. 2.2) oder das Abheben eines Hubschraubers. Bewegte Teile an Fahrzeugen, wie beispielsweise Räder von Autos oder Fahnen auf Schiffen, können rotierende und bisweilen auch chaotische Bewegungskomponenten erzeugen.

### 2.2.1.3 Gegenstände

Von Personen direkt und kontinuierlich bewegte Gegenstände zeigen menschliche Bewegungsformen (Halten und Abstellen eines Glases). Werden Gegenstände von Personen oder anderen Mechanismen nur in Bewegung gesetzt, verläuft ihre Bewegung nach physikalischen Gesetzen (freier Fall, parabelförmige Bahn eines Ballwur-



Abb. 2.2: Bewegung eines PKW (vertikal mit geringen horizontalen Anteilen)



Abb. 2.3: Rotation eines Autoreifens

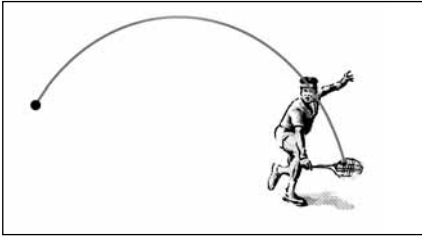


Abb. 2.4: Die Flugbahn eines Tennisballs folgt physikalischen Gesetzen.

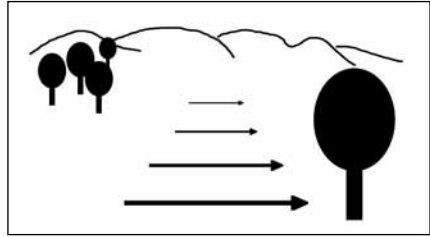


Abb. 2.5: Der wahrgenommene optische Fluss eines in Fahrtrichtung rechts aus dem Zug blickenden Fahrgastes.

fes) oder ist abhängig von den verfügbaren Freiheitsgraden (Pendel einer Uhr). Somit ergeben sich dabei ebenfalls horizontale, vertikale und rotierende Bewegungskomponenten, die je nach Blickwinkel und Einstellungsgröße mehr oder weniger Bewegung im Bild hervorrufen können.

#### 2.2.1.4 Umwelt

Alles, was sich nicht direkt in der Aufmerksamkeit des Zuschauers befindet, fällt in den Bereich Umwelt, also zum Beispiel eine Stadtkulisse, eine Landschaft oder ein Raum. Für gewöhnlich sind diese Objekte statischer Natur, trotzdem können dabei scheinbare oder wirkliche Bewegungen im Bild auftreten. Scheinbare, sobald sich die Kamera in oder auf einem anderen sich bewegenden Objekt befindet (z. B. Filmszene in einem Zug, wobei ein Fenster mit Blick nach außen im Bild zu sehen ist), wirkliche, wenn sich Teile der Umwelt bewegen. Das können Wolken sein, die sich geradlinig bewegen, oder Blätter in einer Baumkrone, die sich chaotisch im Wind bewegen. Dadurch können allerdings sehr hohe Anforderungen an die Bewegungsauflösung gestellt werden, da auch detailreiche Bewegungen in der Szene vorhanden sein können.

#### 2.2.2 Kamerabewegung

Kamerabewegung wird auch als globale Bewegung bezeichnet, da sich mit ihr der gesamte Bildinhalt verschiebt oder ändert. Zum besseren Verständnis soll die Kamera zuerst mit dem menschlichen Auge verglichen werden. Das Auge selbst ist nie in Ruhe. Es gibt verschiedene Arten von Augenbewegungen, welche in späteren Kapiteln näher erläutert werden. Trotz ständiger Verschiebung des Netzhautbildes nehmen wir eine stabile Umwelt wahr. Kamerabewegungen dagegen entsprechen in den meisten Fällen nicht unseren Sehgewohnheiten. Die bei einer Kamerafahrt langsam vorbeiwandernde Umwelt erfassen wir in der Realität nie in solch einem gleichmäßigen Ablauf. Dies macht allerdings auch den Reiz dieses filmografischen Mittels aus.

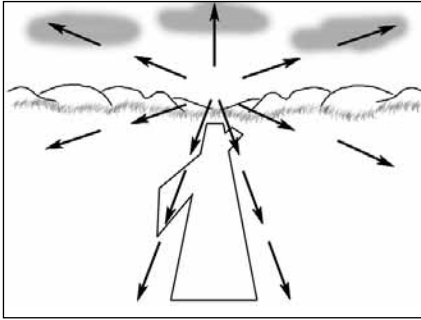


Abb. 2.6: Annäherung: Der optische Fluss aus Sicht eines Piloten während der Landung.

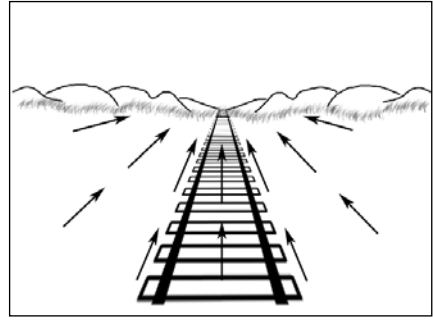


Abb. 2.7: Entfernung: Der optische Fluss vom letzten Wagon eines Zuges mit Blick nach hinten.

Identifizieren lässt sich Kamerabewegung am optischen Fluss. Der optische Fluss ist die bewusste oder unbewusste Übertragung von Bewegungsvektoren der Umwelt (Richtung und Geschwindigkeit) in die zweidimensionale Bildebene einer Kamera (siehe Abb. 2.5). Im Vergleich zweier aufeinander folgender Kamerabilder lassen sich durch die Verschiebung einzelner Bildpunkte diese Vektoren feststellen.

Die Beziehung zwischen tatsächlicher Bewegung und optischem Fluss lässt sich folgendermaßen beschreiben:

1. Befindet sich die umgebende Umwelt im Fluss (Bewegungsvektoren sind vorhanden), wird Bewegung angezeigt; fließt sie nicht (fehlende Vektoren), dann findet keine Bewegung statt.
2. Ein Auseinanderstreben der Vektoren bestimmt Annäherung (siehe Abb. 2.6), fließen sie zusammen, entfernt sich die Kamera oder der Betrachter (siehe Abb. 2.7).
3. Der Mittelpunkt oder das Zentrum der Bewegungsvektoren und damit des Auseinanderstrebens bestimmt die Richtung der Bewegung im Raum (siehe Abb. 2.8).
4. Eine Verschiebung des Ausflusszentrums zu einem anderen Bildpunkt bedeutet eine Änderung der Bewegungsrichtung oder Drehung, ein im Bild gleichbleibendes Ausflusszentrum bedeutet keine Richtungsänderung.

In der Filmgestaltung wird beim Verfolgen einer Bewegung von Kameraführung gesprochen. Dazu gehören der horizontale Schwenk, die vertikale Neigung, der Zoom und die Fahrt. Grundsätzlich werden durch die Kameraführung Objekte im Bild gehalten, was dann eine Kamerabewegung zur Folge hat, wenn sich das Objekt bewegt. Die Kamerabewegung kann zur Unterstützung von dramaturgischen Absichten eingesetzt werden und verschiedene Ziele haben:

- Verfolgen von Objekten (z. B. Protagonisten, Fußball)
- Auslösung von Reizwechseln (Bewegung erzeugt mehr Interesse beim Zuschauer)
- Unterstützung von dargestellten Bewegungsabläufen (zusätzliche Dynamik)

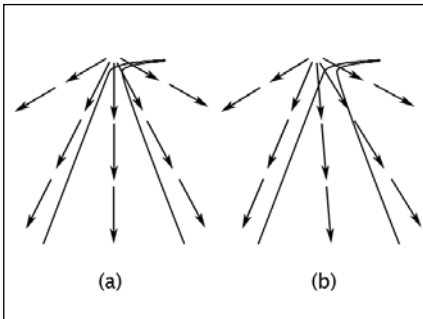


Abb. 2.8: Bei (a) befindet sich der Fahrer auf der Spur. Die Bewegungsflusslinie (Locomotor Flow Line) liegt in der Mitte der Fahrbahn und die Flusslinien scheinen aus der Kurve zu strömen. In (b) trifft keine dieser Gegebenheiten zu. Der Fahrer ist nicht auf der Spur. [Bruce85]

- Orientierungshilfe (Übersichtsfahrt, Panoramaschwenk, Filmeinführungen)
- Einführung von Protagonisten (weiterer Protagonist tritt in eine Szene)
- begreifbarere räumliche Ausdehnung (z. B. Rundum-Schwenk)
- Vermeidung von Schnitten
- Ermöglichen eines Achsensprunges (Orientierung des Zuschauers bleibt erhalten)
- Aufwertung statischer Objekte (z. B. Städte, Häuser)

Kamerabewegungen haben meist eine direkte Aussage. Der Blick des Zuschauers wird von der Kamera geführt, er soll auf etwas aufmerksam gemacht werden. Der Zuschauer wird integriert, ihm wird das Gefühl vermittelt, an der Bewegung teilzunehmen. Es können aber auch Gemütsstimmungen ausgedrückt werden (Trunkenheit durch schwankende Kamera oder Höhenangst und Schwindel). Mit der sogenannten subjektiven Kamera erlebt man als Zuschauer das Geschehen aus den Augen des Akteurs, wodurch dessen Gefühlslage verbildlicht werden kann.

Dass Kamerabewegungen auch die Wahrnehmung und Vorstellung von Raumdimensionen verbessern, hat [Kipper86] in einer Studie nachgewiesen. Mehreren Testpersonen wurden dabei unterschiedlich zusammengeschnittene Einstellungen eines Raumes vorgeführt. Ein Teil der Testpersonen bekam starre Kamerabilder zu sehen, dem anderen Teil wurden Bilder mit einer bewegten Kamerafahrt durch denselben Raum gezeigt. In einer anschließenden Befragung konnten sich die Personen, welche mit der Kamerafahrt den Raum gesehen hatten, wesentlich besser und konkreter eine Vorstellung der Dimensionen machen und sich an einzelne Gegenstände im Raum besser erinnern.

### 2.2.3 Technische Betrachtung von Objekt- und Kamerabewegungen

Die theoretische Betrachtung von auftretenden Bewegungen im Bewegtbild zeigte, dass diese in unterschiedlichen Ausmaßen abbildbar und wahrnehmbar sind. Welches Ausmaß zeigen diese Bewegungen aber in Bezug zur Bildfläche wirklich? In [Bonseg6] wurde an repräsentativem Testmaterial<sup>1</sup> computergestützt eine visuelle

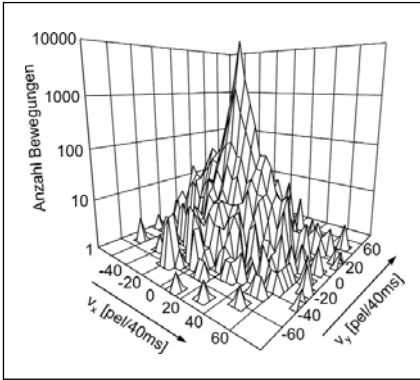


Abb. 2.9: Geschwindigkeitsverteilung in typischen Bewegtbildszenen durch Objekt- und Kamera-bewegung. [Bonse96]

Objekterkennung und anschließende Bewegungsmessung durchgeführt. Objektbewegung und zusätzlich durch die Kameraführung entstandene Bewegungen wurden dabei getrennt gemessen. Die Messung geschieht, indem der Abstand zweier zusammengehörender Pixel, die einen Punkt in der Bildszene repräsentieren, von aufeinander folgenden Bildern gemessen wird. Die dabei verwendete Einheit ist  $\text{pel}/40\text{ ms}$  (Pixelemente pro Vollbild). Abbildung 2.9 zeigt die Häufigkeit und die Geschwindigkeitsverteilung von den im gemessenen Testmaterial vorkommenden Bewegungen.

Es zeigte sich, dass die Kamerabewegungen einen entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung der dargestellten Bewegtbildszene haben. Die meisten Bewegungen konzentrieren sich auf den Bereich  $\pm 6,25^\circ/\text{s}$  bei einem Betracht-

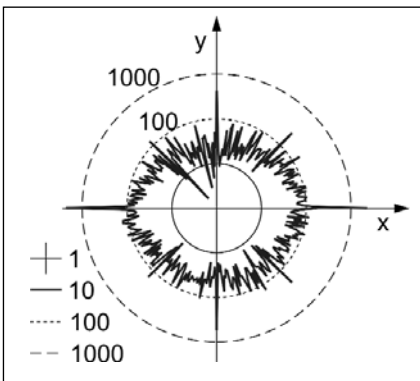


Abb. 2.10: Reine Objektbewegung als Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die Bewegungsrichtung. [Bonse96]

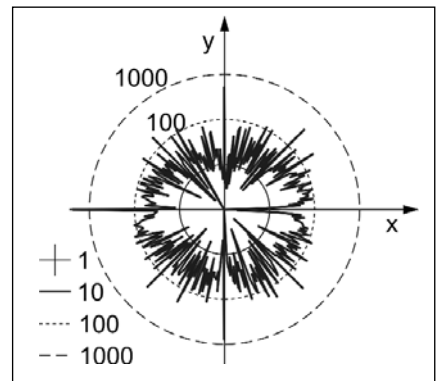


Abb. 2.11: Kamera- und Objektbewegung als Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die Bewegungsrichtung. [Bonse96]

tungsabstand von doppelter Bildhöhe<sup>2</sup>. Das bedeutet, dass für das Auge zwischen Realität und Abbild bezüglich der wahrgenommenen Objektbewegung in Abhängigkeit der Betrachtung Unterschiede bestehen können. Weiter wurde festgestellt, dass je nach Einstellungsgröße der Kamera verschiedene Geschwindigkeitsbereiche abgedeckt werden. So finden sich in Großaufnahmen höhere Objektgeschwindigkeiten als in Totalen. Abb. 2.10 zeigt die Häufigkeit auftretender Objektbewegungen in Bezug auf die Bewegungsrichtung. Es wird deutlich, dass diese relativ gleichverteilt auftreten.

Außerdem wurde festgestellt, dass horizontale Bewegungen häufiger als vertikale auftreten. Dabei nehmen schnelle Bewegungen unabhängig von der Kameraeinstellung nur eine verschwindend kleine Bildfläche ein. Wie Abb. 2.11 zeigt, kommen Kamera- und Objektbewegungen in rein horizontalen und rein vertikalen Richtungen häufiger vor als in den übrigen Richtungen. Ein starker Ausschlag nach links, also Bewegungen der Kamera nach rechts, deutet hier auf unseren Kulturkreis hin, wo die Lese- und Schreibgewohnheiten von links nach rechts ablaufen.

## **2.2.4 Manipulierte Bewegung**

### **2.2.4.1 Schnitt und Montage**

Schnitt und Montage bezeichnen ein technisches Verfahren mit ästhetischer Potenzialität. In der klassischen Filmtheorie werden beide Begriffe differenziert: Schnitt stellt den technischen Vorgang dar, das Abgrenzen einer Einstellung durch zwei Schnitte. Montage meint hingegen das ästhetische Prinzip, es ist das Aneinanderfügen von geschnittenen Einstellungen und Inhalten. Im heutigen Sprachgebrauch versteht man unter beiden Begriffen jedoch meist dasselbe. Durch diese Techniken wird ein Film erst zu dem, was er ist: eine Aneinanderreihung verschiedenster Einstellungen, die in Bezug zueinander stehen oder vom Zuschauer in Bezug zueinander gebracht werden sollen. Mit der Montage wird eine freie Bewegung durch Raum und Zeit möglich<sup>3</sup>, was eine nur dem Film immanente Gestaltungsebene bleibt. Schnitt und Montage erzeugen eine zweite Bewegungsebene, die sich nicht nur auf im Bild sichtbare Bewegung beschränkt, sondern auch die Dramaturgie des Films weiterbewegt und das Erzählte in einen tragenden Rhythmus überführt.

Schnitt kommt zwar unserem natürlichen Blickverhalten sehr nahe, dennoch stellt das eine Manipulation von Bewegung dar. Die beginnt schon in der filmischen

---

<sup>1</sup> Es wurden HDTV-Bildsequenzen untersucht, die im Rahmen des EUREKA-Projektes EU95 als Testmaterial für neue Bildverarbeitungstechniken produziert wurden.

<sup>2</sup> Als Abkürzung für die Bildhöhe wird im Folgenden der Buchstabe „H“ verwendet; hier: 2H.

<sup>3</sup> Ein wichtiges Beispiel ist der Jump-Cut: Zur Unterbrechung und Störung von Wahrnehmungsgewohnheiten werden Raum und Zeit übersprungen (eine Person ist an unterschiedlichen Orten zu sehen, oder „springt“ an eine andere Stelle im Raum).



Abb. 2.12: Zwei aneinander montierte Einstellungen. Im Bewegtbild wird man vom Blick auf beide Personen auf die Großaufnahme der Frau gelenkt.

Auflösung einer Szene. Beispielsweise ließe sich der Bewegungsablauf „ein Mann tritt zur Tür in ein Café herein, geht auf eine Frau in der Mitte des Raumes zu und setzt sich zu ihr an den Tisch“ in mehrere Einstellungen einteilen:

1. Sicht von außerhalb; Mann öffnet Tür.
2. Blick innerhalb von der Frau zur Tür gerichtet; Mann tritt ein und geht auf die Frau zu.
3. Hand des Mannes greift die Hand der Frau.
4. Mann setzt sich an den Tisch.

Die zusammenhängende Bewegung des Mannes ist auf diese Weise in vier Einstellungen aufgelöst, welche im Schnitt wieder zusammengefügt werden. Wenn der Aufbau der Szene dem Blickrhythmus eines Menschen angenähert ist, spricht man vom „unsichtbaren Schnitt“, da er vom Zuschauer meist nur unbewusst wahrgenommen wird. Um diesen Eindruck zu erzeugen, folgen unterschiedliche Einstellungsgrößen selten kontrastiv aufeinander. Sie werden in der Abfolge miteinander vermittelt, so als näherte sich der Zuschauer einem Geschehen. Der eigentliche Trick besteht darin, dass Bewegungen aus verschiedenen Einstellungen so miteinander verknüpft sind, dass diese nicht unterbrochen sind oder in eine ähnliche Bewegung überführt werden können. Eine Manipulation findet insofern statt, als die eigentlich zusammenhängende Bewegung aus verschiedenen Perspektiven zu unterschiedlichen Zeitpunkten fotografiert wird. Die Tatsache, dass der Schnitt dabei nicht wahrgenommen wird, haben wir der Leistung unseres Gehirns und dem Geschick des Cutters zu verdanken.

Schnitt und Montage können auch den Ablauf eines dramaturgischen Geschehens beschleunigen. Beispielsweise kann damit einer Sequenz ruhiger Bilder mehr Bewegung hinzugefügt werden. Seit den neunziger Jahren kam zunehmend zusätzliche Bewegung in Filme und Videos. Durch die Seherfahrung und eine Gewöhnung der Zuschauer konnten Schnittfrequenzen stetig erhöht werden. Dass wir heute rasanten Schnittfolgen wie in vielen Actionfilmen oder Musikvideos folgen können, hat also viel mit den Sehgewohnheiten und Erfahrungen unserer Zeit zu tun. Noch Mitte des letzten Jahrhunderts war die Schnittfrequenz wesentlich niedriger. Zu Beginn des Filmzeitalters vor etwa 110 Jahren wurden noch theaterartige Szenen mit feststehenden, meist nur von Titledafeln unterbrochenen Einstellungen gezeigt.

### 2.2.4.2 Zeitlupe

Wird bei der Aufnahme mit einer gegenüber der Wiedergabe erhöhten Bildfrequenz aufgezeichnet, spricht man von Zeitlupe. Technisch gesehen stimmt die Geschwindigkeit der Aufnahme nicht mit der der Projektion überein. Wie der Begriff schon sagt, erlaubt Zeitlupe einen im übertragenen Sinn vergrößerten Blick auf die Zeit. Im Film lässt sich die Zeit durch Zeitlupe dehnen und damit auch die in dieser Zeit ablaufende Bewegung. Der englische Begriff „slowmotion“ weist eher auf das Ergebnis einer langsam ablaufenden Bewegung hin. Im Englischen spricht man auch von „overcranking“, was im Deutschen soviel wie „überdrehen“ bedeutet. Abgesehen von speziellen Highspeedkameras<sup>1</sup> können moderne Filmkameras mit bis zu 150 Bildern pro Sekunde aufzeichnen. Bei einer Darstellung mit einer Bildfrequenz von 25 Hz würde dies 1/6 der ursprünglichen Aufnahmedauer ausmachen.

Zeitlupendarstellungen können verschiedene Funktionen haben:

- Ein besonderes Geschehen wird dadurch einer besonders detaillierten Betrachtung zugänglich. Dazu gehören schnelle Naturprozesse wie der Fliegenfang eines Frosches, aber auch spektakuläre Inszenierungen im Spielfilm wie beispielsweise Explosionen oder Stunts.
- Sie erklären ein Geschehen in einer ähnlichen Art wie weichgezeichnete oder überbelichtete Bilder. Deswegen werden nostalgische Erinnerungsbilder oft als Zeitlupenaufnahmen realisiert.
- Sie sind ein inzwischen konventionelles Mittel, um Geschehnisse zu intensivieren oder zu entfremden. Dadurch kann beispielsweise Gewalt vom Kontext getrennt und als empathisierende Handlung vorgeführt werden, indem sie als besonderer Erfahrungs- und Zeitmodus artikuliert wird. In dieser Art wird auch die Abklingphase von Handlungen hervorgehoben. Dies ist zum Beispiel der Augenblick des Entsetzens, wenn die Frau den ertrunkenen Mann aus dem Pool zieht.
- Zeitlupe kann vor allem in Sportfilmen pathetisch und unter Umständen nostalgisch die Schönheit und die Bewegung des menschlichen Körpers im athletischen Vollzug darstellen. In Sportsendungen dienen sie zur Verdeutlichung von Bewegungsabläufen und lassen gegebenenfalls Fehler der Sportler besser erkennen.
- Sie dienen auch der Markierung von Subjektivität und subjektiver Wahrnehmung. Im Gegensatz zur Filmzeit nimmt der Zuschauer Zeitlupe als Verstoß gegen das Zeitempfinden wahr. Die dargestellte Bewegung entspricht nicht dem realen Bewegungsablauf, sie ist manipuliert.

---

<sup>1</sup> Highspeedkameras können bis zu 10.000 Bilder pro Sekunde aufzeichnen und werden meist für wissenschaftliche Zwecke oder extreme Filmeffekte verwendet.

Im Videosektor lassen sich Zeitlupenaufnahmen mithilfe von NLE-Schnittsystemen<sup>1</sup> erstellen. Hierbei gibt es unterschiedliche Algorithmen, von der einfachen Verdopplung der Bilder oder Felder<sup>2</sup> bis hin zu Interpolation und Bewegungskompensation (siehe Abschnitt 4.3.2.4) oder Morphing<sup>3</sup> zwischen den tatsächlich aufgezeichneten Bildern.

### 2.2.4.3 Zeitraffer

Zeitraffer (engl. fast motion oder time-lapse) ist das Gegenteil von Zeitlupe. Es wird mit einer gegenüber der Wiedergabe verringerten Aufnahmebildrate gedreht. Folglich erscheinen Bewegungen beschleunigt, was für diesen Fall eine Manipulation der Bewegung bedeutet. Dadurch lassen sich Abläufe in kurzer Zeit darstellen, die man mit bloßem Auge nicht erkennen würde.

Im Gegensatz zum wissenschaftlichen Film, wo Zeitraffer meist dazu dient langsam ablaufende Entwicklungen zu visualisieren, wird er im szenischen Film fast ausschließlich für komische Zwecke verwendet. Zeitraffer war eine der Slapstick-Techniken und wird bis heute in einer solchen Art und Weise verwendet. Trotzdem kann damit Vergehen von Zeit erzählt werden.

Technisch gibt es verschiedene Möglichkeiten, eine Zeitrafferaufnahme umzusetzen. Die Auslösung der Kamera kann von Hand, bei längeren Aufnahmen auch über spezielle Schaltgeräte erfolgen. Diverse Camcorder bieten eine Serienbildfunktion, sogar mit normalen Spiegelreflexkameras sind Zeitrafferaufnahmen möglich. Voraussetzung ist nur ein gleichbleibendes Beleuchtungsverhältnis, wie es in einem Fotostudio der Fall ist.

Auch mit NLE-Schnittsystemen lassen sich Zeitraffereffekte erzeugen. Entweder gibt es sie schon als Funktion des Systems, oder man entfernt eine gewisse Anzahl von Bildern in festgelegten Intervallen.

### 2.2.4.4 Time-Slice

Time-Slice oder auch Bullet Time<sup>4</sup> bezeichnet einen besonderen Bewegungseffekt, bei dem eine schnelle Kamerafahrt in extremer Zeitlupe stattfindet. Diesen Effekt kennt man aus Filmen wie „Matrix“ (Regie: Andy und Larry Wachowski, 1999), wo die Kamera während einer Kampfszene um die Akteure fliegt und diese scheinbar in der Luft stehen bleiben.

---

<sup>1</sup> NLE (Non-Linear-Editing): ein computergestütztes Schneiden und Bearbeiten von Filmen

<sup>2</sup> Ein Feld entspricht einem Halbbild.

<sup>3</sup> Morphing: computergestütztes Verfahren, bei dem ein Gegenstand in Form und Farbe eines anderen Gegenstands überführt wird

<sup>4</sup> Die Bezeichnung „Bullet Time™“ ist ein eingetragenes Warenzeichen von Warner Bros., dem Distributor von „Matrix“.



Abb. 2.13: Time-Slice Aufbau. [Foto: Torsten Hauer]

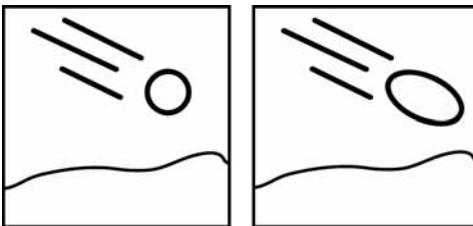
Dies wird realisiert, indem man mehrere synchron ansteuerbare Kameras mit überlappendem Sichtbereich rund um eine Szene aufstellt (vgl. Abb. 2.14). Werden diese Bilder nun nacheinander abgespielt, erweckt es den Eindruck, als würde man sich durch den Raum bewegen, während die Zeit still steht. Es besteht dabei die Möglichkeit, alle Kameras gleichzeitig oder leicht zeitversetzt auszulösen. Dann ist zu-

sätzlich zur Bewegung durch den Raum auch eine verlangsamte Bewegung des Objektes sichtbar. Da meist Aufnahmen einer normalen Kamera mit diesem Effekt kombiniert sind, kann es sinnvoll sein, damit einen weichen Übergang von und zur tatsächlichen Objektbewegung zu erzeugen. Um den Effekt zu verstärken oder zeitlich auszudehnen, werden Techniken wie Überblendung und Morphing zur Interpolation der fehlenden Zwischenbilder angewandt.

Time-Slice ist in seiner extremen Form also eine Bewegungsart, die nicht real stattfinden kann, da im physikalischen Sinne Bewegung nur existiert, wenn dabei auch Zeit vergeht.

#### 2.2.4.5 Animation

Im eigentlichen Sinn meint „Animation“ die Belebung und Bewegung von Bildern (Zeichentrick), Objekten (Knetfiguren oder spezielle Puppen), grafischen Konstrukten (am Computer designed) und Personen. Ein klassisches Beispiel einer Animationstechnik ist Stop-Motion. Dabei verändert der Animator zwischen jeder Aufnahme eines Einzelbildes per Hand die Position des zu animierenden dreidimensionalen Objekts. Werden nach der Entwicklung des Filmes alle Einzelbilder nacheinander mit Normalgeschwindigkeit abgespielt, ergibt sich die Illusion einer realen Bewegung. Auch spezielle Kamerabewegungen sind mit dieser Technik möglich, sie erfordern allerdings eine zur Bewegung der Figuren synchrone Kameraführung.



Speed lines

Speed lines and object stretching

Abb. 2.14: Konventionelle Animationsmethoden um Bewegung darzustellen: Hinzufügen von Bewegungslinien (links) und zusätzliches Dehnen des Objekts (rechts).

Durch die Aneinanderreihung von statischen Einzelbildern ergibt sich in Stop-Motion-Technik ein Shuttereffekt<sup>1</sup>. Die fehlende Bewegungsunschärfe kann mit der Technik Go-Motion erzeugt werden. Dabei wird während der Aufnahme eines Einzelbildes die Figur oder der Gegenstand computergesteuert bewegt.

Im Bereich der CGI<sup>2</sup>-Animation wird Raytracing<sup>3</sup> zur Erzeugung von Bewegungsunschärfe verwendet. Dabei ist es üblich, mehrere Strahlen pro Pixel zu erzeugen, um örtliche Aliasartefakte zu verringern. Diese Strahlen können gleichmäßig oder stochastisch verteilt werden. Um Bewegungsunschärfe zu gewinnen, werden die Strahlen sowohl örtlich als auch zeitlich verteilt. Ein Bild mit Bewegung kann also als Intervall über die Zeit betrachtet werden, welches wiederum in Subintervalle geteilt wird. Die Strahlen werden nun auf die Subintervalle verteilt und letztendlich alle dabei entstandenen Teilbilder wieder zum Endbild zusammengefügt.

Der Animator kann den Shuttereffekt auch beeinflussen, indem er die Form des bewegten Objekts verändert. Er kann das Objekt wie in Abb. 2.14 gezeigt beispielsweise in Richtung der Bewegung strecken. Das führt zur Reduzierung der Unterschiede zwischen den Bewegungen zweier Bilder.

## **2.3 Wahrnehmung von Bewegung**

Um Bewegung überhaupt wahrnehmen zu können, ist eine enge Verknüpfung von Augen- und Gehirnfunktionen nötig. Die Fähigkeit, auf einem unbewegten Bildschirm eine Folge von stehenden Bildern als bewegt sehen zu können, verdanken wir dieser biologisch-psychischen Leistung. Dies führt sogar soweit, dass bei uns verschiedenste Gefühle ausgelöst werden können. Entwicklungsgeschichtlich ist das Wahrnehmen von Bewegung lebenswichtig, das bloße Feststellen einer statischen Umwelt hätte biologisch gesehen keinen Sinn.

### **2.3.1 Visuelle Fähigkeiten des Auges**

#### **2.3.1.1 Das Auge – eine biologische Kamera?**

Im Auge trifft das Abbild unserer Umwelt durch die Hornhaut und Augenlinse gebrochen auf die Netzhaut (Retina). Diese ist ungefähr 0,25 mm dick und besteht aus etwa 125 Millionen Rezeptoren, den Zapfen und Stäbchen. Das ins Auge dringende Licht muss zuerst eine Schicht aus Ganglien- und Bipolarzellen durchdringen, ehe es von den lichtempfindlichen Zapfen und Stäbchen registriert werden kann. Dahinter liegt die schwarze Melaninpigmentschicht, welche dafür sorgt, dass das Licht nicht wieder ins Auge zurückreflektiert wird. Sie ist vergleichbar mit den schwarzen Flächen im Innern eines Fotoapparates.

Die Stäbchenrezeptoren der Netzhaut sind für das Nachtsehen zuständig und für Farben unempfindlich. Sie dienen nur der Information „heller oder dunkler“, trotz-



Abb. 2.15: Zellstruktur der Netzhaut

dem ist die Empfindlichkeit der Stäbchen sehr hoch, auch deshalb, weil mehrere Stäbchen eine Ganglienzelle anregen, welche die Signale ins Gehirn weiterleitet. Für das Sehen von Farben sind die Zapfen verantwortlich. Allerdings gibt es mehr rot- und grünempfindliche als blauempfindliche Zapfen<sup>4</sup>. Nur im Bereich des schärfsten Sehens spricht jeder Zapfen eine Ganglienzelle an. Wegen dieser geringeren Empfindlichkeit kann man mit den Zapfen nur bei Tageslicht sehen. Bei Nacht ist man farbenblind.

Im Gegensatz zur Foto- oder Filmkamera besitzt das menschliche Auge keinen Verschluss. Trotzdem sehen wir unsere Umwelt nicht völlig verwischt. Bewegt man sich zum Beispiel auf einem Fußweg, nimmt man die umstehenden Gebäude als unbewegt und starr wahr, andere Fußgänger und vorbeifahrende Autos sind trotz ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeiten mit scharfen Umrissen erkennbar. Wir haben auch den Eindruck, dass man sich mit den anderen

Fußgängern und Autos durch denselben statischen Raum bewegt. Eine Filmkamera würde hier mithilfe ihres Verschlusses fortlaufend Bilder einfrieren. Aus diesen Momentaufnahmen der Bewegung kann wieder eine scheinbare Bewegung erzeugt werden.

In Experimenten konnte [Johansson75] nachweisen, dass ein fixiertes Netzhautbild<sup>5</sup> nach kurzer Zeit schwächer wahrgenommen wird und schließlich keine Wahrnehmung mehr erzeugt. Dagegen würde ein Film oder ein Videokamerasensor schon nach kurzer Zeit ein überbelichtetes Bild zeigen. Die Rezeptoren der Netzhaut besit-

<sup>1</sup> Bei fehlender Bewegungsunschärfe kann der Bewegungsablauf eines Films einen stroboskopartigen Eindruck hervorrufen. Diese Erscheinung nennt man Shuttereffekt.

<sup>2</sup> CGI: Computer Generated Images (engl.: computergenerierte Bilder)

<sup>3</sup> Raytracing (engl.): Strahlverfolgung. Ähnlich wie Bewegungsvektoren verbinden diese Strahlen zwei sich entsprechende Pixel eines bewegten Objektes innerhalb des Animationsprogramms.

<sup>4</sup> Das Verhältnis der roten und grünen Zapfen beträgt 2:1, die blauempfindlichen Zapfen machen etwa 5 % der Gesamtanzahl aus.

<sup>5</sup> Dies kann durch Fixieren einer Lichtquelle auf einer Kontaktlinse erreicht werden.