

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien (5. OG) aufgestellt und zugänglich (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (5<sup>th</sup> floor) on the open access shelves (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

DISSERTATION

**Naturwissenschaftliche Analyse von populären Filmen  
und deren Anwendbarkeit in Schulen**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Ao. Univ.-Prof. Dr.phil. Heinz Oberhummer  
E141  
Atominstitut der österreichischen Universitäten

eingereicht an der Technischen Universität  
an der Fakultät für Physik

von

Mag. rer. nat. Stefan Krejci  
Matrikelnummer: 9825679

Wiedner Hauptstraße 118/26  
A – 1050 Wien  
Österreich

Wien, am 20.2.2007

Datum

Handwritten signature of Mag. Stefan Krejci in black ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Mag. Stefan Krejci

## **Kurzfassung**

---

Ausgangspunkt der Dissertation sind zwei Eurobarometer-Umfragen aus den Jahren 1992 und 2001. Bei beiden Umfragen wurde dieselbe Frage gestellt („Die ersten Menschen lebten zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier.“ – Antwortmöglichkeiten „Richtig“ – „Falsch“ – „Keine Angabe“), im Jahr 2001 konnte gegenüber der Umfrage im Jahr 1992 jedoch ein signifikanter Wissensanstieg erfasst werden. Die Autoren der Umfrage erlaubten sich hierauf die Frage, ob hier vielleicht der Film „Jurassic Park“ von Stephen Spielberg der Grund sein könnte.

In der vorliegenden Dissertation werden Szenen aus verschiedenen populären Filmen auf ihren naturwissenschaftlichen Wahrheitsgehalt untersucht. Den Hauptteil bildet die Analyse von Nicht-Science-Fiction Filmen, wo Situationen berechnet und auf Grundlage dieser Ergebnisse falsifiziert oder verifiziert werden können. Auch Science-Fiction Filme bilden eine Basis für breit gefächerte wissenschaftliche Diskussionen. Als Beispiel sei hier die Wahrscheinlichkeit von außerirdischem Leben genannt.

Speziell in Hinblick auf die breite Verwendung der Filmanalysen im Schulunterricht werden zu den diskutierten Filmszenen passende Versuche zusammengestellt, die den Unterricht neben der Analyse unterstützen sollen. Außerdem nahmen drei LehrerInnen an dem Versuch teil, die Filmanalyse mit ihrer jeweiligen Klasse zu versuchen. Im Anschluss standen sie für ausführliche Interviews zur Verfügung, aus denen Vor- und Nachteile dieser Unterrichtsmethode hervorgehen.

Viele der Ergebnisse dieser Dissertation werden im EU-Projekt CISCI (Cinema and Science, [www.cisci.net](http://www.cisci.net)) verwendet.

## Vorwort

---

Jede Woche fällt wohl bei unzähligen Unterhaltungen in aller Welt der Satz „Gehen wir ins Kino?“. Das moderne Kino ist ein beliebter Freizeitspaß, der zur Unterhaltung von einzelnen Personen und ganzen Gruppen dient. Mittlerweile wird in Kinos nicht mehr nur ein Bild geboten, das weit über die Dimensionen des zuhause stehenden Fernsehers hinausgeht – es werden teils Bilder gigantischer Größe und Schärfe geboten. Nicht fehlen darf das richtige Audio-System, das zusammen mit dem Bild dem Kinobesucher den Eindruck vermittelt, als ob er sich mitten im Filmgeschehen befinde. Und dem Trend folgend werden die Dimensionen immer weiter vergrößert und die Qualität verbessert.

Neben übergroßem Bild und fantastischem Sound-System wird der Film, den man sich ansieht, fast in den Hintergrund gedrängt. Natürlich darf der Film an sich nicht fehlen – was wäre ein großer Kinosaal ohne Film? Aber wie sieht es mit der Qualität des Filminhalts aus? Es gibt Filme, bei welchen man sich im Nachhinein (oder bereits während des Films) fragt, wofür man das Geld für die Kinokarte ausgegeben hat, andere Filme wiederum sind es vielleicht sogar wert, öfters ins Kino zu gehen. Doch welcher Kinobesucher stellt sich die Frage, was einen „guten“ bzw. einen „schlechten“ Film ausmacht? Ist es der Filminhalt? Die Filmgeschichte? Das große Bild? Der beeindruckende Sound? Oder der Regisseur, der es versteht, die Bilder richtig einzufangen?



Die Frage nach einem guten Film wird wohl jeder Kinobesucher für sich selbst beantworten müssen. Es kommt schlussendlich wesentlich auf den persönlichen Geschmack eines jeden einzelnen an. Einer bevorzugt Actionfilme, ein anderer liebt Science-Fiction, ein dritter Thriller, Komödien usw.

Vielleicht lassen sich aber auch einige grundlegende gemeinsame Sachverhalte herausfiltern. Wie steht es z.B. mit der Korrektheit von Situationen in Filmen? Oft werden waghalsige Sprünge über Abgründe gezeigt, rasante Verfolgungsjagden, wilde Schießereien, brutale Schlägereien. Protagonisten reisen nicht nur im Raum, sondern auch in der Zeit vor und zurück. Busse werden über fehlende Brückenteile geschleudert. Schiffe kollidieren mit Eisbergen. Alarmanlagen werden quasi per Knopfdruck deaktiviert. Können diese und ähnliche Situationen auch in der Realität so wie gezeigt ablaufen? Oder wären bei einer Schießerei oft nicht längst bereits alle tot? Oder anders ausgedrückt: Wieso überlebt zufällig immer der Held?<sup>1</sup>

Wir wollen im Hauptteil der vorliegenden Arbeit auf einige Situationen in aktuellen sowie bekannten Kinofilmen eingehen und diese speziell aus dem Blickwinkel der Naturwissenschaft analysieren. Wir werden gewagte Sprünge in die Tiefe nachrechnen, wilde Verfolgungsjagden zeitlich auflösen, so manchen Sprung mit einem Autobus über die Brücke betrachten, und noch vieles mehr.

---

<sup>1</sup> Zumindest solange wie es für die Handlung des Films notwendig ist...

Auch Spekulationen über die Inhalte von Science-Fiction Filmen werden unter die Lupe genommen. Inwieweit sind Zeitreisen möglich? Welche Konsequenzen ergeben sich durch Zeitreisen? Wie kommt es, dass Drachen die Weltherrschaft übernehmen? Einige Szenen aus Science-Fiction Filmen lassen sich mithilfe der Naturwissenschaft gut unter die Lupe nehmen.

Als AHS-Professor möchte ich auch speziell auf die Anwendbarkeit von populären Kinofilmen in der Schule eingehen. Können Filme das Weltbild eines jungen Menschen verändern bzw. prägen? Unter diesen Voraussetzungen möchte ich zeigen, inwieweit Szenen aus Kinofilmen die Lehrenden bei ihrer täglichen Arbeit unterstützen können, einen modernen Physik-Unterricht zu präsentieren. Als Abschluss der Arbeit werden zu vielen der diskutierten Filmausschnitte passende Versuche zusammengestellt, sowie Stundenvorschläge für die Arbeit mit Videoclips erstellt. In drei Schulen erklärten sich junge LehrerInnen bereit, nach zweimaligem Zeigen und Bearbeiten eines Filmclips mit ihrer Klasse ein ausführliches Interview zu geben. Die Ergebnisse, Vorteile sowie Nachteile dieser neuen Unterrichtsmethode werden vorgestellt.

Nach Kapitel 1, der Einleitung wird die Arbeit in Kapitel 2 mit der grundlegenden Unterscheidung von Science-Fiction Filmen und Nicht-Science-Fiction Filmen beginnen. Diese beiden Genretypen unterscheiden sich offensichtlich, sodass die Analyse in eigenständigen Kapiteln erfolgt.

In Kapitel 3 werden die naturwissenschaftlichen Grundlagen für die Analysen ausführlich behandelt.

Nicht-Science-Fiction Filme werden in Kapitel 4 diskutiert.

Auf eine kurze Inhaltsangabe folgt die Beschreibung der

Szene. Die Analysepunkte sind folgend thematisch zusammengefasst. Dabei werden Clips aus den Filmen „Ocean’s Eleven“, „Speed“, „Apollo 13“, „Twister“, „Contact“, „Deep Impact“, „Schlimmer geht’s immer“, sowie „Titanic“ diskutiert.

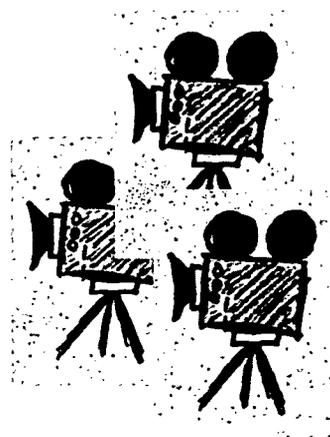
Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Analyse von Clips aus Science-Fiction Filmen. Beleuchtet werden Szenen aus den Filmen „Evolution“, „Herrschaft des Feuers“ und „Virus“.

Passend zu den einzelnen Filmclips werden in Kapitel 6 Versuche beschrieben.

Darauf folgend wird in Kapitel 7 die Zusammenfassung der Interviews jener drei LehrerInnen wiedergegeben, die sich bereit erklärt haben, mit einer Klasse je zwei Clips zu bearbeiten. Die LehrerInnen berichten über ihre Erfahrungen, die Reaktionen der Klasse, Vor- und Nachteile dieser Methode.

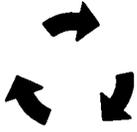
Mit einer Zusammenfassung in Kapitel 8 endet die Arbeit. Ergänzt wird sie in Anhang A mit fertigen „Analysevorlagen“ der einzelnen Filmclips. In Anhang B wird die Transkription der Interviews im Original wiedergegeben.

Ich wünsche allen LeserInnen interessante Seiten, sowie die einen oder anderen Einblicke in die Naturwissenschaft! Auf jeden Fall wünsche ich Euch/Ihnen und mir, dass (nicht nur) Kinofilme mit einem etwas kritischen Auge betrachtet werden. Die Aufmerksamkeit zeigt sich bereits, wenn man hin und wieder im weichen Kinosessel vor sich hin schmunzelt, „Nein, so sicher nicht!“ denkt, noch tiefer in den Sessel sinkt und den Film weiter genießt.



Mag. rer. nat. Stefan Krejci

„Wissenschaft kann die letzten Rätsel der Natur nicht lösen.



Sie kann es deswegen nicht,  
weil wir selbst ein Teil der Natur sind,  
und damit ein Teil des Rätsels,  
das wir lösen wollen.“

Max Planck

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Science-Fiction versus Nicht-Science-Fiction .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen für die Analyse.....</b>	<b>20</b>
3.1	Der freie Fall .....	20
3.2	Kräfte bei Bewegungen .....	21
3.3	Gleichmäßige Kreisbewegung .....	22
3.4	Impuls .....	23
3.5	Der schiefe Wurf.....	25
3.6	Permanentmagnetismus.....	32
3.7	Laserlicht.....	34
3.8	Tornados.....	35
3.9	Apollo 13 – Mission.....	38
3.10	Jansky.....	45
<b>4</b>	<b>Analyse von Nicht-Science-Fiction Filmen .....</b>	<b>46</b>
4.1	Ocean's Eleven.....	46
4.1.1	Beschreibung der Szene .....	46
4.1.2	Der freie Fall .....	47
4.1.3	Magnetismus .....	54
4.1.4	Sichtbare Laserstrahlen .....	56
4.1.5	Der „Pinch“ .....	57
4.2	Speed .....	61
4.2.1	Beschreibung der Szene .....	61
4.2.2	Schiefer Wurf.....	62
4.3	Apollo 13.....	69
4.3.1	Beschreibung der Szene .....	69
4.3.2	Impulsbetrachtung.....	69
4.4	Twister .....	71
4.4.1	Beschreibung der Szene .....	71
4.4.2	Geschwindigkeit .....	72
4.4.3	Die Fahrt durch den Graben.....	73
4.4.4	Tornado .....	74
4.5	Contact .....	76
4.5.1	Beschreibung der Szene .....	76
4.5.2	Analyse der Szene .....	78
4.5.3	Außerirdisches Leben .....	79
4.6	Deep Impact .....	80
4.6.1	Beschreibung der Szene .....	80
4.6.2	Entdeckung eines Kometen.....	81
4.6.3	Fotographie des Kometen .....	81
4.6.4	Bahnberechnung des Kometen.....	82
4.7	Schlimmer geht's immer .....	84
4.7.1	Beschreibung der Szene .....	84
4.7.2	(Un-)Sichtbares Laserlicht .....	84
4.8	Titanic .....	86
4.8.1	Beschreibung der Szene .....	86
4.8.2	Anomalie des Wassers .....	88
4.8.3	Der Pivotpunkt .....	90

<b>5</b>	<b>Analyse von Science-Fiction Filmen.....</b>	<b>92</b>
5.1	Evolution.....	92
5.1.1	Beschreibung der Szene.....	92
5.1.2	Meteoroid, Meteor, Meteorit.....	92
5.1.3	Meteoriteneinschlag.....	93
5.1.4	Evolution im Schnellgang.....	94
5.1.5	Außerirdisches Leben.....	95
5.2	Herrschaft des Feuers I.....	96
5.2.1	Beschreibung der Szene.....	96
5.2.2	Drachen.....	97
5.2.3	Brennbarkeit von Materialien.....	97
5.3	Herrschaft des Feuers II.....	99
5.3.1	Beschreibung der Szene.....	99
5.3.2	Wärmeleitung.....	100
5.4	Virus.....	101
5.4.1	Beschreibung der Szene.....	101
5.4.2	Lebensform auf Grundlage von Energie.....	101
5.4.3	Halongasvergiftung.....	104
<b>6</b>	<b>Anwendung im Unterricht.....</b>	<b>105</b>
6.1	Ocean's Eleven.....	105
6.1.1	Der freie Fall, Variante I.....	105
6.1.2	Der freie Fall, Variante II.....	106
6.1.3	Laserlicht/weißes Licht sichtbar machen.....	108
6.1.4	Magnetismus.....	110
6.2	Speed.....	111
6.2.1	Wurfparabel eines Weitspringers.....	111
6.3	Titanic.....	112
6.3.1	Wasser und seine Eigenschaften.....	112
6.3.1.1	Kältemischung (Ref. [25]).....	112
6.3.1.2	Anomalie des Wassers.....	113
6.3.1.3	Felssprengung.....	113
6.3.2	Pivotpunkt.....	114
6.4	Apollo 13.....	114
6.4.1	Rakete im Eigenbau.....	114
6.4.2	Absprengung, oder Der Auffahrunfall.....	116
6.5	Contact.....	117
6.5.1	Empfang von Wellen – Faradayscher Käfig.....	117
6.5.2	Projekt „extraterrestrisches Leben“.....	117
6.6	Deep Impact.....	119
6.6.1	Meteoriteneinschlag in der Klasse.....	119
6.7	Herrschaft des Feuers I.....	120
6.7.1	Drachenflug und Feuerspei im PH-Saal.....	120
6.7.2	Kochen im Papiertrichter.....	120
6.8	Herrschaft des Feuers II.....	121
6.8.1	Eine heiße Türe.....	121
6.9	Twister.....	122
6.9.1	Tornado im Wasserglas.....	122
<b>7</b>	<b>Auswertung der Interviews.....</b>	<b>123</b>
7.1	Durchführung.....	124
7.2	Voraussetzungen.....	124
7.3	Motivation im klassischen PH-Unterricht.....	124
7.4	Stundenaufbau mit erstem Film.....	124
7.5	Stimmung in der Klasse beim ersten Film.....	125

7.6	Eindrücke der Lehrkraft beim ersten Film .....	125
7.7	Unterschiede beim zweiten Filmclip .....	125
7.8	Lehrkräfte sehen Vorteile .....	126
7.9	Lehrkräfte sehen Nachteile .....	126
7.10	Weitere Kommentare der Lehrkräfte .....	126
7.11	„Würden Sie es wieder machen“? .....	127
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>128</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>130</b>
9.1	Anhang A: Content Units für CISC1 .....	130
9.1.1	Oceans Eleven – Ein tiefer Fall .....	130
9.1.2	Oceans Eleven – (Un-)Sichtbares Licht .....	135
9.1.3	Deep Impact – Entdeckung eines Kometen .....	140
9.1.4	Evolution – Ein artiger Meteorit .....	147
9.1.5	Herrschaft des Feuers – Eigenwilliges Feuer .....	153
9.1.6	Herrschaft des Feuers – Eine heiße Türe .....	159
9.1.7	Virus - Lebensenergie .....	164
9.1.8	Titanic – „Iceberg right ahead!“ .....	169
9.1.9	Speed – Der fliegende Bus .....	175
9.1.10	Apollo 13 – Falscher Auffahrunfall .....	185
9.1.11	Twister – Ein Tornado zum Angreifen .....	191
9.1.12	Contact – Entdeckung außerirdischen Lebens .....	199
9.1.13	Schlimmer geht’s immer – Gefangen im Licht .....	207
9.2	Anhang B: Transskription der Interviews .....	214
9.2.1	Erstes Interview (I-1) .....	214
9.2.2	Zweites Interview (I-2) .....	225
9.2.3	Drittes Interview (I-3) .....	232
9.3	Anhang C: Anleitung zur Durchführung .....	240
<b>10</b>	<b>Literatur- und Text-Quellen .....</b>	<b>242</b>
<b>11</b>	<b>Bildquellen .....</b>	<b>246</b>

# 1 Einleitung

Man geht mit Freunden ins Kino. Man sieht sich einen Film im Fernsehen an. Nach so manchem Film gruselt einem in der darauf folgenden Nacht, aber längerfristige Auswirkungen bezogen auf das Wissen hat wohl kein Film. Es sei denn, zwei Zufälle spielen zusammen: Erstens, der Film heißt „Jurassic Parc“, und zweitens wurde bei zwei Eurobarometer-Umfragen in den Jahren 1992 und 2001 dieselbe Frage gestellt: „Die ersten Menschen lebten zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier.“. Als Antwortmöglichkeiten standen „Richtig“ – „Falsch“ – „Keine Angabe“ zur Auswahl. Bei der Auswertung der Eurobarometer-Umfrage 2001 fiel auf, dass sich die Anzahl der Befragten, die obige Frage richtig beantworteten, um rund 10% erhöht hatte. Hatten 1992 lediglich 49,9% die richtige Antwort gegeben, waren es im Jahre 2001 59,4% der Befragten<sup>2</sup>. Die Autoren des Berichts erlauben sich die Frage „Haben hier Nachrichten und Kinofilme ihre Hand im Spiel?“.

Man kann der Frage etwas nachgehen, in dem man sich fragt, woher die Europäer ihr Wissen beziehen. Aus der Schulzeit? Aus Fachzeitschriften? Aus anderen Printmedien oder aus dem Fernsehen? Hier kann eine Statistik des Eurobarometer 2002 Auskunft geben:

	Eher ja	Eher nein	Keine Angabe
Sieht lieber Fernsehsendungen über Wissenschaft und Technik, als Artikel zu diesem Thema zu lesen	66,4	23,8	9,9
Liest selten Artikel über Wissenschaft und Technik	60,6	33,5	6,0
Es gibt zu viele Artikel und Sendungen über Wissenschaft und Technik	18,0	65,8	16,1
Die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen werden oft zu negativ dargestellt	36,5	39,1	24,4
Die meisten Journalisten, die wissenschaftliche Themen behandeln, verfügen nicht über das notwendige Wissen bzw. die notwendige Ausbildung	53,3	20,0	26,7

Abbildung 1 – Haltungen gegenüber den verschiedenen Medien, die wissenschaftliche Informationen erteilen (in %, EU 15)

Wie man in Abbildung 1 erkennen kann, sehen zwei Drittel der Befragten lieber eine Fernsehsendung zu einem wissenschaftlichen Thema als einen Artikel darüber zu lesen. Ein Viertel tendiert zum Lesen von wissenschaftlichen Artikeln. Ähnlich verhält es sich mit der Einstellung „selten einen wissenschaftlichen Artikel lesen“: Für 60% stimmt diese Aussage, für ein Drittel ist sie nicht korrekt.

Aus dem Ergebnis dieser Studie geht hervor, dass das Fernsehen eine außerordentliche Rolle der Informationsvermittlung einnimmt. Es stellt sich daher die Frage, ob diese (primär wahrscheinlich nicht beabsichtigte) Vermittlerrolle nicht als Übertragungsmedium für wissenschaftliche Inhalte dienen kann.

<sup>2</sup> aus Ref. [1]

Dies geschieht bereits, man denke zum Beispiel an verschiedene Sendungen des Fernsehsenders „Bayern Alpha“<sup>3</sup>. Auf dem österreichischen Fernsehsender ORF 1 wird Samstagvormittag die Sendung „Forscherexpress“<sup>4</sup> mit dem bekannten Kinderbuch-Autor Thomas Brezina<sup>5</sup> und ausgestrahlt, die wissenschaftliche Inhalte mit vielen Experimenten zum Nachmachen für Kinder aufbereitet. Die sonntags ausgestrahlte Sendung „Newton“ stellt einen Versuch dar, Wissenschaft für alle zu präsentieren. Ähnliche Sendungen wie zum Beispiel „Galileo“ auf ProSieben<sup>6</sup> werden bereits seit längerer Zeit ausgestrahlt.

Sendungen wie „Universum“ geben bereits seit langer Zeit Einblicke in die wunderbarsten Welten unserer Erde.

„Alltagswissenschaft“ wird in Filmen jedoch meistens indirekt transportiert. So werden in vielen Filmen Szenen gezeigt, die jeder wissenschaftlichen Grundlage entbehren. Solche Szenen werden von wenig kritischen Personen unter Umständen für real gehalten. Diese Gefahr der falschen Wissensvermittlung stieg in den letzten Jahrzehnten proportional zur Entwicklung der Spezialeffekte. Denn unter Zuhilfenahme der Trickfilmtechnik (die ja ein Produkt der Wissenschaft selbst ist) kann die Darstellung der Wirklichkeit gezielt und immer „realitätsnäher“ modifiziert werden. Immer unmöglichere Szenen werden im Film zur Wirklichkeit. In diesem Zusammenhang wird noch gar nicht von Science-Fiction Filmen gesprochen. Allerdings wird bereits an dieser Stelle klar, dass die Unterscheidung Science-Fiction und Nicht-Science-Fiction keine klare Grenze (mehr) aufweist.

Um abschätzen zu können, welche Auswirkungen Kinofilme auf die heutige Gesellschaft in Österreich haben, wenden wir uns den Voraussetzungen zu.

Aufzeichnungen über die Anzahl der Kinosäle in Österreich findet man ab 1975 vor. Zu diesem Zeitpunkt gab es in ganz Österreich 575 Kinosäle.

---

<sup>3</sup> <http://www.br-alpha.de>

<sup>4</sup> <http://confetti.orf.at> → Forscherexpress

<sup>5</sup> <http://www.thomasbrezina.at>

<sup>6</sup> <http://galileo.prosieben.de>

Anzahl der Kinosäle in Österreich

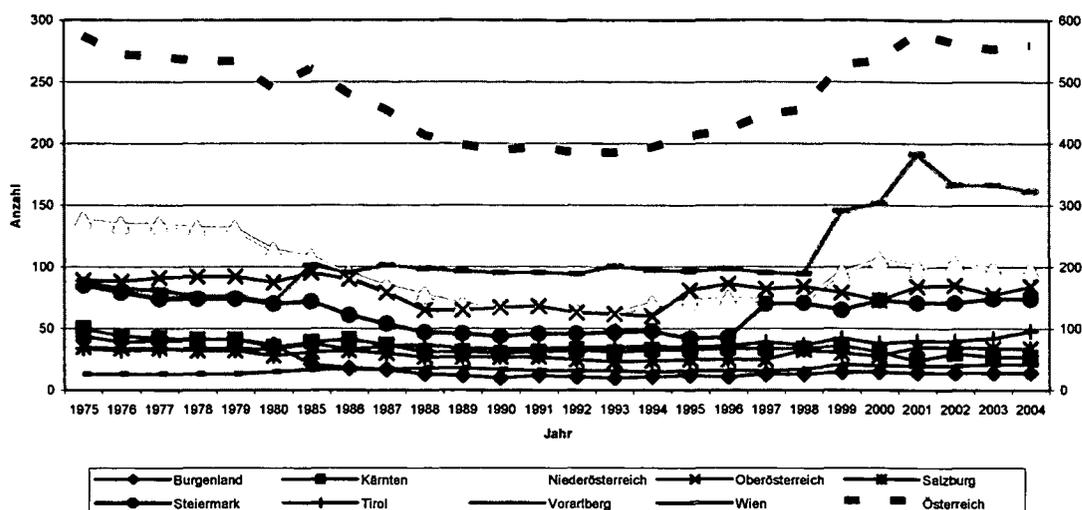


Abbildung 2 – Anzahl der Kinosäle in den einzelnen Bundesländern; Werte für Gesamt-Österreich auf der sekundären Achse (keine Daten für 1981 - 1984)

In Vorarlberg, Salzburg, Tirol und Kärnten blieb die Anzahl über den Zeitraum vorwiegend konstant. Im Burgenland gab es Mitte der 1980er Jahre einen Einbruch. Ewa zur selben Zeit wurden auch in der Steiermark, in Niederösterreich und Oberösterreich Säle aufgelassen. Nur in Wien steigerte sich die Anzahl. Besonders viele Kinosäle wurden in Niederösterreich aufgelassen.

Mitte bis Ende der 1990er Jahre, um die Jahrtausendwende herum, stieg die Anzahl in den Bundesländern Oberösterreich, Steiermark und Niederösterreich. Deutlich zulegen konnte nur Wien. Insgesamt stieg die Anzahl der Kinosäle 2004 damit wieder auf 560, am Tiefststand in den Jahren 1992 und 1993 waren es 386 Säle.

Anzahl Kinosäle

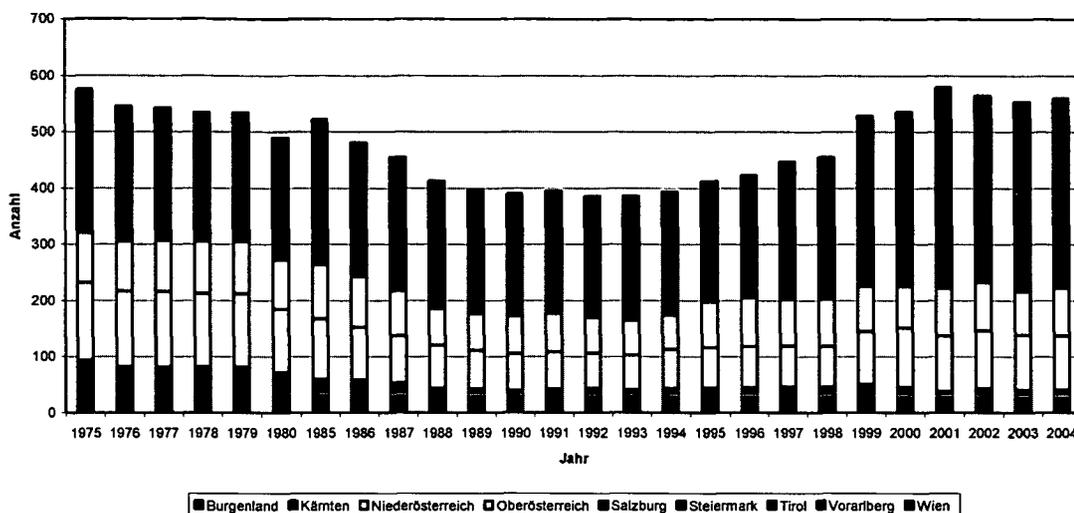


Abbildung 3 – Anzahl der Kinosäle: Gesamtverteilung auf die Bundesländer (keine Daten für 1981 - 1984)

Analog zur Anzahl der Kinofilme verläuft die Statistikkurve der Anzahl der Kinobesucher. Waren 1975 rund 20 Millionen Besucher im Kino, waren es am Tiefststand im Jahr 1992 nur rund 9,3 Millionen Besucher.

Anzahl der Kinobesucher

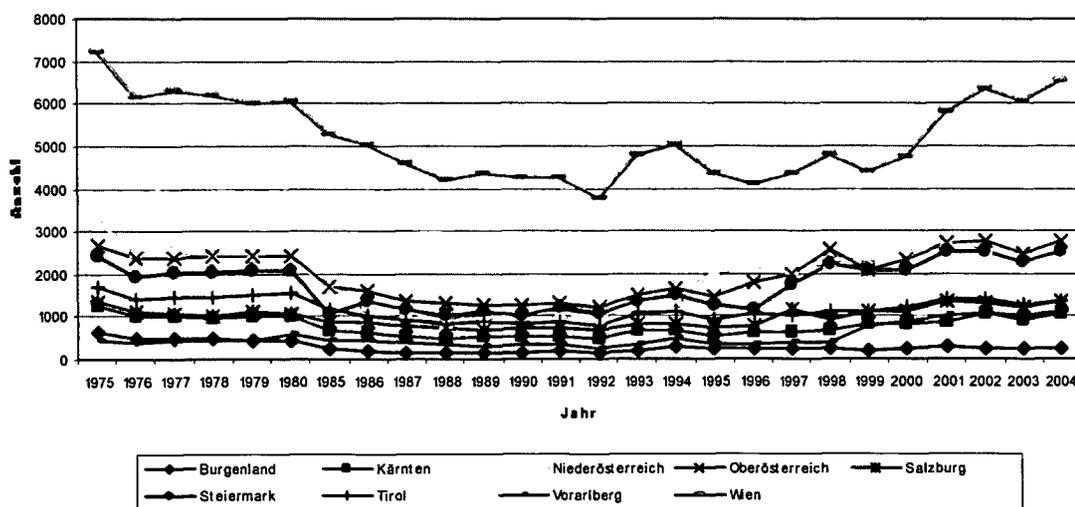


Abbildung 4 – Anzahl der Kinobesucher (keine Daten für 1981 – 1984)

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass in allen Bundesländern in der ersten Hälfte der 1980er Jahre die Kinozahlen stark zurückgingen. In Wien hielt sich der

Trend die ganzen 1980er Jahre. Erst Mitte der 1990er Jahre stiegen die Besucherzahlen wieder an. Als erstes Bundesland reagierte Oberösterreich 1995 auf den positiven Trend. Es folgen die Steiermark 1997, Wien und Niederösterreich 1999. Wien verdoppelte in den Jahren 1999 bis 2001 die Anzahl der Kinosäle beinahe. 2002 verschwanden jedoch wieder rund 30 Säle. Trotz allem ist Wien das Bundesland mit den meisten Sälen pro Einwohner. Während in Österreich im Jahre 2004 auf 1000 Einwohner 12,3 Sitzplätze kamen, waren es in Wien 19,4. Im Burgenland hingegen wurden für 1000 Einwohner nur 6,4 Plätze angeboten.

Anzahl der Kinobesucher (in 1000)

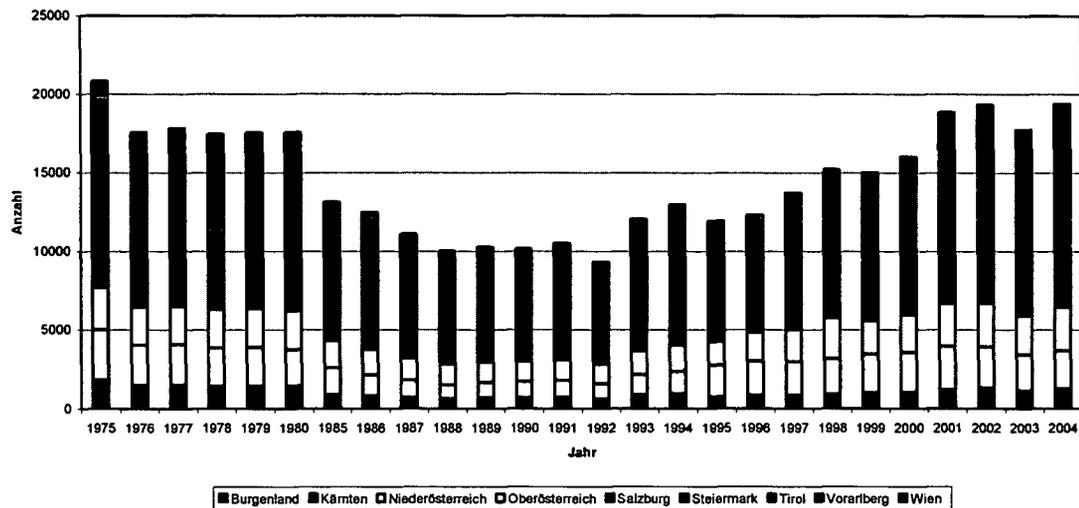


Abbildung 5 – Anzahl der Kinobesucher – Gesamtverteilung auf die Bundesländer (keine Daten für 1981 - 1984)

Mit der Einwohnerzahl in Österreich hat der Negativtrend von Mitte 1980er Jahre bis Mitte 1990er Jahre jedenfalls nichts (offensichtliches) zu tun, denn die Einwohnerzahlen blieben im großen und ganzen konstant bzw. stiegen leicht. Nur in Wien nahm die Einwohneranzahl in den 1970er Jahren deutlich ab.

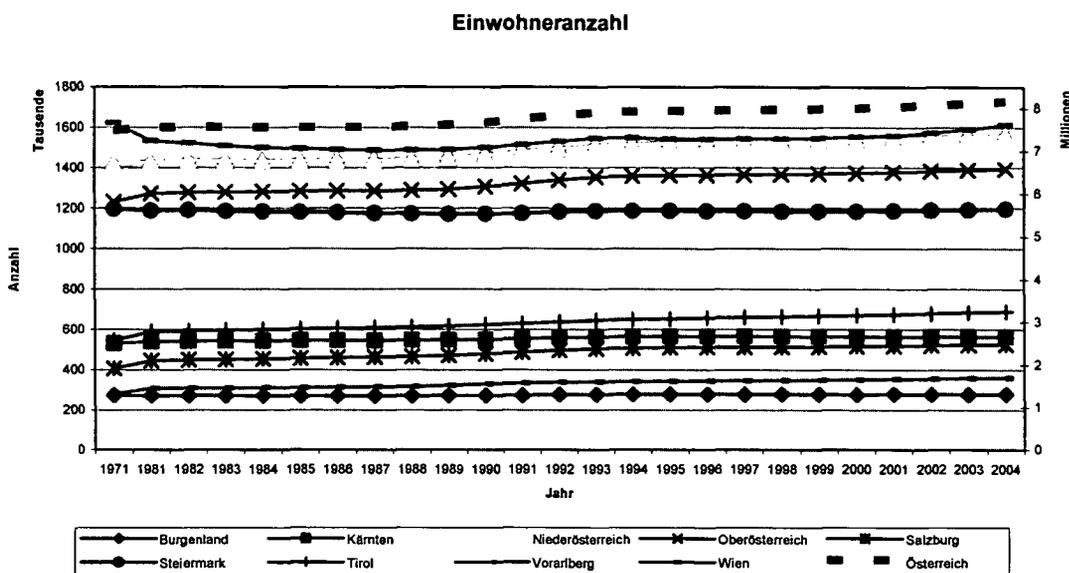


Abbildung 6 – Einwohneranzahl in Österreich nach Bundesländern

Für den Einbruch der Bevölkerungszahlen in Wien 1981 dürfte ein drastischer Geburtenrückgang der Grund sein. Die Geburtenbilanz betrug im Zeitraum 1971 – 1981 –117.300. Dem entgegen stand eine positive Wanderungsbilanz von +28.700. Summa summarum ging in diesem Zeitraum die Einwohnerzahl daher um 88.600 Einwohner zurück.

## 2 Science-Fiction versus Nicht-Science-Fiction

Science bedeutet übersetzt Wissenschaft bzw. Naturwissenschaft, Fiction bedeutet soviel wie Annahme, Erfindung, Fiktion. In einem Science-Fiction Film vereinen sich ergo Fiktion und Wissenschaft.

Fiktion basierend auf Wissenschaft?

Das ideale Mischungsverhältnis zwischen Literatur und Wissenschaft ist laut Hugo Gernsback<sup>7</sup> 75% Literatur und 25% Wissenschaft<sup>8</sup>. Hugo Gernsback gilt als der Begründer des modernen Genres „Science-Fiction“, indem er ab 1926 die Zeitschrift „Amazing Stories“ herausgab.

Science-Fiction wurde im Jahre 1926 unter dem Namen „scientifiction“ geboren. Hugo Gernsback schrieb in der ersten Ausgabe der Zeitschrift „Amazing Stories“ über seine Einstellung zur neuen literarischen Gattung: „Geschichten der Art, wie Jules Verne, H. G. Wells und Edgar Allan Poe sie schrieben – eine bezaubernde Erzählung vermischt mit wissenschaftlichen Tatsachen und prophetischer Vision“<sup>9</sup>.

In der ersten Ausgabe von Amazing Stories, die im April 1926 erschien, schrieben Jules Verne „Off on a Comet – or Hector Servadac (Part 1 of 2)“<sup>10</sup>, H. G. Wells „The New Accelerator“, G. Peyton Wertebaker „The Man from the Atom“, George Allan England „The Thing From-’Outside““, Austin Hall „The Man Who Saved the Earth“ sowie Edgar Allan Poe „The Facts in the Case of M. Valdemar“.

Der erste Verlag, der Titel des neuen Genres in sein Angebot aufnahm, war der Verlag Ballantine Books im Jahre 1952. In Deutschland veröffentlichte der Düsseldorfer Karl Rauch Verlag ebenfalls im Jahre 1952 erste, aus dem amerikanischen übersetzte Titel. Durchsetzen konnte sich das Genre jedoch erst ab Mitte der 1950er Jahre nach zahlreichen Heftveröffentlichungen wie Utopia, Terra, Galaxis und Perry Rhodan. Trotz des „Gründungsdatum“ der Science-Fiction im Jahre 1926 war der Einfluss älterer Werke stark spürbar: Die neueren Werke waren geprägt von Autoren wie Verne, Wells oder Edgar Rice Burroughs (Autor der Tarzan-Abenteuer). Es wird jedoch noch weiter zurückgegriffen. Johannes Keplers posthum veröffentlichte Traumreise zum Mond

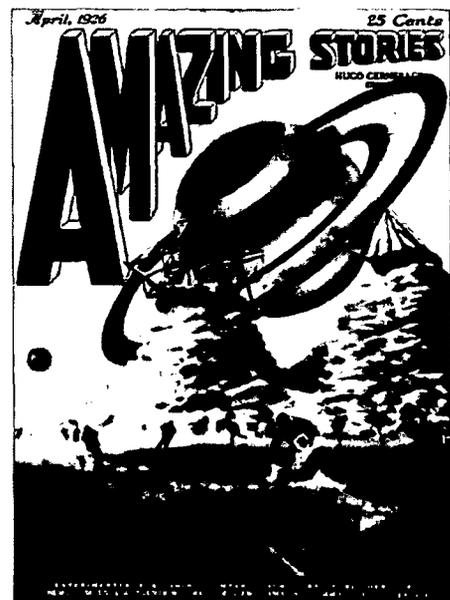


Abbildung 7 – Cover der ersten Ausgabe von „Amazing Stories“ [aa]

<sup>7</sup> Geboren am 16. August 1884 in Luxemburg, gestorben am 19. August 1967 in New York City

<sup>8</sup> aus Ref. [2], Seite 3

<sup>9</sup> aus Ref. [2], Seite 3

<sup>10</sup> Die Geschichte ist z.B. unter Ref. [29] (in englischer Fassung) nachzulesen.

(„Somnium“, 1634), Jonathan Swifts Gullivers Reisen („Gulliver’s Travels“, 1726)<sup>11</sup> oder Mary Shelleys „Frankenstein“ (1818) gelten als Vorläufer der Science-Fiction. Das Stichdatum 1926 scheint ein pragmatischer Mittelweg zwischen einer zu engen und zu weiten Definition von Science-Fiction zu sein.

Eine grobe Orientierung historischer Natur ist die Unterscheidung zwischen Hard Science-Fiction und Soft Science-Fiction. Unter die erste Kategorie „Hard Science-Fiction“ fallen Geschichten, die ein Interesse an wissenschaftlicher Genauigkeit zeigen. Vor allem die Naturwissenschaften Astronomie, Physik, Biologie und Mathematik sowie technische Fortschritte wie Gentechnologie sind wichtiger Bestandteil der Handlung. Die Entwicklung des/der Protagonisten tritt dabei manchmal in den Hintergrund.

„Soft Science-Fiction“ hingegen befasst sich mehr mit gesellschaftlichen und politischen Themen, aber auch mit Philosophie und Psychologie.

Es ist gar nicht so einfach, Science-Fiction genau einzugrenzen – denn schon morgen kann das Wirklichkeit sein, was heute als Science-Fiction gilt. Man denke zum Beispiel an Planeten außerhalb unseres Sonnensystems. Es ist noch nicht lange her, dass der erste Exoplanet entdeckt wurde. Es waren dies zwei Planeten mit dem 4,3 bzw. 3,9fachen der Erdmasse, die den Pulsar PSR B125712 mit einer Umlaufzeit von 66,5 bzw. 98,2 Tagen umkreisen. Anfang November 2006 waren bereits 209 Exoplaneten entdeckt, und die (erfolgreiche) Suche geht (mit Sicherheit schnell) weiter. Je feiner und genauer die Messoptik wird, desto kleinere Planeten können aufgespürt werden. Mit der Wahrscheinlichkeit für Leben auf extrasolaren Planeten beschäftigt sich die Analyse des Films „Evolution“.

Science-Fiction stellt sich demnach abhängig von der Zeit dar. Stellvertretend dafür sollen zwei Werke von Jules Vernes genannt werden:

- Ende des 19. Jahrhunderts war der Inhalt des Romans „20.000 Meilen unter dem Meer“ Science-Fiction. Mittlerweile wissen wir, dass der Marianengraben im Pazifik mit 11.034 m die tiefste Stelle der Weltmeere ist. 20.000 Meilen wären umgerechnet rund 32.000 km.
- Aus dem Nachlass von Jules Verne wurde 1994 der Roman „Paris im 20. Jahrhundert“ veröffentlicht. Die Geschichte beschreibt den jungen Michel, der in einer trostlosen Welt aus gläsernen Wolkenkratzern, Schnellzügen, Taschenrechnern und weltweiter Kommunikation lebt. Michel ist Träger eines Literaturpreises, doch Musik, Kunst und Literatur sind in dieser Welt verpönt. Hier zählt einzig die Wissenschaft.

Bevor man Szenen aus populären Filmen (Clips) untersuchen will und kann, muss man unterscheiden, ob der Inhalt der Szene der Wissenschaft oder der Pseudowissenschaft zuzuordnen ist.

Diese Zuordnung ist zugleich die erste Hürde, auf die man im Verlauf der Analyse trifft. Wo ist die Grenze zwischen Wissenschaft und Science-Fiction? Die Trennung ist umso schwieriger, da sich ein Großteil der Science-Fiction Filme sehr viel Naturwissenschaft bedient.

Nennen wir zur Verdeutlichung der Problematik einige Beispiele aus Videoclips, die wir im Verlauf der Arbeit analysieren.

<sup>11</sup> Download zum Beispiel unter Ref. [30]

- George Clooney lässt sich im Film „Ocean’s Eleven“ an einem dünnen Stahlseil befestigt einen Fahrstuhlschacht hinunterfallen. Kurz vor dem Aufprall wird er in Sekundenbruchteilen abgebremst, weil das Seil etwas zu kurz ist. Diesen „Sachverhalt“ wird man nicht als Science-Fiction einstufen. Es muss nichts mehr erfunden werden, um eine bestimmte Höhe hinunter zu fallen – jeder kann das.

- „Apollo 13“ ist weit über seine Zeit hinaus bekannt als „erfolgreicher Fehlschlag“. Auf dem Flug zur Mondlandung explodiert ein Sauerstofftank, sodass die Mission abgebrochen werden muss. Mit Müh und Not werden die Astronauten gesund zur Erde zurückgebracht. Auch diese Szene wird man auf keinen Fall der Pseudowissenschaft zuordnen. Es gibt Raketen, es wurden dutzende bemannte Raumflüge unternommen.



Abbildung 8 – Screenshot aus „Apollo 13“: Absprengung der ersten Stufe

- Im Film „Twister“ jagen Tornadojäger eben diesen Naturphänomenen nach. Dabei begeben sie sich in große Gefahr. Tornadojäger gibt es tatsächlich, aber ob sich die Arbeit immer so kritisch gestaltet, sei in Frage gestellt.

Jedem Kinobesucher werden wohl Szenen wie diese in Erinnerung sein. Auch wenn viele Situationen realitätsfern bzw. –fremd erscheinen, so wird man jedoch auch diese Art von Clips der Wissenschaft zuordnen. Im Unterschied zu den Beispielen gibt es ebenso klare Filmclips, die der Pseudowissenschaft zuzuordnen sind.

- In „Evolution“ trifft ein Meteorit die Erde. In ihm verstecken sich Bakterien fremden Lebens, die sich befreien können und in der Einschlagshöhle eine künstliche Atmosphäre bilden. So können sie sich rasend schnell entwickeln und stellen binnen kürzester Zeit eine Bedrohung für die Menschen dar.



Abbildung 9 – Screenshot aus „Evolution“: Der Meteorit in seiner Einschlagshöhle

Diesen Film wird man vermutlich in die Kategorie Science-Fiction verschieben. Leben aus einem Meteoriteneinschlag wurde bis dato noch nie gefunden<sup>12</sup>. Aber wie unwahrscheinlich ist es wirklich, dass außerirdisches Leben existiert?

- „Virus“ erzählt die Geschichte einer Schiffsbesatzung, die im Auge eines Orkans auf ein verlassenes Forschungsschiff Russlands stoßen. Die einzige Überlebende erzählt, eine rätselhafte Energie sei über die Raumstation MIR auf das Schiff gekommen und habe fast die gesamte Mannschaft vernichtet. Diese auf Energie basierende Lebensform baue Maschinen halb Mensch, halb Roboter und möchte so das „Virus Mensch“ ausrotten. Science-Fiction.

- Science-Fiction ist es auch, wenn Drachen die Weltherrschaft übernehmen, wie es im Film „Herrschaft des Feuers“ zu sehen ist. Es beginnt schon bei der Existenz von Drachen, die im Allgemeinen als Mischwesen aus Löwe, Schlange und Krokodil o. ä. dargestellt werden. Dass diese auch noch gegen menschliche Wesen vorgehen, scheint sehr weit hergeholt. Auf der anderen Seite – wer weiß, was „Wissenschaftlern“ mithilfe der Gentechnologie noch alles einfällt und auskommt...

Mit diesen kleinen Einblicken wenden wir uns zuerst einigen naturwissenschaftlichen Grundlagen zu, auf die wir in den beiden Kapiteln der Analyse laufend zurückgreifen werden.

---

<sup>12</sup> Gemeint ist dabei lebendiges Leben. Spuren fossiler Bakterien und ähnlicher Lebewesen wurden zum Beispiel im Meteoriten „ALH94001“ nachgewiesen. Dieser 1,94 kg Meteorit wurde in der Antarktis gefunden, und 1993 als Marsmeteorit identifiziert. In diesem Meteoriten fanden David S. McKay und seine Mitarbeiter im Jahr 1996 Strukturen.

### 3 Grundlagen für die Analyse

---

#### 3.1 Der freie Fall

Es ist bekannt, dass auf der Erde jeder massebehaftete Körper zu Boden fällt. Genauer gesagt fällt auf der Erde alles in Richtung des Erdmittelpunktes. Der Erdmittelpunkt wird als Zentrum jener Gravitationskraft gesehen, die die Erde auf alle Körper ausübt.

Die Gravitation zwischen zwei Körpern, das heißt die Kraft, mit der zwei Körper gegenseitig angezogen werden, wird durch das Newtonsche Gravitationsgesetz beschrieben:

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.1)$$

$G$ .....Gravitationskonstante,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

$m_1$ .....Masse des 1. Körpers (kg)

$m_2$ .....Masse des 2. Körpers (kg)

$r$ .....Abstand zwischen den beiden Körpern (m)

Betrachtet man den „Spezialfall Erde“, so kann man  $m_1$  durch den Wert für die Masse der Erde und  $r$  durch den Erdradius ersetzen. Diese Größe zusammen mit der Gravitationskonstante ergibt die Fallbeschleunigung  $g$ . Sie besitzt einen Wert von ca.  $g = 9,81 m/s^2$ . Die Kraft  $F$ , mit der jeder Körper (nahe der Erdoberfläche) von der Erde angezogen wird, lässt sich daher kürzer schreiben als

$$F = m \cdot g \quad (3.2)$$

wobei  $m$  die Masse des Körpers ist, der von der Erde angezogen wird.

Beim freien Fall geht man davon aus, dass ein Körper der Masse  $m$  aus einer bestimmten Höhe  $h$  senkrecht nach unten fällt. Dabei vernachlässigt man in erster Näherung den Luftwiderstand, der beim Fall auftritt. Die Beschleunigung  $a$ , die auf den Körper wirkt, ist gleich der Fallbeschleunigung  $g$ :

$$a = g \quad (3.3)$$

Mit diesem Wissen kann man sich die Geschwindigkeit errechnen, die ein frei fallender Körper nach einer bestimmten Fallzeit erreicht hat:

$$v(t) = \int_0^t a dt \tag{3.4}$$

$$v(t) = at + v_0 = gt + v_0$$

- $t$ ..... Fallzeit (s)
- $v(t)$ ..... Geschwindigkeit nach der Fallzeit  $t$  (m/s)
- $v_0$ ..... Anfangsgeschwindigkeit (m/s)

Die Fallstrecke  $s$ , die ein Körper während der Fallzeit  $t$  zurücklegt, lässt sich aus dem Integral der Geschwindigkeit  $v(t)$  über die Zeit  $t$  errechnen:

$$s(t) = \int_0^t v(t) dt \tag{3.5}$$

$$s(t) = \int_0^t gt + v_0 = \frac{g}{2}t^2 + v_0t + s_0$$

- $s(t)$ ..... zurückgelegte Fallstrecke (m)
- $s_0$ ..... zurückgelegte Strecke zum Zeitpunkt 0 (m)

Aus dem allgemeinen Zusammenhang

$$s = \int v dt = \iint a dt \tag{3.6}$$

lassen sich für den freien Fall somit zwei einfache Beziehungen für die Geschwindigkeit und die Fallstrecke angeben.

Die Beziehung (3.6) lässt sich umgekehrt auch über die Differentiale nach der Zeit anschreiben:

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = a \tag{3.7}$$

### 3.2 Kräfte bei Bewegungen

Bei Bewegungen aller Art treten verschiedene Kräfte auf. Man denke an Reibungskraft, Luftwiderstand, Zentripetal- und Zentrifugalkraft, Hangabtriebskraft u. ä. Viele dieser Kräfte lassen sich mathematisch nur schwer erfassen. Beim freien Fall vernachlässigt man zum Beispiel nur zu gern den Luftwiderstand, weil die Größe des Luftwiderstands u. a. von der Geometrie des Körpers abhängig ist, und diese bei etwas komplexeren Formen analytisch im Allgemeinen nicht in eine Formel zu fassen ist. Darüber hinaus hängt der Luftwiderstand auch von der Geschwindigkeit des Körpers ab – je schneller sich ein

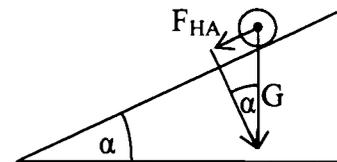


Abbildung 10 – Skizze einer schiefen Fläche

Körper bewegt, desto größer ist der Luftwiderstand.

Ähnlich verhält es sich bei der Reibung. Abhängig von den Faktoren Geschwindigkeit und Reibungskonstante vernachlässigt man diese im Allgemeinen in der Rechnung. Analog zur Geometrie des Körpers beim Luftwiderstand ist hier die Reibungskonstante für jedes Material verschieden.

Die Hangabtriebskraft  $F_{HA}$  wirkt auf jeden Körper, der sich auf einer schiefen Ebene befindet. Ist die Ebene unter dem Winkel  $\alpha$  geneigt, so kann man sich die Hangabtriebskraft wie folgt errechnen:

$$F_{HA} = G \cdot \tan \alpha \quad (3.8)$$

$G$ ..... Gewicht des Körpers (kg,  $G = mg$ )

Eng verbunden mit dem Kraftbegriff ist der Impuls (siehe Kapitel 3.4).

### 3.3 Gleichmäßige Kreisbewegung

Sowohl die Zentripetal- als auch Zentrifugalkraft bei Kreisbewegungen lassen sich analytisch erfassen. Betrachten wir den Fall einer gleichmäßigen Kreisbewegung: Ein Körper bewegt sich genau dann auf einer Kreisbahn, wenn in jedem Punkt eine Zentripetalkraft in Richtung des Kreismittelpunktes wirkt. Diese Kraft wächst mit der Masse des Körpers, mit dem Quadrat der Tangentialgeschwindigkeit, und nimmt mit wachsender Entfernung vom Mittelpunkt ab:

$$F_z = m \frac{v^2}{r} \quad (3.9)$$

$F_z$ .....Zentripetalkraft (N)  
 $m$ .....Masse des Körpers (kg)  
 $v$ .....Tangentialgeschwindigkeit (m/s)  
 $r$ .....Abstand zum Kreismittelpunkt (m)

Bei der gleichförmigen Drehung ist der überstrichene Drehwinkel  $\Delta\varphi$  direkt proportional zur benötigten Zeitdauer  $\Delta t$ :

$$\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t \quad (3.10)$$

Daraus ergibt sich für die Proportionalitätskonstante die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  zu

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (3.11)$$

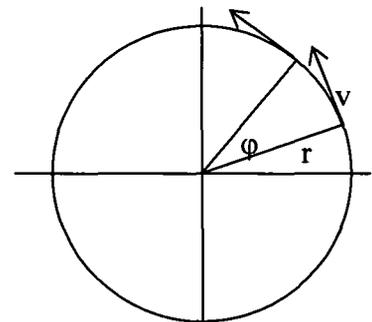


Abbildung 11 – Skizze der Kreisbewegung

Zur Bahngeschwindigkeit eines rotierenden Körpers gelangt man, indem man ein kleines Stück des Kreisbogens als Wegstrecke betrachtet. Nimmt man den Radius des Kreises als konstant an, erhält man  $v$  aus

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r \cdot \Delta \varphi}{\Delta t}. \quad (3.12)$$

Der Betrag der Tangentialgeschwindigkeit  $v$  ist das Produkt aus Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  und Radius  $r$ :

$$v = \omega \cdot r \quad (3.13)$$

Von der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  gelangt man zur Umlauffrequenz  $f$  durch den Zusammenhang:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.14)$$

Die Zeit, die für einen Umlauf benötigt wird, wird Periodendauer  $T$  genannt und errechnet sich aus dem Kehrwert der Frequenz:

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.15)$$

Für eine Kreisbewegung ist wichtig, dass zu jeder Zeit und in jedem Punkt eine Kraft in Richtung des Zentrums der Kreisbewegung wirken muss. Man spricht von der Zentripetalkraft. Wirkt diese Kraft nicht mehr, bewegt sich der Körper ab diesem Punkt geradlinig entlang der Tangente des Kreises weiter.

Diese Sachverhalte werden bei der Analyse der Szene aus dem Film „Speed“ von Bedeutung sein, wo ein Bus über ein fehlendes Teilstück einer Autobahnbrücke fliegt – und das noch dazu in einer Rechtskurve...

### 3.4 Impuls

Eine sehr wichtige Größe in allen Gebieten der Physik ist der Impuls. Der (nicht-relativistische) Impuls  $p$  ist das Produkt aus Geschwindigkeit  $v$  und Masse  $m$ :

$$p = m \cdot v \quad (3.16)$$

Jedem Körper mit der Masse  $m$ , der sich fortbewegt, wird somit ein bestimmter Impuls zugeschrieben. Interessant zu betrachten ist die Änderung des Impulses mit der Zeit. Eine solche Änderung kann sowohl durch eine Änderung der Masse als

auch durch die Änderung der Geschwindigkeit erfolgen. Mathematisch bedeutet „Änderung des Impulses mit der Zeit“ das Differential

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = \frac{dm}{dt} v + m \frac{dv}{dt} \quad (3.17)$$

Aus Gleichung (3.7) folgt

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dm}{dt} v + ma. \quad (3.18)$$

$a$ ..... Beschleunigung (m/s<sup>2</sup>)

Die Änderung des Impulses besteht aus zwei Summanden: Der zweite Summand ist uns bekannt als eines der drei Newtonschen Gesetze

$$F = m \cdot a. \quad (3.19)$$

$F$ ..... Kraft (N)

Der erste Summand in Gleichung (3.18) beschreibt die Kraft infolge einer Massenänderung. Fällt ein Körper, z.B. ein Stein, aber auch ein Mensch, im freien Fall, verändert sich seine Masse nicht. Der erste Summand vereinfacht sich daher zu 0. Beim Start einer Rakete jedoch ändert sich die Masse in kurzer Zeit relativ schnell aufgrund des immensen Treibstoffausstoßes. Die Gleichungen (3.17) bzw. (3.18) sind daher auch unter dem Namen „Raketengleichung“ bekannt.

In einer Summe müssen alle Summanden dieselbe Einheit besitzen, folglich ist auch der erste Summand eine Kraft. Insbesondere folgt daraus jedoch, dass die linke Seite der Gleichung – also die Änderung des Impulses mit der Zeit – eine Kraft ist.

Für den kontinuierlichen<sup>13</sup> Fall folgt daher

$$F = \frac{dp}{dt}. \quad (3.20)$$

Geht man vom kontinuierlichen Fall weg und betrachtet diskrete Zeitschritte, lässt sich Gleichung (3.17) etwas umschreiben:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} v + m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3.21)$$

Klammert man den bereits besprochenen Fall der Massenänderung aus, erhält man aus Gleichung (3.21)

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}. \quad (3.22)$$

---

<sup>13</sup> Kontinuierlich in Bezug auf die Zeit  $t$

Mithilfe dieser Gleichung lässt sich bei bekannter Masse  $m$  die Kraft errechnen, die ein Körper ausübt, wenn er in der Zeitspanne  $t_2 - t_1$  um die Geschwindigkeit  $v_2 - v_1$  gebremst wird<sup>14</sup>. Man erhält die Kraft, die auf den Körper wirkt, über

$$F = m \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (3.23)$$

Diese Beziehung wird beispielsweise bei der Analyse der Szene aus „Ocean’s Eleven“ von Bedeutung sein.

### 3.5 Der schiefe Wurf

Von einem „schiefen Wurf“ spricht man in der Physik immer dann, wenn ein Körper mit einer bestimmten Geschwindigkeit in einem gewissen Winkel weggeworfen wird. Die Anfangsgeschwindigkeit wird mit  $v_0$ , der Abschusswinkel mit  $\alpha$  bezeichnet.

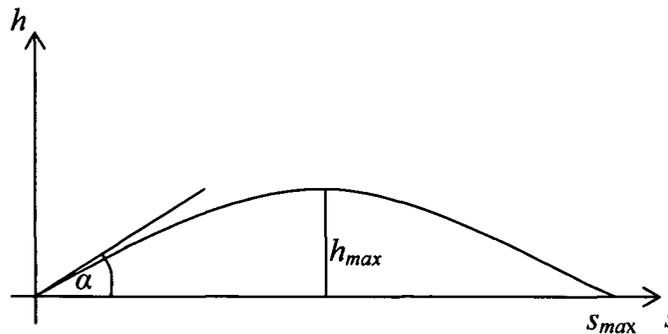


Abbildung 12 – Skizze eines schiefen Wurfes (Wurfparabel)

Zeichnet man sich zur besseren Übersicht das „Startdreieck“ groß heraus, so erhält man Gleichungen für  $s$  und  $h$ :

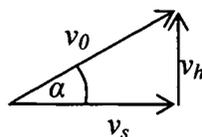


Abbildung 13 – Skizze der Vergrößerung des Abschuss-Dreiecks

<sup>14</sup> Ebenso lässt sich mit dieser Formel die Kraft  $F$  angeben, die benötigt wird, um einen Körper mit der Masse  $m$  in der Zeitspanne  $t_2 - t_1$  von Geschwindigkeit  $v_1$  auf Geschwindigkeit  $v_2$  zu beschleunigen.

In  $s$ -Richtung wirkt nur der Anfangsimpuls (bei vernachlässigtem Luftwiderstand), in  $h$ -Richtung wirkt entgegen dem Anfangsimpuls zu jedem Zeitpunkt die Erdbeschleunigung  $g$ . Man erhält somit:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{v_h}{v_0} \Rightarrow v_h = v_0 \sin \alpha \Rightarrow v_h = v_0 \sin \alpha - gt \\ \cos \alpha &= \frac{v_s}{v_0} \Rightarrow v_s = v_0 \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.24)$$

Die Höhe  $h$  und den zurückgelegten Weg  $s$  erhält man durch Integration über die Zeit  $t$ :

$$\begin{aligned} h(t) &= \int v_h dt = \int (v_0 \sin \alpha - gt) dt = \frac{-g}{2} t^2 + v_0 t \sin \alpha + h_0 \\ s(t) &= \int v_s dt = \int v_0 \cos \alpha dt = v_0 t \cos \alpha + s_0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

$h_0$  und  $s_0$  sind dabei die Werte der Anfangsbedingungen der Höhe und der Wurfweite. Mit den obigen beiden Gleichungen aus (3.25) besitzt man zwei nach der Zeit parametrisierte Formeln für die Wurfhöhe und die Wurfweite. Durch

$$\begin{aligned} s(t) &= s = v_0 t \cos \alpha + s_0 \\ \Rightarrow t &= \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha} \end{aligned} \quad (3.26)$$

lässt sich der (Zeit-)Parameter  $t$  eliminieren, sodass sich die Wurfhöhe  $h$  in Abhängigkeit der Wurfweite  $s$  ergibt:

$$\begin{aligned} h(s) &= \frac{-g}{2} \left( \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha} \sin \alpha + h_0 \\ h(s) &= \frac{-g}{2} \frac{(s - s_0)^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + (s - s_0) \tan \alpha + h_0 \end{aligned} \quad (3.27)$$

*Maximale Wurfweite:* Durch Null-Setzen der obigen Gleichung lässt sich die Wurfweite bei gegebenen Anfangsbedingungen  $v_0$ ,  $s_0$ ,  $h_0$  und  $\alpha$  errechnen:

$$\begin{aligned}
 h(s) = 0 &= \frac{-g}{2} \frac{(s-s_0)^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + (s-s_0) \tan \alpha + h_0 \\
 0 &= -g(s-s_0)^2 + (s-s_0) 2v_0^2 \tan \alpha \cos^2 \alpha + 2h_0 v_0^2 \cos^2 \alpha \quad (3.28) \\
 0 &= \underbrace{-g}_{a} (s-s_0)^2 + \underbrace{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}_{b} (s-s_0) + \underbrace{2h_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}_{c}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (s-s_0)_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 (s-s_0)_1 &= \frac{-2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + \sqrt{4v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 8gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{-2g} \quad (3.29) \\
 (s-s_0)_2 &= \frac{-2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha - \sqrt{4v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 8gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{-2g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_1 &= s_0 + \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha - \sqrt{v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{g} \\
 s_2 &= s_0 + \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + \sqrt{v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{g} \quad (3.30)
 \end{aligned}$$

Für den häufig auftretenden Spezialfall  $s_0 = h_0 = 0$  vereinfachen sich die beiden Beziehungen für  $s_1$  und  $s_2$  zu

$$\begin{aligned}
 s_1 &= 0 \\
 s_2 &= \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \quad (3.31)
 \end{aligned}$$

*Maximale Wurfhöhe:* Demzufolge lohnt es sich, bei der Berechnung eines schiefen Wurfes den Koordinatenursprung dergestalt zu legen, sodass  $s_0$  und  $h_0$  beide Null zu setzen sind.

Für diesen Fall vereinfacht sich auch die erste Gleichung aus (3.28) zu

$$h(s) = \frac{-g}{2} \frac{s^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + s \tan \alpha \quad (3.32)$$

Aus dieser Gleichung lässt sich die maximale Wurfhöhe als eine einfache Extremwertaufgabe ermitteln.

$$\begin{aligned}
 h(s) &\rightarrow \min. \\
 \frac{dh(s)}{ds} &= 0 \\
 \frac{-gs}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha &= 0 \\
 g \cdot s &= v_0^2 \cos^2 \alpha \tan \alpha \\
 g \cdot s &= v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha \\
 s = s_{\max H} &= \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}
 \end{aligned}
 \tag{3.33}$$

Wie zu sehen ist, beträgt die Weite der maximalen Wurfhöhe genau die Hälfte der maximalen Wurfweite aus (3.31). Dies ist ein vernünftiges Ergebnis ob der Symmetrie einer Parabel.

Die maximale Wurfhöhe erhält man nach Einsetzen von  $s_{\max H}$  in  $h(s)$ :

$$\begin{aligned}
 h(s_{\max H}) &= \frac{-g}{2} \left( \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \right)^2 \frac{1}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \tan \alpha \\
 h(s_{\max H}) &= \frac{-v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \\
 h(s_{\max H}) &= \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}
 \end{aligned}
 \tag{3.34}$$

Die (Tangential-)Geschwindigkeit eines Körpers, der sich auf der Bahn eines schiefen Wurfes befindet, lässt sich zu jedem Zeitpunkt als Resultierende der Geschwindigkeitskomponenten  $v_h$  und  $v_s$  angeben:

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{v_h^2 + v_s^2} \\
 v &= \sqrt{(v_0 \sin \alpha - gt)^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha} \\
 v &= \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gtv_0 \sin \alpha + g^2 t^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha} \\
 v &= \sqrt{v_0^2 - 2gtv_0 \sin \alpha + g^2 t^2} \\
 v(t) &= \sqrt{(\vec{v}_0 - \vec{g}t)^2}
 \end{aligned}
 \tag{3.35}$$

Den letzten Ausdruck in Gleichung (3.35) vereinfachen wir nicht mehr, da das Quadrat auf einen Vektor anzuwenden ist. Wie die folgende Simulation zeigt, wird durch  $v(t)$  die resultierende Geschwindigkeit eines Körpers, der sich auf der Bahn eines schiefen Wurfes befindet, richtig wiedergegeben:

Anfangsbedingungen:  $\vec{v}_0 = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \end{pmatrix} (\equiv 45^\circ)$ ,  $\vec{g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 9,81 \end{pmatrix}$  (Die Tatsache, dass  $g$  in die entgegengesetzte Richtung wirkt, ist bereits in der Formel berücksichtigt!)

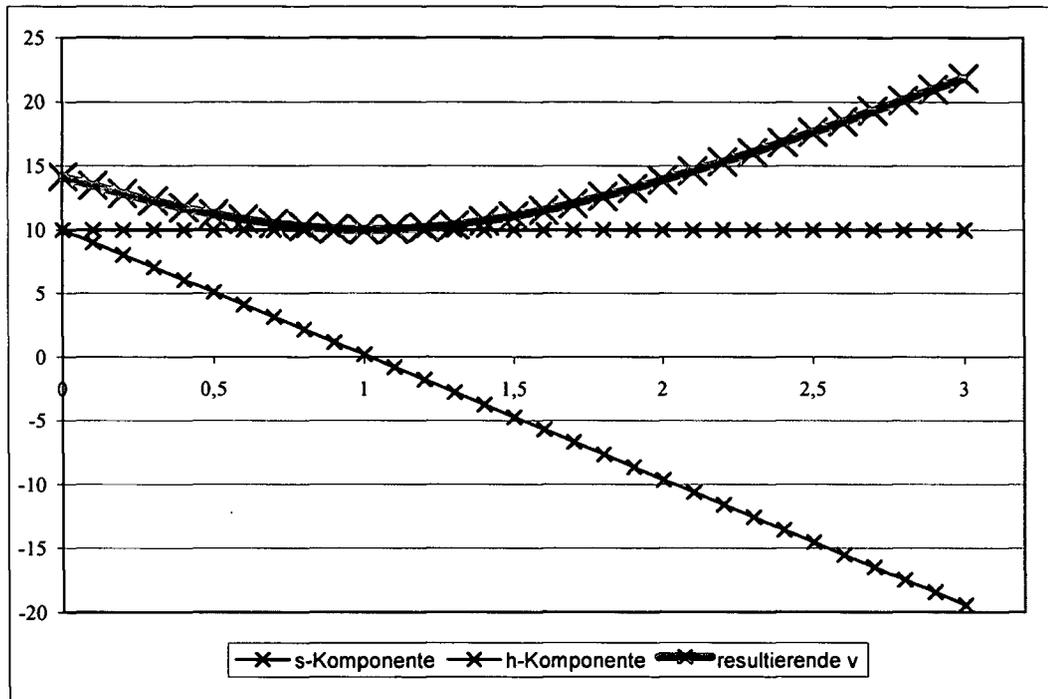


Abbildung 14 – Diagramm der Geschwindigkeiten der einzelnen Komponenten sowie die daraus resultierende Geschwindigkeit

Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Geschwindigkeit der  $s$ -Komponente immer gleich dem Wert bleibt, der in der Anfangsbedingung gegeben ist. Dies ist verständlich ob der Vernachlässigung von Effekten wie Luftwiderstand, Gegenwind u.ä. Die  $h$ -Komponente hingegen ändert sich aufgrund der in jedem Punkt wirkenden Gravitationskraft fortwährend. Ausgehend vom Anfangswert sinkt die Geschwindigkeit, bis sie den Wert Null erreicht. Dies geschieht im höchsten Punkt der Wurfparabel, wo sich die Richtung der Geschwindigkeit in  $h$ -Richtung umkehrt. Daraufhin wächst die Geschwindigkeitskomponente wieder, jedoch in die entgegengesetzte Richtung. Diese Tatsache ist aus dem Diagramm durch die negativen Werte sichtbar.

Die resultierende Geschwindigkeit setzt sich aus dem Quadrat der Geschwindigkeitskomponenten zusammen, sodass die resultierende Geschwindigkeit eines Körpers, der sich auf der Bahn eines schiefen Wurfes befindet nach dem „Null-Punkt“ fortwährend zunimmt.

Interessant zu beobachten ist der Einfluss eines eventuell auftretenden Gegenwindes mit der Geschwindigkeit  $v_{GW}$  beim schiefen Wurf. Zur Simulation eignet sich hierzu die Parameterdarstellung, bei der  $s$ -Komponente die zusätzliche Reibungskraft

(Luftwiderstand, Gegenwind) berücksichtigt werden muss. Nimmt man die Formel für die „Newton-Reibung“ als Grundlage, die eine Näherung des Luftwiderstands für große Geschwindigkeiten und eine kleine Dichte des durchflogenen Mediums darstellt, erhält man:

$$F_R = \frac{c_W}{2} A \rho_m v^2 = m \cdot a$$

$$\Rightarrow a = a_{LW} = \frac{A c_W \rho_m}{2m} v^2$$
(3.36)

- $A$ ..... Querschnittsfläche des Körpers ( $m^2$ )
- $c_W$ ..... Strömungswiderstandskoeffizient, Luftwiderstandsbeiwert
- $\rho_M$ ..... Dichte des Mediums ( $kg/m^3$ )
- $v$ ..... Geschwindigkeit des Gegenwinds ( $m/s$ , const.)
- $m$ ..... Masse des Körpers ( $kg$ )
- $a_{LW}$ ..... Beschleunigung nach dem Newtonschen Gesetz ( $m/s^2$ )

Geht man von einem rein horizontalen Gegenwind aus, fließt dieser nur in die  $s$ -Komponente ein:

$$a_s = -a_{LW}$$

$$\Rightarrow v_s = \int -a_{LW} dt = v_0 \cos \alpha - a_{LW} t$$

$$\Rightarrow s(t) = \int v_s dt = v_0 t \cos \alpha - \frac{a_{LW}}{2} t^2$$
(3.37)

Bei der ersten Integration in (3.37) ist die Integrationskonstante  $v_0 \cos \alpha$  (siehe Abbildung 13), bei der zweiten Integration setzen wir die Integrationskonstante  $s_0 = 0$ . Setzen wir den Wert für  $a_{LW}$  noch in die Formel ein, erhalten wir schließlich

$$s(t) = v_0 t \cos \alpha - \frac{A c_W \rho_m}{4m} v^2 t^2 .$$
(3.38)

- $v$ ..... Geschwindigkeit des Gegenwindes ( $m/s$ )

Der Einfluss des Gegenwindes auf den schiefen Wurf ist direkt proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit, sowie zum Quadrat der Wurfzeit.

Folgende Simulationen zeigen das  $s$ - $h$ -Diagramm für verschiedene Startwinkel und Gegenwind-Geschwindigkeiten bei einer Anfangsgeschwindigkeit von  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ .

Der Körper wird dabei so gewählt, dass der Faktor  $\frac{A c_W \rho_m}{4m} = 1$  ist.

Abschusswinkel:  $45^\circ$

Gegenwind: 1,5 m/s (blau), 2,0 m/s (rosa), 2,5 m/s (braun), 3 m/s (grün)

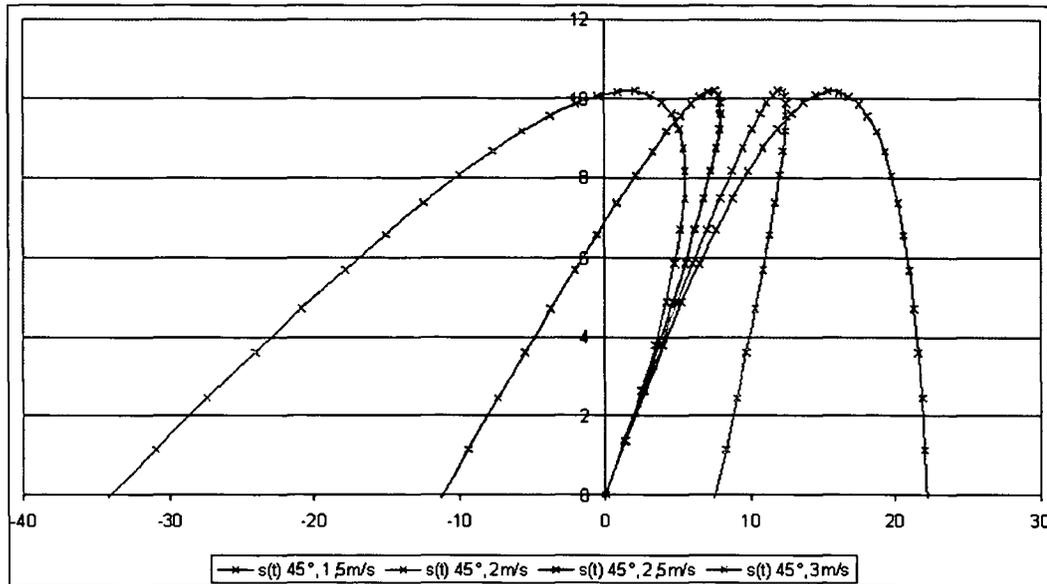


Abbildung 15 –  $s$ - $h$ -Diagramm von Flugparabeln (Abschusswinkel  $45^\circ$ ) unter verschiedenen Gegenwind-Bedingungen

Abschusswinkel:  $20^\circ$

Gegenwind: 2 m/s (blau), 3 m/s (rosa), 4 m/s (braun), 5 m/s (grün)

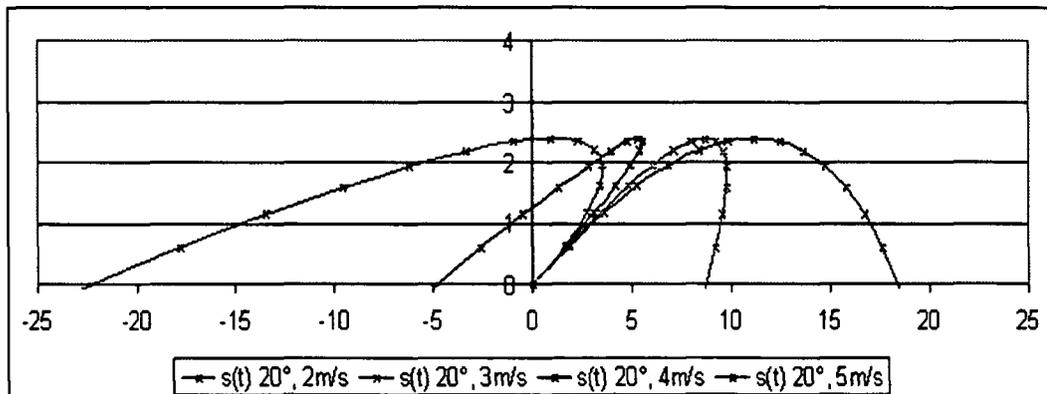


Abbildung 16 –  $s$ - $h$ -Diagramm von Flugparabeln (Abschusswinkel  $20^\circ$ ) unter verschiedenen Gegenwind-Bedingungen

Man sieht, dass der Gegenwind (und damit auch der Luftwiderstand) eine durchaus beträchtliche Rolle spielen. Dennoch wird wegen der erheblichen Erleichterung bei Rechnungen der Luftwiderstand oft vernachlässigt. Diese Vernachlässigung ist vor allem dann zulässig, wenn der Luftwiderstand klein im Vergleich zu anderen relevanten Größen ist. Beispielsweise ist der Luftwiderstand verkehrt proportional zur Masse des Körpers (siehe Gleichung (3.38)). Wenn nun die Masse des betrachteten Körpers groß ist, wird der Faktor „vernachlässigbar“ klein. Hingegen

muss die Querschnittsfläche des Körpers klein sein (ebenso wie die Koeffizienten  $c_w$  und  $\rho_m$ ), da sie im Zähler des Faktors eingeht, um den Luftwiderstand vernachlässigen zu können.

In der Analyse zu einer Szene aus dem Film „Speed“ wird dieses Wissen um den „Schiefen Wurf“ sowie der Einfluss des Luftwiderstandes verwendet um zu zeigen, dass im Falle eines fliegenden Autobusses der auftretende Luftwiderstand tatsächlich sehr gering ist und keinen wesentlichen Einfluss auf die Flugbahn darstellt.

### 3.6 Permanentmagnetismus

Permanentmagnete sind hartmagnetische Werkstoffe, die sich durch eine hohe Koerzitivkraft auszeichnen. Das bedeutet, dass nach Abschalten des Magnetfeld erzeugenden Stromes das Magnetfeld weitgehend erhalten bleibt.

In einem ferromagnetischen Stoff existieren Weiss'sche Bezirke. Innerhalb derselben Bezirke weisen die Elektronen den gleichen Spin auf. Die Grenze zwischen den einzelnen Bezirken wird Bloch-Wand genannt.

Wird von außen ein magnetisches Feld angelegt, richten sich mehr und mehr Elektronen nach dem äußeren Feld aus. Die Blochwände verschieben sich. Trifft eine Blochwand auf eine Störstelle, kann sie sich an dieser Stelle nicht weiter verschieben. Erst wenn die äußere Feldstärke groß genug ist, springt die Blochwand über die Störstelle. Dies führt zu einer sprunghaften Änderung der Magnetisierung.

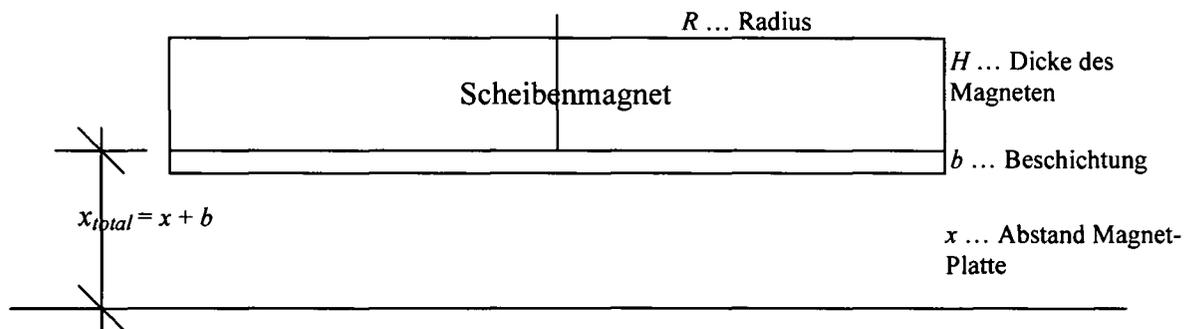


Abbildung 17 – Skizze des Querschnitts eines Scheibenmagneten zur praktischen Berechnung der Haftkraft

In der Praxis<sup>15</sup> lässt sich die Stärke eines Permanentmagneten über die magnetische Flussdichte berechnen.

<sup>15</sup> Die folgenden Informationen zur praktischen Berechnung wurden freundlicherweise von der Firma Webcraft GmbH zur Verfügung gestellt (<http://www.supermagnete.de>).

Ohne Stahlplatte:

$$\frac{x_{total} + H}{\sqrt{R^2 + (x_{total} + H)^2}} = \sin \beta \quad (3.39)$$

$$\frac{x_{total}}{\sqrt{R^2 + x_{total}^2}} = \sin \alpha \quad (3.40)$$

$$\text{Flussdichte} = \frac{Br}{2} \cdot (\sin \beta - \sin \alpha) \quad (3.41)$$

Br.....magnetische Flussdichte des verwendeten Materials

Mit Stahlplatte wird (3.39) zu:

$$\frac{x_{total} + 2H}{\sqrt{R^2 + (x_{total} + 2H)^2}} = \sin \gamma \quad (3.42)$$

$$\text{Flussdichte} = \frac{Br}{2} \cdot (\sin \gamma - \sin \alpha) \quad (3.43)$$

Br.....magnetische Flussdichte des verwendeten Materials

Beispiel:

Fläche der Scheibe mit  $R = 50 \text{ mm}$  und  $H = 30 \text{ mm}$ <sup>16</sup>:

$$A = 0,0019635 \text{ m}^2$$

$Br^2 = 1,29^2 = 1,6641$  (magnetische Flussdichte eines bestimmten, Materials; gegeben)

$$K = \frac{0,58 \cdot 100}{0,0254^2 \cdot 0,224809^2} = 399895,822 \quad (\text{konstanter Korrekturfaktor})$$

Daraus ergibt sich eine Kraft von

$$F = H \cdot K \cdot \sqrt{A} \cdot Br^2 = 884,63 \text{ N} \quad (3.44)$$

oder umgerechnet ca. 90,18 kg.

Verwendet man diesen Magneten, um etwas an einer Stahlplatte senkrecht darauf aufzuhängen, ist dieser Magnet in der Lage, eine Last von etwa 90 kg zu tragen. Verwendet man zwei dieser Magneten, verdoppelt sich die Last auf 180 kg. Die Situation verändert sich, wenn die Kraft in einem Winkel von 90° wirkt.

Dieses Wissen wird uns bei der Analyse der Szene aus dem Film „Ocean’s Eleven“ hilfreich sein.

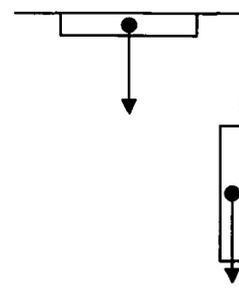


Abbildung 18 –  
Permantentmagnet  
mit angreifender  
Kraft: a) oben in  
einem Winkel von  
0°, b) rechts in  
einem Winkel von  
90°

<sup>16</sup> Dimensionen abgeschätzt aus dem Film „Ocean’s Eleven“ (siehe Kapitel 4.1)

### 3.7 Laserlicht

LASER ist die Abkürzung für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“. Übersetzt bedeutet es „Lichtverstärkung durch stimulierte Lichtemission“. Dies beschreibt bereits die Funktionsweise eines Lasers.

In der Atomhülle befinden sich die Elektronen in unterschiedlichen Energieniveaus um den Atomkern. Diese können als Energiebänder dargestellt werden. Es sind dies diskrete Zustände, in denen sich die Elektronen entsprechend ihrer Energie aufhalten. Diesen Zustand nennt man Grundzustand.

Wird dem Atom Energie zugeführt, zum Beispiel in Form von elektrischem Strom, sind die Elektronen in der Lage, diese Energie zum „Aufsteigen“ in ein höheres Energieniveau zu verwenden. Das Atom befindet sich jetzt in einem angeregten Zustand; der Vorgang wird Pumpen genannt.

Bricht die Energiezufuhr ab, fallen die Elektronen wieder in den Grundzustand zurück. Dabei wird die zuvor absorbierte Energie wieder freigesetzt. Dieser Energie  $E$  kann aufgrund der Beziehung

$$E = \hbar \cdot f \quad (3.45)$$

$\hbar$  ....Plancksches Wirkungsquantum

eine bestimmte Frequenz  $f$  zugeordnet werden. Liegt diese Frequenz im Bereich des sichtbaren Lichts, haben wir es mit einer Lichtquelle zu tun.

Bei einer herkömmlichen Lichtquelle, z.B. einer Glühbirne, erfolgt der Übergang vom angeregten in den Grundzustand zufällig. Man spricht hierbei von spontaner Emission. Die ausgesandten Frequenzen weisen im Allgemeinen Wellenlängen des gesamten (sichtbaren) Spektrums auf. Daraus resultiert das weiße Licht einer Glühlampe, das sich aus der Superposition aller Spektralfarben ergibt.

Bei einem Laser hingegen fallen die Elektronen vom angeregten Zustand zuerst auf ein metastabiles Niveau. Die Bezeichnung metastabil rührt von der vergleichsweise langen Verweildauer der Elektronen auf diesem Zwischenniveau her. Am metastabilen Niveau sammeln sich auf diese Weise viele Elektronen an.

Durch einen Auslöser fallen schließlich alle Elektronen vom metastabilen Niveau in den Grundzustand zurück. Dabei setzen alle dieselbe Energie – und damit Licht derselben Wellenlänge – frei.

Das so freigesetzte, großteils monochromatische Licht wird zwischen zwei Spiegeln durch konstruktive Interferenz weiter verstärkt. Einer der beiden Spiegel ist halbdurchlässig, dort tritt als Teil der freigesetzten Energie der Laserstrahl aus.

Ein Laserstrahl unterscheidet sich bei der Ausbreitung vom Licht einer Glühbirne dadurch, dass sein Licht aufgrund seiner räumlichen Kohärenz (fast) nicht divergiert.

Egal ob Laser- oder weißes Licht, beides ist für das menschliche Auge nur dann sichtbar, wenn man entweder direkt in die Lichtquelle blickt, oder aber wenn das Licht auf seinem Weg an Hindernissen gestreut bzw. reflektiert wird.

Für die Filmindustrie ist (war) Laserlicht einerseits spannend, da es nicht zuletzt den technischen Fortschritt markierte, andererseits ist seine Unsichtbarkeit höchst unwillkommen. Wird in einem Film nicht just mit dieser Unsichtbarkeit die

Spannung in die Höhe getrieben (z.B. beim Film „Verlockende Falle“ mit Sean Connery und Catherine Zeta-Jones), ist das Licht meist sichtbar.

Im Film „Schlimmer geht's immer“ wird davon reger Gebrauch gemacht, im Film „Ocean's Eleven“ wird das Laserlicht einmal sichtbar (siehe Analyse der Szene) dargestellt, wenige Minuten nach der diskutierten Szene wird das Laserlicht unsichtbar dargestellt (richtigerweise sind hier nur Reflexionen sichtbar).

### 3.8 Tornados

Die Voraussetzungen und grundlegenden Entstehungsmechanismen von Tornados sind heutzutage größtenteils bekannt. Unter entsprechenden Bedingungen können sie sich das ganze Jahr über überall auf der Erde bilden. Klimatisch bedingt gibt es jedoch sowohl räumliche als auch zeitliche Schwerpunkte.

Tornados werden überall dort beobachtet, wo auch Gewitter auftreten. Nach Häufigkeit steht an erster Stelle der Mittlere Westen der USA, wo die klimatischen Bedingungen aufgrund der weiten Ebenen östlich der Rocky Mountains bzw. nördlich des tropischen Meeres vom Golf von Mexiko sehr günstig für die Entstehung sind. Weitere Tornadogebiete sind unter anderem Japan, Australien, aber auch Europa.

Ein Tornado entsteht dann, wenn eine trockene, kühle Luftschicht von einer feuchten, warmen Luftschicht unterspült wird. Aufgrund der Sonneneinstrahlung bzw. der Frontenbewegung steigt die warme, feuchte Luft auf. Beim Aufsteigen und der damit verbundenen Kondensation werden erhebliche Energiemengen freigesetzt. Erst diese zusätzliche Energie ermöglicht ein hinreichend hohes Aufsteigen der Luftmassen.

Es kommt zu einem rotierenden Aufwind, so genannten Superzellen („Mesozyklone“). Diese zeichnen sich durch eine Langlebigkeit von mehreren Stunden und heftigen Begleiterscheinungen wie Hagel und Gewitterwinde mit Geschwindigkeiten von bis zu 200 km/h aus.

„Nicht-mesozyklonale Tornados“ entstehen dadurch, dass mehrere bodennahe Wirbel in einzelne Wirbel mit vertikaler Achse zerfallen. Befindet sich darüber ein Aufwind z.B. einer Gewitterwolke, werden die Wirbel verstärkt. Zu diesen Typen zählen auch die meisten Wasserhosen.

Im Anfangsstadium ist ein Tornado quasi unsichtbar. Erst wenn im Inneren des Tornadoschlauchs aufgrund des großen Druckabfalls und der damit einhergehenden Auskühlung Wasserdampf kondensiert, oder wenn Staub etc. hochgewirbelt wird, erscheint ein Tornado in seinem bekannten Bild. Für einen Tornado ist vor allem der Kontakt mit dem Boden (manchmal als „Touchdown“ bezeichnet) entscheidend. Die Gestalt eines Tornados kann von dünnen Schläuchen bis hin zu Durchmessern von mehr als einem Kilometer reichen. Bei solch extrem großen Tornados können mehrere kleinere Wirbel auftreten, die dann gemeinsam um ein Zentrum kreisen. Eine derartige Konstellation bezeichnet man als Multivortex-Tornado.

Tornados werden nach der Fujita-Skala klassifiziert. Diese definiert die Windgeschwindigkeiten, die in einem Tornado auftreten. Die F-Klasse ist eine 12 Stufen umfassende mathematische Interpolation zwischen der Beaufort-Skala und

der Schallgeschwindigkeit. Zwischen der F-Klasse und der Beaufort-Windstärke besteht folgender empirischer Zusammenhang:

$$F \approx 0,2601 \cdot B - 2 \text{ bzw. } B \approx 3,845 \cdot (F + 2) \quad (3.46)$$

Die Windgeschwindigkeit  $v$  kann als Funktion des Skalenwertes  $F$  dargestellt werden:

$$v = 6,3 \cdot \sqrt{(F + 2)^3} \quad (3.47)$$

Da bislang die Windstärke innerhalb eines Tornados noch nie tatsächlich gemessen werden konnte, ist die Klassifizierung aufgrund der Windstärke eher theoretischer Natur. Aufgrund dessen werden Tornados mehr anhand der angerichteten Schäden beurteilt.

Die Einteilung der Schäden gilt vorwiegend für den nordamerikanischen Raum. Eine Übertragung auf Europa ist aufgrund der unterschiedlichen Bauweise schwierig.

Einteilung nach der Fujita-Skala<sup>17</sup>:

<b>Bezeichnung</b>	<b>Geschwindigkeiten</b>		<b>Auswirkungen</b>
F 0	< 32,5 m/s	< 117 km/h	Leichte Schäden, abgebrochene Äste und Baumkronen, Entwurzelung flachwurzeliger Bäume, umgeworfene Plakatwände
F 1	32,5 – 50 m/s	117 - 180 km/h	Abgehobene Wellbleche bzw. Dachziegel, Wohnmobile werden umgeworfen, fahrende PKWs werden verschoben
F 2	50 – 70 m/s	180 - 252 km/h	Dächer ganz abgedeckt, Wohnmobile zerstört, große Bäume entwurzelt, leichte Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen
F 3	70 – 92,5 m/s	252 – 333 km/h	Dächer und leichte Wände werden abgetragen, Züge entgleisen, Wald wird großteils entwurzelt, LKWs

<sup>17</sup> aus Ref. [32] und Ref. [33]

			werden verschoben bzw. umgeworfen
F 4	92,5 – 116,5 m/s	333 – 419 km/h	Holzhäuser mit schwacher Verankerung werden verschoben, PKW werden umgeworfen, schwer Gegenstände werden zu gefährlichen Projektile
F 5	116,5 – 142,6 m/s	419 – 513 km/h	Holzhäuser werden von ihren Fundamenten gerissen, weit verschoben und zerlegt, Teerstraßen können vom Boden gesaugt werden
F 6	142,6 – 170,1 m/s	513 – 612 km/h	Theoretischer Wert, der bisher wahrscheinlich nicht beobachtet wurde (Einige offiziell als F5 eingestufte Tornados könnten Spekulationen ob einer F6-Klasse offen lassen)
F 7	170,1 – 199,2 m/s	612 – 717 km/h	Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 8	199,2 – 229,8 m/s	717 – 827 km/h	Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 9	229,8 – 261,9 m/s	827 – 943 km/h	Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 10	261,9 – 295,3 m/s	943 – 1063 km/h	Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 11	295,3 – 330,0 m/s	1063 – 1188 km/h	Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 12	> 330,0 m/s	> 1188 km/h	Physikalisch nicht überschreitbare Grenze (Schallgeschwindigkeit)

Für Europa hat das TorDACH (Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in der DACH<sup>18</sup>-Region) die TORRO-Skala entwickelt. Die T-Skala umfasst die Kategorien T0 bis T12. Diese Skala unterscheidet sich von der Fujita-Skala dadurch, dass alleine die Windgeschwindigkeiten zur Klassifizierung herangezogen werden, und keine phänomenologischen Merkmale wie das Ausmaß der Zerstörung. Der stärkste bisher klassifizierte Tornado wurde mit T8 eingestuft. Der stärkste amerikanische Tornado würde auf der T-Skala auf T11 eingestuft werden.

Die Lebensdauer eines Tornados beträgt zwischen wenigen Sekunden bis über einer Stunde. Der Durchschnitt liegt unter 10 Minuten. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit bewegt sich zwischen 50 km/h und 100 km/h, je nach Geschwindigkeit der Mutterwolke. Die Rotationsgeschwindigkeit ist meist wesentlich schneller als die Fortbewegungsgeschwindigkeit. Die höchste bis dato registrierte Windgeschwindigkeit wurde mit  $496 \pm 33$  km/h gemessen und lag damit am oberen Ende der F5 – Klasse. Dies ist gleichzeitig die höchste bisher auf der Erde gemessene Windgeschwindigkeit. Nur Jetstreams<sup>19</sup> können oberhalb der Erdoberfläche noch höhere Windgeschwindigkeiten erreichen.

### 3.9 Apollo 13 – Mission

Die Apollo 13 Mission startete am 11. April 1970 um 19:13 GMT<sup>20</sup> in Cape Canaveral (Florida). Träger war eine Saturn V Rakete. Die Saturn V Rakete startete das erste Mal 1967 bei der Apollo 4 Mission. Auch die erste bemannte Mondlandung (Apollo 11) wurde mit diesem Raketentyp vollbracht.

Die Saturn V Rakete besteht aus drei Stufen:

- Stufe 1: S-IC mit einer Länge von 42 Metern und einem Durchmesser von 10 Metern; diese Stufe hat 5 Triebwerke vom Typ „F-1“, die mit Kerosin und Sauerstoff betrieben werden.
- Stufe 2: S-II mit einer Länge von 24 Metern und einem Durchmesser von 10 Metern; diese Stufe hat ebenfalls 5 Triebwerke, jedoch waren diese vom Typ „J-2“, welcher Wasserstoff und Sauerstoff als Brennstoff nützte.
- Stufe 3: S-IVB mit einer Länge von 18 Metern und einem Durchmesser von 6,6 Metern; diese Stufe besitzt ein einziges „J-2“ – Triebwerk.

Nach dem Start einer Saturn V Rakete brennt zunächst Stufe 1 für 2,5 Minuten. In dieser Zeit werden rund 2.000 Tonnen Treibstoff verbrannt. In einer Höhe von 61 km und mit einer Geschwindigkeit von 8.600 km/h wird die erste Stufe abgeworfen, und Stufe 2 brennt sechs Minuten lang. In einer Höhe von 185 km und

<sup>18</sup> DACH: D – Deutschland, A – Austria, CH - Schweiz

<sup>19</sup> Schmales Windband meist innerhalb der oberen Troposphäre mit Windgeschwindigkeiten bis zu 540 km/h.

<sup>20</sup> GMT ... Greenwich Mean Time

einer Endgeschwindigkeit von 24.600 km/h übernimmt schließlich Stufe 3 den Antrieb.

Stufe 3 wird vorerst nicht abgesprengt, da diese für den Einschuss in die Mondumlaufbahn noch einmal für fünf Minuten gezündet wird. Zu diesem Zeitpunkt hat die Rakete eine Geschwindigkeit von 37.500 km/h.

Bei Apollo 13 ließen starke Vibrationen im Stadium der zweiten Stufe das mittlere der fünf Triebwerke automatisch abschalten. Durch längere Brenndauer der verbleibenden vier Triebwerke wurde diese Fehlfunktion ausgeglichen.

55 Stunden und 54 Minuten nach dem Start der Mission explodierte einer der Sauerstofftanks der „Odyssey“. Der Auslöser war eine an ein Thermostat angeschlossene zu hohe Spannung. Das Thermostat war ursprünglich für 28 Volt Gleichspannung gebaut. Nach Spezifikationsänderungen im Jahre 1965 auf 65V Gleichspannung wurde dieses Thermostat nicht ausgetauscht. Dieses Thermostat konnte höchstens 27 Grad anzeigen, und somit wurde die hohe Temperatur nicht bemerkt.

Was geschah genau in diesen Minuten, als der Sauerstofftank explodierte? Eine detaillierte Chronologie gibt Aufschluss<sup>21</sup>:

## **Detailed Chronology of Events Surrounding the Apollo 13 Accident**

---

*Events from 2.5 minutes before the accident to about 5 minutes after. Times given are in Ground Elapsed Time (G.E.T.), that is, the time elapsed since liftoff of Apollo 13 on April 11, 1970, at 2:13 PM Eastern Standard Time (EST). 55:52:00 G.E.T. is equal to 10:05 PM EST on April 13, 1970.*

---

55:52:31 - Master caution and warning triggered by low hydrogen pressure in tank no. 1

55:52:58 - CapCom (Jack Lousma): "13, we've got one more item for you, when you get a chance. We'd like you to stir up the cryo tanks. In addition, I have shaft and trunnion .....

55:53:06 - Swigert: "Okay."

55:53:07 - CapCom: "... for looking at Comet Bennett, if you need it."

55:53:12 - Swigert: "Okay. Stand by."

55:53:18 - Oxygen tank No. 1 fans on.

55:53:19 - Oxygen tank No. 2 pressure decreases 8 psi.

---

<sup>21</sup> aus Ref. [12]

55:53:20 - Oxygen tank No. 2 fans turned on.

55:53:20 - Stabilization control system electrical disturbance indicates a power transient.

55:53:21 - Oxygen tank No. 2 pressure decreases 4 psi.

55:53:22.718 - Stabilization control system electrical disturbance indicates a power transient.

55:53:22.757 - 1.2 Volt decrease in ac bus 2 voltage.

55:53:22.772 - 11.1 amp rise in fuel cell 3 current for one sample

55:53:26 - Oxygen tank No. 2 pressure begins rise lasting for 24 seconds.

55:53:38.057 - 11 volt decrease in ac bus 2 voltage for one sample.

55:53:38.085 - Stabilization control system electrical disturbance indicates a power transient.

55:53:41.172 - 22.9 amp rise in fuel cell 3 current for one sample

55:53:41.192 - Stabilization control system electrical disturbance indicates a power transient.

55:54:00 - Oxygen tank No. 2 pressure rise ends at a pressure of 953.8 psia.

55:54:15 - Oxygen tank No. 2 pressure begins to rise.

55:54:30 - Oxygen tank No. 2 quantity drops from full scale for 2 seconds and then reads 75.3 percent.

55:54:31 - Oxygen tank No. 2 temperature begins to rise rapidly.

55:54:43 - Flow rate of oxygen to all three fuel cells begins to decrease.

55:54:45 - Oxygen tank No. 2 pressure reaches maximum value of 1008.3 psia.

55:54:51 - Oxygen tank No. 2 quantity jumps to off-scale high and then begins to drop until the time of telemetry loss, indicating failed sensor.

55:54:52 - Oxygen tank No. 2 temperature sensor reads -151.3 F.

55:54:52.703 - Oxygen tank No. 2 temperature suddenly goes off-scale low,

indicating failed sensor.

55:54:52.763 - Last telemetered pressure from oxygen tank No. 2 before telemetry loss is 995.7 psia.

55:54:53.182 - Sudden accelerometer activity on X, Y, Z axes.

55:54:53.220 - Stabilization control system rate changes begin.

55:54:53.323 - Oxygen tank No. 1 pressure drops 4.2 psi.

55:54:53.500 - 2.8 amp rise in total fuel cell current.

55:54:53.542 - X, Y, and Z accelerations in CM indicate 1.17g, 0.65g, and 0.65g.

55:54:53.555 - Master caution and warning triggered by DC main bus B undervoltage. Alarm is turned off in 6 seconds. All indications are that the cryogenic oxygen tank No. 2 lost pressure in this time period and the panel separated.

55:54:54.741 - Nitrogen pressure in fuel cell 1 is off-scale low indicating failed sensor.

55:54:55.350 - Telemetry recovered.

55:54:56 - Service propulsion system engine valve body temperature begins a rise of 1.65 F in 7 seconds. DC main A decreases 0.9 volts to 28.5 volts and DC main bus B 0.9 volts to 29.0 volts. Total fuel cell current is 15 amps higher than the final value before telemetry loss. High current continues for 19 seconds. Oxygen tank No. 2 temperature reads off-scale high after telemetry recovery, probably indicating failed sensors. Oxygen tank No. 2 pressure reads off-scale low following telemetry recovery, indicating a broken supply line, a tank pressure below 19 psi, or a failed sensor. Oxygen tank No. 1 pressure reads 781.9 psia and begins to drop.

55:54:57 - Oxygen tank No. 2 quantity reads off-scale high following telemetry recovery indicating failed sensor.

55:55:01 - Oxygen flow rates to fuel cells 1 and 3 approached zero after decreasing for 7 seconds.

55:55:02 - The surface temperature of the service module oxidizer tank in bay 3 begins a 3.8 F increase in a 15 second period. The service propulsion system helium tank temperature begins a 3.8 F increase in a 32 second period.

55:55:09 - DC main bus A voltage recovers to 29.0 volts, DC main bus B recovers

to 28.8.

55:55:20 - Swigert: "Okay, Houston, we've had a problem here."

55:55:28 - Lousma: "This is Houston. Say again please."

55:55:35 - Lovell: "Houston, we've had a problem. We've had a main B bus undervolt."

55:55:42 - Lousma: "Roger. Main B undervolt."

55:55:49 - Oxygen tank No. 2 temperature begins steady drop lasting 59 seconds indicating a failed sensor.

55:56:10 - Haise: "Okay. Right now, Houston, the voltage is--is looking good. And we had a pretty large bang associated with the caution and warning there. And as I recall, main B was the one that had an amp spike on it once before."

55:56:30 - Lousma: "Roger, Fred."

55:56:38 - Oxygen tank No. 2 quantity becomes erratic for 69 seconds before assuming an off-scale low state, indicating a failed sensor.

55:56:54 - Haise: "In the interim here, we're starting to go ahead and button up the tunnel again."

55:57:04 - Haise: "That jolt must have rocked the sensor on -- see now -- oxygen quantity 2. It was oscillating down around 20 to 60 percent. Now it's full-scale high."

55:57:39 - Master caution and warning triggered by DC main bus B undervoltage. Alarm is turned off in 6 seconds.

55:57:40 - DC main bus B drops below 26.25 volts and continues to fall rapidly.

55:57:44 - Lovell: "Okay. And we're looking at our service module RCS helium 1. We have -- B is barber poled and D is barber poled, helium 2, D is barber pole, and secondary propellants, I have A and C barber pole." AC bus fails within 2 seconds.

55:57:45 - Fuel cell 3 fails.

55:57:59 - Fuel cell current begins to decrease.

55:58:02 - Master caution and warning caused by AC bus 2 being reset.

55:58:06 - Master caution and warning triggered by DC main bus undervoltage.

55:58:07 - DC main bus A drops below 26.25 volts and in the next few seconds levels off at 25.5 volts.

55:58:07 - Haise: "AC 2 is showing zip."

55:58:25 - Haise: "Yes, we got a main bus A undervolt now, too, showing. It's reading about 25 and a half. Main B is reading zip right now."

56:00:06 - Master caution and warning triggered by high hydrogen flow rate to fuel cell 2.

Ein Auszug aus dem Apollo 13 Review Board gibt Aufschluss über die Ursache des Problems<sup>22</sup>:

h. A number of factors contributed to the presence of inadequate thermostatic switches in the heater assembly. The original 1962 specifications from NR to Beech Aircraft Corporation for the tank and heater assembly specified the use of 28 V dc power, which is used in the spacecraft. In 1965, NR issued a revised specification which stated that the heaters should use a 65 V dc power supply for tank pressurization; this was the power supply used at KSC to reduce pressurization time. Beech ordered switches for the Block II tanks but did not change the switch specifications to be compatible with 65 V dc.

i. The thermostatic switch discrepancy was not detected by NASA, NR, or Beech in their review of documentation, nor did tests identify the incompatibility of the switches with the ground support equipment (GSE) at KSC, since neither qualification nor acceptance testing required switch cycling under load as should have been done. It was a serious oversight in which all parties shared.

j. The thermostatic switches could accommodate the 65 V dc during tank pressurization because they normally remained cool and closed. However, they could not open without damage with 65 V dc power applied. They were never required to do so until the special detanking. During this

---

<sup>22</sup> aus Ref. [11]

procedure, as the switches started to open when they reached their upper temperature limit, they were welded permanently closed by the resulting arc and were rendered inoperative as protective thermostats.

k. Failure of the thermostatic switches to open could have been detected at KSC if switch operation had been checked by observing heater current readings on the oxygen tank heater control panel. Although it was not recognized at that time, the tank temperature readings indicated that the heaters had reached their temperature limit and switch opening should have been expected.

l. As shown by subsequent tests, failure of the thermostatic switches probably permitted the temperature of the heater tube assembly to reach about 1000° F in spots during the continuous 8-hour period of heater operation. Such heating has been shown by tests to severely damage the Teflon insulation on the fan motor wires in the vicinity of the heater assembly. From that time on, including pad occupancy, the oxygen tank no. 2 was in a hazardous condition when filled with oxygen and electrically powered.

m. It was not until nearly 56 hours into the mission, however, that the fan motor wiring, possibly moved by the fan stirring, short circuited and ignited its insulation by means of an electric arc. The resulting combustion in the oxygen tank probably overheated and failed the wiring conduit where it enters the tank, and possibly a portion of the tank itself.

n. The rapid expulsion of high-pressure oxygen which followed, possibly augmented by combustion of insulation in the space surrounding the tank, blew off the outer panel to bay 4 of the SM, caused a leak in the high-pressure system of oxygen tank no. 1, damaged the high-gain antenna, caused other miscellaneous damage, and aborted the mission.

#### Abbildung 19 – Auszug aus dem Apollo 13 Review Board

Die Explosion in Sauerstofftank 2 riss ein Leck in Sauerstofftank 1. Beide Tanks wurden zur Herstellung von Sauerstoff, Strom und Wasser an Bord verwendet. Aufgrund der verheerenden Situation wurde die Mission abgebrochen und Apollo 13 zur Erde zurückgeholt. Während der Rückreise traten noch verschiedene Komplikationen auf, da die Landefähre nicht für den Lebenserhalt dreier Personen für mehrere Tage ausgerichtet war. Erschwerend kam hinzu, dass Geräte wie z.B. Luftfilter der „Odyssey“ inkompatibel zu denen der „Aquarius“ waren. Am 17. April 1970 wasserte Apollo 13 um 13:07 nach einer wesentlich längeren Blackout-Phase beim Wiedereintritt als üblich schließlich im Pazifik, wo sie von der Mannschaft der USS Iwo Jima (LPH 2) aufgenommen wurden.

### 3.10 Jansky

Jansky (1Jy) ist eine gebräuchliche Einheit für den Strahlenfluss in der Radioastronomie. Sie wurde von Karl Guthe Jansky (1905 – 1950) eingeführt. In SI-Einheiten entspricht  $1\text{Jy} \equiv 10^{-26} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{Hz}}$ , also Leistung pro Fläche und Frequenzband.

Weit entfernte Radioquellen strahlen üblicherweise so kleine Flüsse aus, dass es sinnvoll ist, den Strahlenfluss in Jansky anzugeben.

## 4 Analyse von Nicht-Science-Fiction Filmen

---

In den nächsten beiden Kapiteln werden Szenen aus verschiedenen Filme analysiert. Zuerst werden Szenen aus Nicht-Science-Fiction Filmen analysiert, die Analyse von Szenen aus Science-Fiction Filmen ist Gegenstand des nächsten Kapitels 5.

### 4.1 Ocean's Eleven

Danny Ocean, gespielt von George Clooney<sup>23</sup>, ist kaum aus dem Gefängnis entlassen worden, als er bereits den nächsten großen Coup in Las Vegas plant. Er will die drei größten Casinos der Stadt mit einem einzigen Schlag ausrauben. Zusammen mit elf Spezialisten in dieser Branche (gespielt unter anderem von Brad Pitt, Matt Damon und Carl Reiner) soll die Aktion nach einem perfekt durchdachten Plan durchgeführt werden. Doch Danny Ocean hat mit dem Besitzer der Casinos, Terry Benedikt (gespielt von Andy Garcia), auch noch eine ganz private Rechnung offen: Terry ist der neue Freund von Dannys Ex-Frau, die ihn nach dem letzten Raubzug verlassen hat. Um sie zurück zu erobern, lässt Danny nichts unversucht und riskiert alles.

#### 4.1.1 Beschreibung der Szene

Danny Ocean und Rusty<sup>24</sup> sind mit neun Komplizen im Begriff, den Tresorraum eines großen Casinos in Las Vegas auszurauben. Der Tresorraum befindet sich 70 Meter<sup>25</sup> unter der Erde. An einem dünnen Stahlseil, welches mittels Permanentmagneten an einem Träger über dem Fahrstuhlschacht befestigt ist, seilen sich die beiden Einbrecher in Sekundenschnelle ab. Das Seil, mit dem sich die beiden abseilen, ist jedoch etwas zu kurz, und die beiden werden unvermittelt abgebremst. Daraufhin schneiden sie das Seil durch, und fallen die restlichen Meter zu Boden.

Der Liftschacht ist mit quer verlaufenden Laserstrahlen gesichert; diese Sicherheitssperre wird umgangen, indem der Strom in der ganzen Stadt durch ein Gerät namens „Pinch“ kurzfristig ausgeschaltet wird.



Abbildung 20 – Screenshot aus „Ocean's Eleven“: Danny Ocean hängt am Stahlseil

<sup>23</sup> Geboren am 6. Mai 1961 in Lexington, Kentucky

<sup>24</sup> Gespielt von Brad Pitt; geboren am 18. Dezember 1963 in Sawnee, Oklahoma, USA

<sup>25</sup> Diese Information wird im Film zum Zeitpunkt 00:29:32 genannt.

### 4.1.2 Der freie Fall

Der freie, ungebremste Fall in seiner einfachsten Form lässt sich mithilfe der Beziehung

$$s(t) = \frac{g}{2}t^2 + v_0t + s_0 \quad (4.1)$$

$s$ ..... Fallhöhe

$v_0$ ..... Anfangsgeschwindigkeit

$s_0$ ..... Anfangshöhe

$g$ ..... Erdbeschleunigung,  $g = 9,80665 \frac{m}{s^2}$

beschreiben. Der beim Fall auftretende Luftwiderstand wird in erster Näherung vorerst vernachlässigt. Um die Fallstrecke errechnen zu können, wird die Fallzeit benötigt. Der Fall wird im Film in voller Länge (mit einer Überblendung) gezeigt, sodass es als erste Möglichkeit denkbar ist, die Fallzeit zu stoppen. Die folgende Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse einer Messreihe für die Szene:

Versuch Nr.	Messwert [sec]	Messwert [1/100sec]
1	4:14	414
2	4:15	415
3	4:02	402
4	4:29	429
5	4:27	427
6	4:27	427
7	4:17	417
8	4:26	426
9	4:20	420
10	4:30	430
Mittelwert [1/100sec]		420,7
Mittelwert [sec]		4:21

Tabelle 1 – Empirisch ermittelte Werte für die Fallzeit durch Abstoppen der Filmszene

Aus der Messreihe erhält man einen Wert für die Fallzeit

$$t = t_{mess} = 4,21. \quad (4.2)$$

Um die Fallhöhe zu erhalten, setzen wir den Wert aus (4.2) in Beziehung (4.1) ein, und erhalten

$$s(t) = \frac{g}{2}t^2 = \frac{g}{2}4,21^2 = 86,91 \text{ m}. \quad (4.3)$$

Wie man am Ende der „Fallszene“ erkennt, werden die beiden Einbrecher knapp oberhalb des Schachtbodens aufgrund des zu kurzen Seils plötzlich abgebremst.

Rechnet man hierfür noch runde drei Meter dazu, erhalten wir so auf experimentelle Art und Weise eine Schachttiefe von 90 Metern.



Abbildung 21 – Screenshot aus „Ocean’s Eleven“: Sicherung des Liftschachts mit Hilfe von Laserstrahlen

Zu einem früheren Zeitpunkt im Film wird die Tiefe des Tresorraums mit 70 Metern unterhalb der Erde angegeben. Diese Differenz muss nicht notwendigerweise in der Ungenauigkeit der ermittelten Messwerte liegen. Berechnet man die Standardabweichung  $\sigma$  der Messwerte  $x_i$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4.4)$$

$n$  .....Anzahl der Versuche  
 $x_i$  .....i-ter Messwert  
 $\bar{x}$  .....Mittelwert der Messwerte

so liegt diese bei dem sehr kleinen Wert von  $\sigma = 0,0845 \text{ s}$ . Die Differenz kann z.B. durch ein filmisches Stilmittel „künstlich“ herbeigeführt worden sein: beim einzigen Bildschnitt während des Falls.

Geht man von der im Film genannten Tiefe des Liftschachtes von 70 m aus, kann man sich auf umgekehrtem Wege aus (4.1) die Fallzeit errechnen:

$$s(t) = \frac{g}{2} t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (4.5)$$

Setzt man für

$$s = 70 \text{ m} \quad (4.6)$$

ein, so erhält man eine Fallzeit von

$$t = t_{err} = 3,7784 \text{ sec} . \quad (4.7)$$

Wie kann man sich die Ergebnisse für die Fallzeit  $t_{mess}$  oder  $t_{err}$  nun vorstellen? Wir wollen uns bei den folgenden Berechnungen auf den Wert  $t_{err}$  beschränken.

Aus der Beziehung

$$v(t) = g \cdot t \quad (4.8)$$

lässt sich die Endgeschwindigkeit berechnen. Man erhält damit eine Geschwindigkeit von

$$v = g \cdot t_{err} = 37,0534 \frac{\text{m}}{\text{s}} . \quad (4.9)$$

Formt man das Ergebnis der Anschaulichkeit halber um in

$$v = 133,39 \frac{\text{km}}{\text{h}} , \quad (4.10)$$

so bekommt man bereits ein relativ deutliches Bild von der Situation. Es ist und bleibt Ansichtssache zu glauben, ob im Film gegen Ende des Falls eine Geschwindigkeit von ca. 130 km/h gezeigt wird.

Um die Rechnung realitätsnaher zu gestalten, darf der Luftwiderstand nicht vernachlässigt werden. Unter Ref. [36] wird dazu eine Vorlage bereitgestellt. Dabei werden folgende Werte angenommen:

$$\begin{aligned} c_w &= 1 \\ A_M &= 0,5 \text{ m}^2 \\ m &= 95,708 \text{ kg} \\ g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Die Masse des Hauptdarstellers George Clooneys wird mit<sup>26</sup>

$$m_{George} = 211 \text{ lb} \triangleq 95,708 \text{ kg} \quad (4.12)$$

<sup>26</sup> Zum Beispiel: <http://www.actorarchives.com/george>,  $1 \text{ lb} \triangleq 0,45359237 \text{ kg}$

angegeben.

Mit diesen Annahmen erhält man nach 3,8 Sekunden Fallzeit eine Endgeschwindigkeit  $v_{num}$  von rund

$$v_{num} = 32,99 \frac{m}{s} \quad (4.13)$$

bzw. umgerechnet rund  $v_{num} = 118,76 \text{ km/h}$ .

Gehen wir einen Schritt weiter: Danny Ocean und sein Räuber Kumpane werden am Ende des Falls abrupt abgebremst, da das Seil zu kurz ist. Die Kraftwirkung tritt aufgrund der plötzlichen Änderung der Geschwindigkeit auf. Dazu betrachten wir den Impuls

$$p = m \cdot v. \quad (4.14)$$

Die bei einer Impulsänderung auftretende Kraft lässt sich mathematisch durch den Differenzenquotienten des Impulses nach der Zeit darstellen:

$$p(t) = m \cdot v(t)$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (4.15)$$

$m$ ..... Masse

$v_2$ ..... Geschwindigkeit vor dem Abbremsen

$v_1$ ..... Endgeschwindigkeit nach dem Abbremsen ( $v_1 = 0 \text{ m/s}$ )

$\Delta t$  .....Zeitspanne des Bremsvorganges

Wie aus Beziehung (4.15) ersichtlich ist, müssen wir nun eine weitere Annahme treffen: Wir müssen Angaben über die Zeitdauer des Bremsvorganges machen. Geht man von der (theoretischen) Tatsache aus, dass das Seil nicht dehnbar ist, folgt daraus eine Zeitspanne von  $\Delta t = 0$ . Diese Zeitspanne ist jedoch praktisch nicht haltbar – aus ihr würde eine unendlich starke Kraft folgen.

Ein Ansatzpunkt findet sich im Elastizitätsmodul. Dieser Wert gibt den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers (bei linear elastischem) Verhalten. Je mehr Widerstand ein Material seiner Dehnung entgegensetzt, desto größer ist der Wert des Elastizitätsmoduls. Ein Material mit einem hohen Elastizitätsmodul ist daher „steif“, ein Material mit kleinem Wert nachgiebig. Das Elastizitätsmodul findet sich unter anderem als Proportionalitätskonstante im Hooke'schen Gesetz wieder:

$$F = -E \cdot x \quad (4.16)$$

Nehmen wir an, bei diesem extrem belastbaren Material handelt es sich um ein Seil aus Stahl.

Für Stahl findet sich bei Raumtemperatur ein Elastizitätsmodul von

$$E_{\text{Stahl}} = 19 - 21 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}. \quad (4.17)$$

Die Federkonstante  $k$  ergibt sich aus dem Querschnitt  $A$ , der Länge  $L$  und dem Elastizitätsmodul zu

$$k = \frac{E \cdot A}{L}. \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} L &= 65 \text{ m (von der Liftschachttiefe von 70 m ziehen wir 5 m für das zu kurze Seil ab)} \\ E &= 20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \\ A &= 12,56 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (Radius des kreisförmigen Querschnitts des Seils mit 2 mm angenommen)} \end{aligned}$$

Daraus folgt für die Federkonstante ein Wert von

$$k = 38646,15 \frac{\text{N}}{\text{m}}. \quad (4.19)$$

Für ein harmonisches Federpendel mit dieser Federkonstante würde eine Periodendauer einer Schwingung von

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \approx 0,3127 \text{ sec} \quad (4.20)$$

ergeben. Das würde rund 3 Schwingungen pro Sekunde entsprechen. Im Film sieht man nur einige wenige Schwingungen, die Periodendauer abzuschätzen ist daher praktisch nicht möglich.

Ein Abstoppen der Dauer dieser Filmszene erscheint nicht möglich, da es sich um eine zu kurze Zeitspanne handelt. Doch von dieser Tatsache ausgehend, können wir zumindest eine Zeitspanne konstatieren, die kürzer als eine halbe Sekunde ist. Zur Berechnung nehmen wir den Wert der numerisch ermittelten Geschwindigkeit  $v_{\text{num}}$ , in welcher der Luftwiderstand berücksichtigt wird. In folgender Tabelle sind für verschiedene Zeitspannen die auftretenden Kräfte angeführt:

Zeitspanne [sec]:	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01
Kraft [N]:	6314,81	10524,69	31574,07	63148,14	315740,69

**Tabelle 2 – Auftretende Bremskräfte für verschiedene Bremszeiten**

Einzig und allein aus dem Betrachten des Filmausschnittes wird man kaum zu einem haltbaren Zeitwert für das Bremsintervall gelangen. Wie aus Tabelle 2 jedoch ersichtlich ist, wäre eine genauere Kenntnis wichtig, denn vor allem bei kleinen Intervallwerten wirken sich bereits kleine Änderungen stark auf das Ergebnis aus.

Die Kräfte, die bei der Beschleunigung des Bremsvorganges auftreten, sind beachtlich. Selbst beim kleinsten Kraft-Wert aus Tabelle 2 tritt eine Kraft auf, die vergleichbar mit der Gewichtskraft eines Smart – Autos<sup>27</sup> ist.

Oft ist der bloße Vergleich der auftretenden Beschleunigung interessant. Dividiert man die in Tabelle 2 erhaltenen Werte für die Kraft durch die Masse, erhält man eine Kraft pro Masse – also eine Beschleunigung. In Tabelle 3 geben wir die Beschleunigungen in Vielfache der Erdbeschleunigung  $g$  an:

Zeitspanne [sec]:	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01
Kraft [N]:	6314,81	10524,69	31574,07	63148,14	315740,69
Beschleunigung [ $m/s^2$ ]:	6,73g	11,21g	33,63g	67,26g	336,29g

Tabelle 3 – Auftretende Bremskräfte in Vielfache der Erdbeschleunigung

Auch aus Tabelle 3 lässt sich der Grad der realistischen Darstellung des Falls erkennen: Der kleinste auftretende Wert beträgt bereits das 6,73-fache der Erdbeschleunigung, bei einem Bremsintervall von 0,1 Sekunde tritt eine 33,63-fache Erdbeschleunigung auf. Der bis dato bekannte Rekord im Überleben einer immensen Beschleunigung eines Menschen liegt bei 43g, die Crashtest-Vater Colonel John Paul Stapp bei der Bremsung nach einer 1000 km/h schnellen Fahrt im Jahre 1954 erfuhr. Der Colonel überstand den Rekord jedoch nicht unbeschadet – seine Augen begannen innerlich zu bluten.

Aus dieser Tatsache, und aus der Tatsache, dass bei den beiden Filmhelden weder Augenbluten noch sonstige Nebenwirkungen aufgetreten sind, nehmen wir eine Zeitspanne von 0,3 sec an, aus der eine Bremskraft von 10524,69 N, bzw. das 11,21-fache der Erdbeschleunigung, folgt.

Man kann den Fall der beiden Protagonisten auch mithilfe der Energie analysieren:

$$mgh = F \cdot s \quad (4.21)$$

Aus der Erhaltung der Energie folgt, dass die gesamte potentielle Energie bei der unfreiwilligen Abbremsung erhalten bleibt. Wie man sieht, kommt man auch hierbei nicht umhin, entweder die Kraft oder aber den Bremsweg abzuschätzen.

Der aus der soeben getroffenen Annahme der Bremskraft von 10524,69 N folgt ein Bremsweg von

$$s = \frac{mgh}{F} = 5,799m . \quad (4.22)$$

Damit würden die Filmhelden bereits den Boden des Schachts erreichen. Abgesehen davon wäre ein Bremsweg von über 5 m in der Filmszene trotz der sehr kurzen Zeitspanne deutlich erkennbar.

<sup>27</sup> Auf der Herstellerseite <http://www.smart.at> ist das Leergewicht des „Smart Fortwo Coupé 37kW pure“ mit 730kg angegeben.

Umgekehrt kann man aus der Filmszene den Bremsweg abschätzen, und sich daraus die auftretenden Bremskräfte ermitteln. Einer groben Abschätzung zufolge ist der Bremsweg nicht länger als 2 m. In Tabelle 4 ist eine Übersicht über verschieden lange Bremswege zusammengestellt:

Bremsweg [m]:	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
Kraft [N]:	122014	81343	61007	48806	40672	34861	30504

**Tabelle 4 – Gegenüberstellung von Bremskräften bei verschiedenen langen Bremswegen**

Diese Werte stimmen mit den bisherigen Ergebnissen überhaupt nicht überein. Bei einem in der Szene maximal angenommenen Bremsweg von 2 m tritt eine Kraft von rund 30.504 N auf, das entspricht dem 32,5fachen der Erdbeschleunigung  $g$  – den Ergebnissen aus Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 zufolge entspricht dies einer Bremszeit von ungefähr 0,1 s.

Die Differenz der Werte lässt darauf schließen, dass die Filmszene nicht der Wahrheit entsprechen kann.

Fassen wir die vielfältigen Ergebnisse noch einmal übersichtlich zusammen – die Nummerierung entspricht derjenigen aus der nachfolgenden Abbildung 22:

1. Bestimmung der Fallzeit aus der Szene  
 →  $t_{mess} = 4,21 s$   
 → Fallhöhe: 86,91 m
2. Bestimmung der Fallzeit aus gegebener Höhe von 70m  
 →  $t_{err} = 3,78 s$
3. Endgeschwindigkeit vor abrupten Abbremsen aus  $t_{err}$   
 →  $v = 37,05 m/s$  bzw.  $v = 133,39 km/h$
4. Endgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des Luftwiderstands beim freien Fall  
 →  $v = 32,99 m/s$  bzw.  $v = 118,76 km/h$
5. Mithilfe der Ergebnisse aus den Berechnungen des Elastizitätsmoduls ergeben sich keine hilfreichen Schlussfolgerungen.
6. Tabelle verschiedener Bremszeiten und Masse von George Clooney ergeben verschiedene Werte für Bremskräfte. Um ein Überleben zu garantieren, sind mindestens folgende Einschränkungen zu treffen:  
 → Bremszeit  $> 0,1 s$   
 → Bremskraft  $< 31.574,07 N$
7. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die beiden Helden völlig ohne Schäden oder Nebenwirkungen davongehen, scheinen unter schlechtesten Bedingungen folgende Werte sinnvoll:  
 → Bremszeit  $> 0,3 s$   
 → Bremskraft  $< 10.524,69 N$
8. Mithilfe der Energieerhaltung gelangt man aus der in Pkt. 7 zuletzt ermittelten Kraft, der Masse sowie der Fallhöhe zu einem Bremsweg von 5,16m. Unter den gegebenen Annahmen (Schachttiefe 70m, Seillänge 65m)

würde mit diesem Bremsweg der Boden des Liftschachts erreicht werden – eine Tatsache, die im Film nicht gezeigt wird.

9. Geht man von einem maximalen Bremsweg von 2 m aus, ergibt sich rückschließend eine Bremskraft von ca. 30.504 N bei einer Bremszeit von etwa 0,12 s. Das entspräche dem 32,32fachen der Erdbeschleunigung. Und diese Kraftwirkung würde bei den beiden Einbrechern sicher nicht ohne Folgen bleiben.

Das Ergebnis aus Punkt 8 kollidiert mit den bisherigen Ergebnissen bis zu Punkt 7.

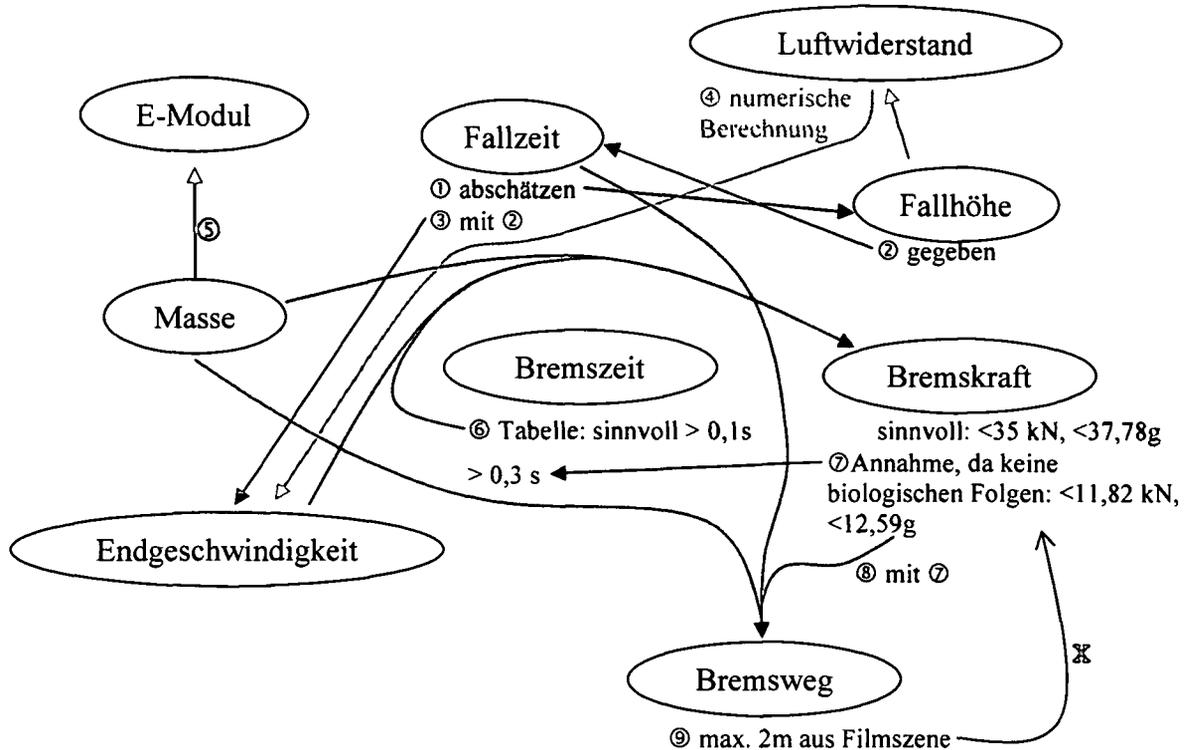


Abbildung 22 – Übersicht über die Analyse des freien Falls der beiden Protagonisten des Films „Ocean’s Eleven“

### 4.1.3 Magnetismus

Direkt an die Analyse des freien Falls schließt der Aufhängepunkt desselbigen an. Wie zu Beginn der Szene gezeigt, befestigen die Einbrecher ihre Stahlseilrollen mithilfe zweier zylinderartiger Magnete. Im vorigen Abschnitt haben wir die maximale Kraft berechnet bzw. abgeschätzt, die beim abrupten Abbremsen auftritt. Diese Kraft – je nach Schätzung – muss von diesen Magneten – der Abbildung nach sind es zwei – auf jeden Fall gehalten werden. Sichtbar handelt es sich dabei um Permanentmagneten, da die Apparatur aus einem mitgetragenen Koffer entnommen wird. Die Frage, die sich jetzt stellt, ist, ob es derart starke Permanentmagneten gibt,

die diesen Kräften Stand halten können. Erschwerend für die Suche nach solchen Magneten kommt hinzu, dass die Kraft ja seitlich wirkt (siehe Abbildung 23).

Die zurzeit stärksten Magneten werden aus den Elementen Neodym, Eisen und Bor in der Zusammensetzung  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  <sup>(28)</sup> hergestellt. Sie erreichen eine Remanenz <sup>29</sup> von bis zu über einem Tesla. Solche Magneten werden zum Beispiel bei Kernspin-Tomographen, Festplatten und hochwertigen Lautsprechern eingesetzt. Durchaus möglich, dass unsere Kinohelden im Besitz solcher Magneten sind, denn jeder kann sie per Internet relativ preiswert kaufen <sup>30</sup>.



Abbildung 23 – Screenshot aus „Ocean's Eleven“: Aufhängung der Stahlseilrolle

Aber reicht die Kraft diese Magneten wirklich, um die beim Sturz und vor allem um die beim plötzlichen Abbremsen auftretende Kraft abzufangen? Die Skepsis ist den beiden auf jeden Fall anzumerken: „Die Dinger halten doch, oder?“ – „Mal sehen...“.

Beginnen wir zu überlegen: Die Magneten fallen unter die Kategorie „Scheibenmagneten“. Schätzen wir aus dem Film-Screenshot aus Abbildung 23 einen Durchmesser von 5cm und eine Tiefe von 3cm.

Mit dem Hintergrundwissen aus Kapitel 3 ergibt sich eine Anziehungskraft zwischen diesem Scheibenmagnet (mit dem stärksten verfügbaren magnetischen Grad) und einer Stahlplatte in Vollkontakt von 1071,91 Newton, bzw. rund 109 kg. Dieser Wert setzt allerdings eine Richtung der zu haltenden Kraft voraus, wie in Abbildung 24 gezeigt. Zwei Unterschiede zur Szene im Film sind bemerkbar: Im Film werden zwei Magnetscheiben benutzt, und die Kraft wirkt normal auf die Magneten.

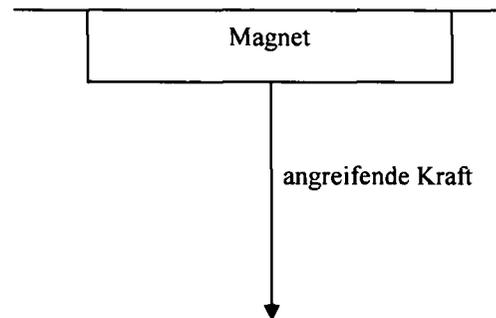


Abbildung 24 - Permanentmagnet

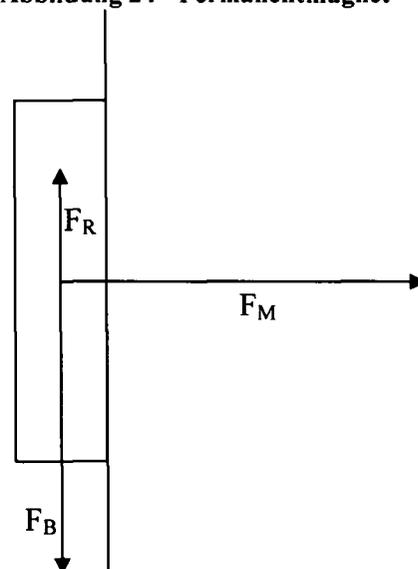


Abbildung 25 – Skizze der Magnet-Aufhängung

<sup>28</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/NdFeB>

<sup>29</sup> Unter Remanenz (lat. „remanere“ ... zurückbleiben) versteht man im Zusammenhang mit Permanentmagneten diejenige Magnetisierung, die erhalten bleibt, wenn man ein äußeres Magnetfeld abschaltet. Generell werden Stoffe mit hoher Remanenz als „magnetisch“ bezeichnet.

<sup>30</sup> zum Beispiel: [www.supermagnete.de](http://www.supermagnete.de)

In Abbildung 25 sind die auftretenden Kräfte auf dieses System skizziert. Eingezeichnet sind die Kraft  $F_M$  der beiden Magneten von 2.144 Newton, die Reibungskraft  $F_R$  der Magneten am Stahlträger sowie die auftretende „Bremskraft“  $F_B$ , als Danny Ocean durch das zu kurze Seil abgebremst wird.

Der Haftreibungskoeffizient für Stahl auf Stahl, trocken, beträgt  $\mu_H = 0,15$ :

$$F_H = \mu_H \cdot F_N \quad (4.23)$$

$F_H$ .....Haftkraft (Haftreibungskraft)

$F_N$ .....Normalkraft

Die Normalkraft  $F_N$  entspricht der Kraft der beiden Magneten, woraus eine Haftkraft von

$$\begin{aligned} F_H &= 2144 \cdot 0,15 \\ F_H &= F_R = 321,6N \end{aligned} \quad (4.24)$$

folgt.

Vergleichen wir diesen erhaltenen Wert nun mit den oben errechneten auftretenden Werten für  $F_B$ , sehen wir, dass die Magnete unseren Helden nicht einmal für das längste angenommene Bremsintervall halten hätten können.

Auf umgekehrtem Wege lässt sich die minimale Zeitdauer für die (ruckartige) Bremsung berechnen, sodass die Magnete Danny Ocean gerade noch gehalten hätten:

$$\begin{aligned} m \frac{\Delta v}{\Delta t} &\geq F \\ \Delta t &\leq m \frac{\Delta v}{F} \\ \Delta t &\leq 95,71 \frac{37,05}{3154} = 11,03 \text{sec} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Dieser maximale Wert von 11,12 Sekunden liegt deutlich über den bisher angenommenen Schätzwerten für die Bremszeit.

Nach dieser genaueren Betrachtung stellt sich der gezeigte Sachverhalt zwar nicht als ganz auszuschließen, jedoch als äußerst unwahrscheinlich dar.

#### 4.1.4 Sichtbare Laserstrahlen

Für das Filmgeschäft ist der „Laser“ ein zweiseitiges Schwert. Jeder Kinobesucher kennt das Gerät, es symbolisiert im Allgemeinen die moderne Technik. Andererseits hat das Laserlicht einen entscheidenden Nachteil: es ist (wie

auch das „normale“, weiße Licht) unsichtbar. Sichtbar wird Licht erst, wenn es an Teilchen bzw. Objekten reflektiert wird.

Der Erfahrung nach wird Laserlicht in der Filmindustrie je nach Gebrauch sichtbar oder unsichtbar dargestellt: In *Ocean's Eleven* wird das Laserlicht zweifach verwendet – einmal als rote Strahlen sichtbar im Liftschacht (siehe Abbildung 26), kurze Zeit später unsichtbar, als grünlich reflektierende Punkte sichtbar im Tresorraum.



Abbildung 26 – Screenshot aus „Ocean's Eleven“: Sichtbare Laserstrahlen im Liftschacht

Die kreuz und quer verlaufenden, roten Laserstrahlen im Liftschacht sehen auf den ersten Blick sehr dicht aus. Betrachtet man das Bild jedoch etwas genauer, sieht man, dass praktisch alle Strahlen durch die Mitte des Tunnelschacht-Querschnittes verlaufen. Am Rand des Tunnelschachtes gibt es mehrere Stellen, wo in der ganzen (sichtbaren) Tiefe kein Laserstrahl durchläuft.

Es stellt sich die Frage, gegen welche Gefahr eine derartig konstruierte Anlage schützen soll. Fällt ein Gegenstand unkontrolliert den Schacht hinunter, wird dieser mit großer Wahrscheinlichkeit den Alarm auslösen. Fällt ein Gegenstand jedoch kontrolliert, wird man mit Sicherheit eine entsprechende Stelle wählen, an der sichtbar kein Laserstrahl durchgeht. Die beiden Filmhelden hätten sich mit etwas Geschicklichkeit getrost am Rand des Schachts hinunterlassen können, ohne auf ein Gerät wie den nachfolgend diskutierten Pinch zurückgreifen zu müssen.

#### 4.1.5 Der „Pinch“

Um die Liftsicherung auszuschalten, benützt die Bande ein Gerät namens „Pinch“. Laut Beschreibung im Film erzeugt dieses Gerät einen elektromagnetischen Impuls

derartiger Stärke, dass in der gesamten Stadt für 30 Sekunden lang der Strom ausfällt.

Der Pinch ist in einem Lieferwagen vor dem Casino positioniert. Die Zündung wird als kleine Explosion dargestellt. Der Lieferwagen wird demoliert, eine Lampe der Parkplatzbeleuchtung geht in einem Funkenregen unter. Daraufhin fällt in der gesamten Stadt nach und nach der Strom aus. Eine halbe Minute später gehen die Lichter wieder an, ebenso die elektronischen Geräte wie die Computer der Casinoüberwachung.



Abbildung 27 – Screenshot aus „Ocean’s Eleven“: Der Pinch erzeugt einen elektromagnetischen Impuls, der die gesamte Stromversorgung der Stadt für 30 Sekunden unterbricht

Bash<sup>31</sup>, derjenige der Elf, der für den Pinch verantwortlich ist, beschreibt ihn im Film so: „Also, wenn eine Atomwaffe explodiert, erzeugt sie einen elektromagnetischen Impuls, der alle Stromquellen im Umkreis der Explosion ausschaltet. Aber versteht ihr, ein Pinch erzeugt denselben elektromagnetischen Effekt, bloß ohne Nervereien wie Massenvernichtung und Tod“.

Elektromagnetische Wellen entstehen durch beschleunigte Ladungen. Dabei spielt der Compton-Effekt die entscheidende Rolle: Trifft ein Photon auf einen festen Körper, tritt neben der Wellenlänge der einfallenden Strahlung noch eine zweite, größere Wellenlänge in Erscheinung. Die anregenden Photonen schlagen Elektronen aus dem festen Körper heraus und beschleunigen diese enorm. Dadurch entsteht ein elektromagnetischer Impuls.

Tatsächlich gibt es Geräte, die in der Lage sind, nicht-nukleare elektromagnetische Impulse zu erzeugen. Der „Flux Compression Generator“<sup>32</sup> ist ein Beispiel dafür. Er besteht aus einer Spule, die um ein mit Sprengstoff gefülltes Kupferrohr angeordnet ist. Bei der Entladung entsteht zwischen der Spule und dem Kupferrohr ein enormes

<sup>31</sup> Gespielt von Don Cheadle; geboren am 29. November 1964, Kansas City, Missouri

<sup>32</sup> auf Deutsch „Flusskompressionsgenerator“

Magnetfeld. Dabei wird der Sprengstoff gezündet. Durch die Explosion weitet sich das Kupferrohr auf und verursacht mit der Spule einen Kurzschluss. Während der „Expansion“ des Kupferrohres verdichtet sich die magnetische Flussdichte (daher rührt auch der Name des Geräts). Während die Stromstärke steigt, sinkt die Induktivität der Spule. Die Explosion gibt ihre Energie an das Magnetfeld ab. So werden für einen kurzen Moment enorme Magnetfeldstärken freigesetzt. Durch den kurzen Zeitrahmen (unter 1 ms) und der anschließenden (Selbst-)Zerstörung der Anordnung entsteht eine hochfrequente, elektromagnetische Welle. Im folgenden Ansatz betrachten wir nur die elektrische Komponente eines solchen Impulses. Die Feldstärke des elektrischen Felds ist allgemein durch

$$E(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad (4.26)$$

Q.....Ladung in C

$\epsilon_0$ .....Dielektrizitätskonstante,  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{A^2 s^4}{kg m^6}$

r.....Abstand in m

gegeben. Analog ist auch die magnetische Feldstärke proportional zu  $\frac{1}{r^2}$ .

Las Vegas hat eine Fläche von 131,2 Quadratmeilen<sup>33</sup>. Umgerechnet entspricht dies rund 339,81 km<sup>2</sup>.

Jetzt stehen mehrere Möglichkeiten offen – wir diskutieren die einfachste: Wir nehmen einen kreisförmigen Bereich um das Hotel und Casino Mirage an. Dieser Bereich hätte einen Radius von rund 10,4 km (bzw. 6,46 Meilen). Das elektromagnetische Feld am Rande dieses Bereichs wäre um einen Faktor 108.160.000 (bzw. einem Faktor 10<sup>8</sup>) kleiner. Alles, was man jetzt noch wissen müsste, ist, ab welcher Feldstärke ein elektrisches Gerät „abschaltet“.

Einige Beispiele für in der Natur vorkommende elektrische Felder (aus Ref. [5], Seite 12):

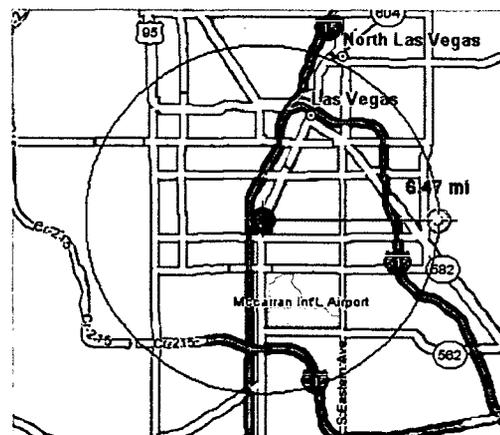


Abbildung 28 – Karte aus [www.us.map24.com](http://www.us.map24.com): Im Mittelpunkt des Kreises liegt das Casino [ab]

	Feldstärke E [N/C] = [V/m]
Stromleitung in Wohnhäusern	10 <sup>-2</sup>
Radiowellen	10 <sup>-1</sup>
Atmosphäre	10 <sup>2</sup>

<sup>33</sup> Diese Angabe stammt von der offiziellen Homepage der Stadt Las Vegas: <http://www.lasvegasnevada.gov> (<http://www.lasvegasnevada.gov/FactsStatistics/demographics.htm>)

Sonnenlicht	$10^3$
Unter einer Gewitterwolke	$10^4$
In einer Röntgenröhre	$10^6$
Laser	Bis zu $10^{12}$
Am Ort des Elektrons im Wasserstoffatom	$6 \cdot 10^{11}$
Auf der Oberfläche eines Urankerns	$2 \cdot 10^{21}$

Tabelle 5 – Feldstärken im Vergleich

Beträgt die Feldstärke am Rand der Stadt  $10^4$  N/C, müsste im Zentrum ein Wert von  $10^{12}$  N/C erreicht werden, was der Feldstärke am Ort des Elektrons in einem Wasserstoffatom entspricht.

Die nötige Größenordnung der Feldstärke ist schwer abzuschätzen. Sie muss auf jeden Fall größer als  $10^4$  N/C sein, da sonst bei jedem Gewitter alle elektrischen Geräte ausfallen müssten (und das ohne Stromausfall durch Blitzschlag etc.). Ob elektrische Geräte in einer Röntgenröhre noch funktionieren, ist bereits fraglich. Bei dieser Betrachtung noch außer Acht gelassen sind die durch den elektromagnetischen Impuls induzierten Ströme. Diese können je nach Gegebenheit beträchtliche Stromstärken erreichen und so für weit reichende Schäden sorgen.

Elektromagnetische Impulse treten auch bei nuklearen Explosionen auf. Wird eine Atombombe in Bodennähe gezündet, tritt durch den Compton-Effekt plötzlich eine gewaltige elektromagnetische Schockwelle mit einer Zeitdauer von unter  $100 \mu\text{s}$  auf. In einem Bereich von 3 bis 5 km Radius treten Feldstärken im Bereich von  $300.000 \text{ V/m}$  bis  $10.000 \text{ V/m}$  auf. Allerdings sind die Auswirkungen anderer Effekte der Explosion in diesem Bereich weitaus schlimmer (Hitze-, Druckwelle, ...). In einem Radius von 5 bis 10 km Entfernung treten Feldstärken von unter  $10.000 \text{ V/m}$  auf. Dies führt zu Beschädigungen von Systemen mit langen Leitungen wie z.B. Telefon- und Stromleitungen.

Besonders empfindlich auf solche elektromagnetischen Impulse sind elektronische Bauteile wie Computer-Prozessoren und Chips. Diese MOS<sup>34</sup>-Chips arbeiten mit extrem geringen Spannungs- und Stromstärken. Es ist daher nur wenig Energie für eine dauerhafte Beschädigung notwendig. Auch Transistoren sind empfindliche Bauteile – betroffen von einem Impuls sind daher auch alle Anlagen wie Radar-Systeme, Satelliten, Radio, Fernsehen usw.

Man kann sich aber auch schützen – die einfachste Möglichkeit besteht in der kompletten Abschirmung einer Anlage („Faradayscher Käfig“). Dies ist in der Praxis quasi nicht möglich, da eine Anlage mit Strom versorgt werden muss, ggf. auch mit Daten. Es müssen also Leitungen nach außen gelegt werden. Datenleitungen können mithilfe optischer Leiter geschützt werden. Bei Stromversorgungen können „Überspannungsfiler“ eingebaut werden, die die Stromzufuhr automatisch blockieren, wenn die Induktionsspannung zu groß wird. Allerdings sind diese Maßnahmen äußerst kostenintensiv.

<sup>34</sup> MOS ... Metal Oxide Semiconductor (Metall Oxyd Halbleiter)

## 4.2 Speed

„Wie groß ist denn das Stück?“ – „15 Meter sind es ganz sicher!“

Howard Payne<sup>35</sup> hält Geiseln in einem Fahrstuhl gefangen. Doch Bombenspezialisten können den Coup vereiteln und die Geiseln in Sicherheit bringen. Payne scheint sich dabei in die Luft gesprengt zu haben. Doch bereits wenig später schlägt er zurück: Eine Bombe in einem Bus wird explodieren, wenn der Bus langsamer als 50 Meilen pro Stunde – das entspricht 80,47 km/h – fährt. Jack<sup>36</sup>, einer der Bombenspezialisten, schafft es an Bord des Busses, in dem die Bombe tickt. Er versucht, die Situation unter Kontrolle zu bekommen. Als der Busfahrer durch einen Unfall angeschossen wird, muss der Fahrgast Annie Porter<sup>37</sup> das Steuer übernehmen.

### 4.2.1 Beschreibung der Szene

Der Bus mit allen Insassen rast über die Autobahn. Doch plötzlich erfahren sie, dass ein Stück von der Autobahn noch fehlt. In der Verzweiflung beschließt Jack, den Autobus über das fehlende Stück zu jagen: „Vielleicht gibt es ja ein Gefälle oder so was...“. Und so schafft es der Bus tatsächlich über das fehlende Stück Autobahn. Jack und Annie werden bejubelt.



Abbildung 29 – Screenshot aus „Speed“: Abflug über das fehlende Brückenstück

<sup>35</sup> Gespielt von Dennis Hopper; geboren am 17. Mai 1936, Dodge City, Kansas, USA

<sup>36</sup> Gespielt von Keanu Reeves; geboren am 2. September 1964, Beirut, Libanon

<sup>37</sup> Gespielt von Sandra Bullock; geboren am 26. Juli 1964, Arlington, Virginia, USA

#### 4.2.2 Schiefer Wurf

In Kapitel 3 haben wir uns bereits ausführlich mit der Theorie des schiefen Wurfes auseinandergesetzt. Wenden wir unser Wissen nun auf das vorliegende Fallbeispiel an.

Jack und Annie wollen einen Bus mit entsprechend hoher Geschwindigkeit über ein fehlendes Stück Autobahn bringen. Jack hofft auf „irgendein Gefälle“, welches jedoch so gut wie nicht existiert. Da man das Gefälle aus der Situation nicht genau herleiten kann, werden wir das Ergebnis für verschiedene kleine Winkel analysieren. Die Situation lässt sich wie folgt skizzieren:

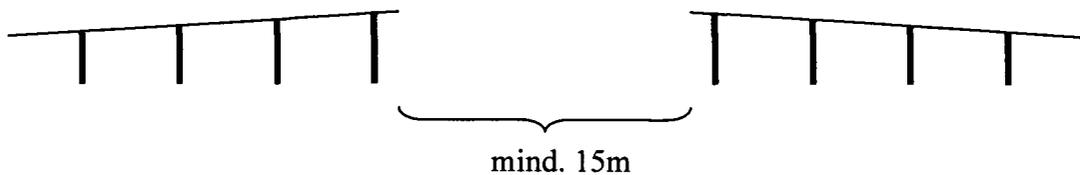


Abbildung 30 – Skizze der Brücke mit dem fehlenden Teilstück bei einem Anstiegswinkel von  $5^\circ$

Kurz vor dem Absprung hat der Bus eine Geschwindigkeit von 67 mph, das entspricht 107,83 km/h.

Als allererste, sehr vereinfachte Näherung reduzieren wir den Bus auf einen Massepunkt. Wir führen die Simulation für die Abschusswinkel  $0^\circ$ ;  $2,5^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $7,5^\circ$  und  $10^\circ$  durch – mit einem überraschenden Ergebnis:

Flugweite	Abschuss $0^\circ$	Abschuss $2,5^\circ$	Abschuss $5^\circ$	Abschuss $7,5^\circ$	Abschuss $10^\circ$
0	0	0	0	0	0
0,5	-0,0013668	0,02046107	0,04236707	0,06443576	0,0867542
1	-0,0054672	0,03818332	0,08197962	0,12609054	0,1706898
1,5	-0,0123012	0,05316677	0,11883764	0,18496434	0,25180682
2	-0,02186879	0,06541141	0,15294115	0,24105716	0,33010524
2,5	-0,03416999	0,07491723	0,18429013	0,29436901	0,40558508
3	-0,04920478	0,08168425	0,21288458	0,34489987	0,47824632
3,5	-0,06697318	0,08571246	0,23872452	0,39264976	0,54808898
4	-0,08747517	0,08700185	0,26180993	0,43761867	0,61511305
4,5	-0,11071076	0,08555244	0,28214082	0,4798066	0,67931852
5	-0,13667995	0,08136421	0,29971718	0,51921355	0,74070541
5,5	-0,16538274	0,07443718	0,31453903	0,55583952	0,79927371
6	-0,19681913	0,06477134	0,32660635	0,58968451	0,85502341
6,5	-0,23098912	0,05236668	0,33591915	0,62074853	0,90795453
7	-0,2678927	0,03722322	0,34247742	0,64903156	0,95806706
7,5	-0,30752989	0,01934095	0,34628117	0,67453362	1,00536099
8	-0,34990067	-0,00128014	0,3473304	0,6972547	1,04983634
8,5	-0,39500506	-0,02464003	0,34562511	0,7171948	1,0914931
9	-0,44284304	-0,05073873	0,34116529	0,73435392	1,13033126
9,5	-0,49341462	-0,07957625	0,33395096	0,74873206	1,16635084

10	-0,5467198	-0,11115257	0,3239821	0,76032922	1,19955183
10,5	-0,60275858	-0,1454677	0,31125871	0,7691454	1,22993423
11	-0,66153096	-0,18252165	0,29578081	0,77518061	1,25749804
11,5	-0,72303694	-0,2223144	0,27754838	0,77843484	1,28224325
12	-0,78727651	-0,26484597	0,25656143	0,77890808	1,30416988
12,5	-0,85424969	-0,31011634	0,23281995	0,77660035	1,32327792
13	-0,92395646	-0,35812552	0,20632395	0,77151164	1,33956737
13,5	-0,99639684	-0,40887352	0,17707343	0,76364195	1,35303823
14	-1,07157081	-0,46236032	0,14506839	0,75299129	1,36369049
14,5	-1,14947838	-0,51858593	0,11030883	0,73955964	1,37152417
15	-1,23011955	-0,57755036	0,07279474	0,72334701	1,37653926

Tabelle 6 – Simulation eines schiefen Wurfes mit verschiedenen Abschusswinkeln (alle Angaben in m)

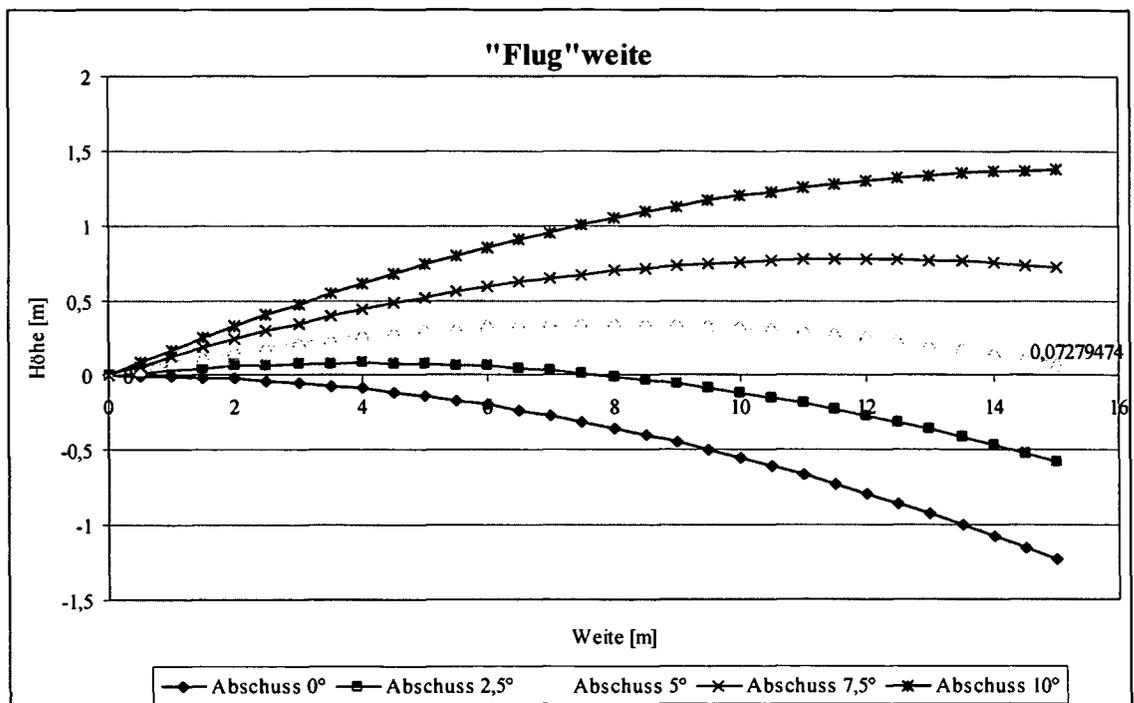


Abbildung 31 – Die Werte von Tabelle 6 im Diagramm dargestellt

Bereits bei einem Abschusswinkel von nur 5° würde bei gegebener Geschwindigkeit der Flug über das fehlende Teilstück der Autobahn klappen! Der im Diagramm angegebene Wert gibt die Flughöhe bei 15 Meter Entfernung und einem Abschusswinkel von 5° an.

Wir haben bei der Berechnung einige Vereinfachungen getroffen, unter anderem haben wir den Bus auf einen Massepunkt reduziert. Diese Vereinfachung wollen wir nun „rückgängig“ machen, indem wir anhand der bisherigen Ergebnisse eine

Flugkurve für ausgedehnte Objekte betrachten. Eine Flugbahn wie im Film gezeigt, widerspricht bei den gegebenen Voraussetzungen grundsätzlich jeder Logik.

Welche Voraussetzungen müssten für diese Flugbahn gegeben sein? Da der Bus in der Szene mit der Vorderachse regelrecht in die Höhe geschleudert wird, und aufgrund der Newtonschen Gesetze kein Körper ohne Krafteinwirkung eine derartige Bewegung vollzieht, muss auf den vorderen Teil des Busses eine nach oben gerichtete Kraft wirken. Der Bus wird jedoch nur vorne in die Luft geschleudert, nicht hinten. Diese Kraft wirkt also nicht auf die hintere Achse, sondern ausschließlich auf die vordere. Daher kann es sich nicht um eine Art „Sprungbrett“ in Form einer kleinen Abschussrampe, die vielleicht im Zuge der Bauarbeiten entstanden ist, handeln. Abgesehen davon sieht man im Anfahren die Rampe bis zum Ende – und es ist keine irgendwie geartete Unebenheit zu sehen. Woher kommt diese wundersame Kraft, die auf die Vorder-, jedoch nicht auf die Hinterachse des Busses wirkt?

Aus Abbildung 32 wird noch eine Tatsache sichtbar: Das fehlende Teilstück befindet sich in einer Rechtskurve. Der Bus befindet sich während der Anfahrt auf einer (annähernden) Kreisbahn. Wie man weiß, muss auf einen Körper, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, eine ständige Kraft wirken – die Zentripetalkraft. Solange der Bus mit zumindest einem der Räder den Boden berührt, kann diese nötige Zentripetalkraft aufrechterhalten

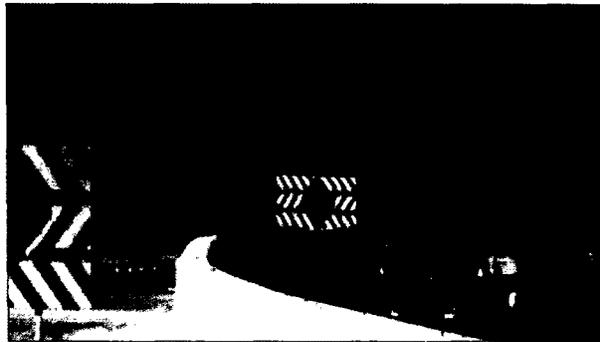


Abbildung 32 – Screenshot aus „Speed“:  
Anfahrtskurve zum fehlenden Teilstück aus der Sicht des Busses

werden. Befindet sich der Bus jedoch zur Gänze in der Luft, kann die Kraft nicht mehr wirken. Der Bus müsste daher gerade aus fliegen – das folgt erneut aus den Newtonschen Gesetzen. Aus diesem Grund wäre es dem Bus unmöglich, das andere Ende der Brücke unbeschadet zu erreichen.

Kommen wir nun zu den Größenverhältnissen, so weit und so gut sie sich aus der Szenerie herausfinden lassen. Zum Beispiel lässt sich die tatsächliche Länge des fehlenden Teilstücks nachprüfen. Auf folgendem Screenshot (Abbildung 33) aus dem Film wird die Länge eines Jeeps, der sich Mitte links unten am Bildrand befindet mithilfe eines Graphikbearbeitungs-Programms<sup>38</sup> zu 19 Pixel bestimmt (rote Linie beim Jeep). Diese rote Linie wurde nun in das fehlende Teilstück der Brücke kopiert. Dabei wurde jeweils die Mitte der Rampen bestimmt. Insgesamt kommt man so auf eine Länge von 99 Pixel (5 x 19 + 4 Pixel).

<sup>38</sup> Zum Beispiel: GIMP 2.2 (Kostenloser Download unter [www.gimp.org](http://www.gimp.org))

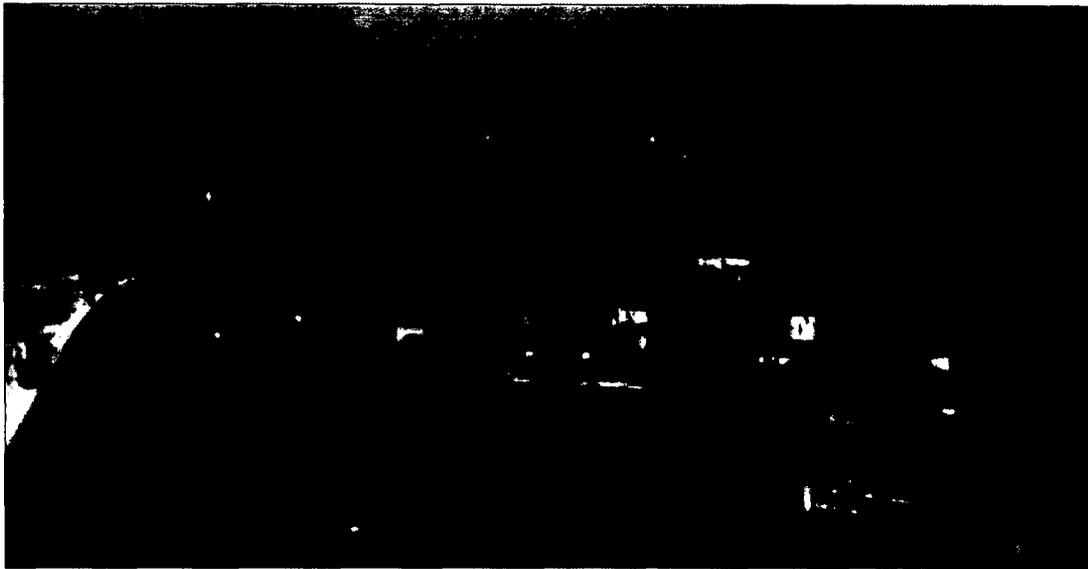


Abbildung 33 – Screenshot aus „Speed“: Größenabgleich der Länge des fehlenden Teilstücks in Vielfachen der Länge des weißen Jeeps (roter Pfeil); grün-blau: jeweilige Mitte der Brücke

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Länge des fehlenden Brückenteilstücks bei verschiedenen angenommenen Längenwerten des Jeeps:

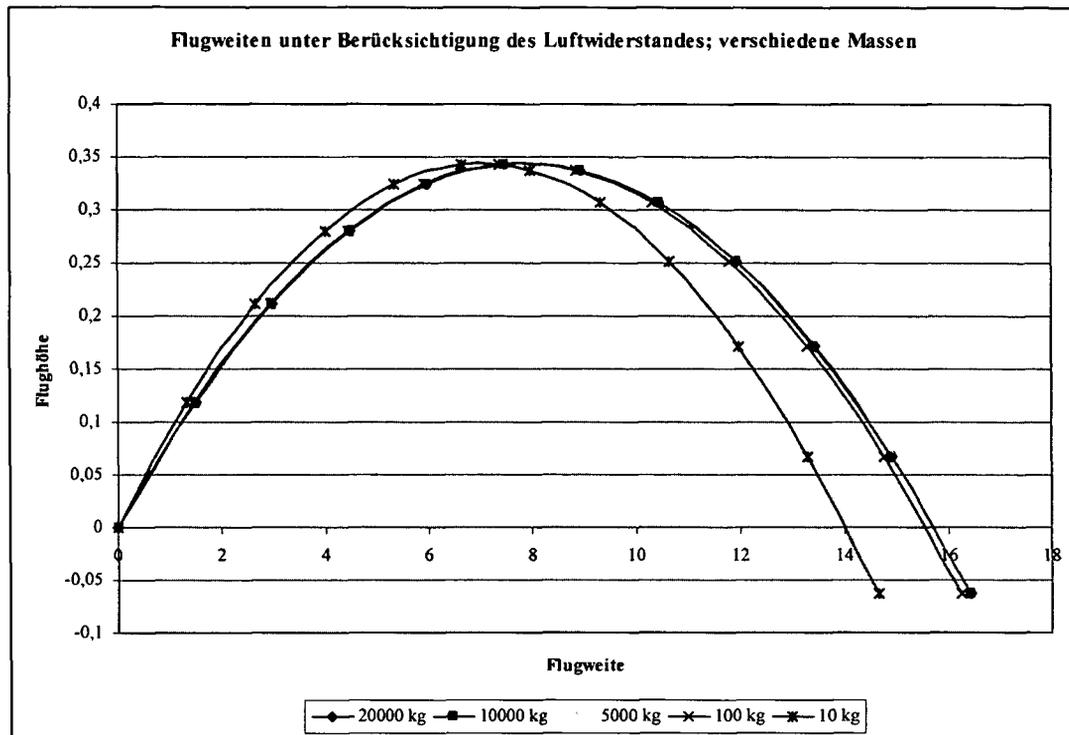
Länge des Jeeps [m]	daraus errechnete Länge des fehlenden Brückenteilstücks [m]
2,5	13,03
3,0	15,63
3,5	18,24

Tabelle 7 – Länge des fehlenden Teilstücks in Abhängigkeit der Fahrzeuglänge

Widmen wir uns im Ansatz noch dem Thema Luftwiderstand. Um den Luftwiderstand während der Flugphase in die Rechnung mit einbeziehen zu können, benötigen wir folgende Größen: Masse des Busses (angenommen mit 20.000 kg), Querschnittsfläche des Busses (angenommen mit  $6 \text{ m}^2$ ),  $c_w$ -Wert eines Busses (angenommen mit  $0,6^{39}$ ), den Wert für die Dichte von Luft (angenommen mit  $1,204 \text{ kg/m}^3$  bei  $20^\circ$  Lufttemperatur), Geschwindigkeit des Gegenwindes (angenommen mit  $29,8388 \text{ m/s}$ , Projektion der Busgeschwindigkeit auf die Horizontale).

Die Abschussgeschwindigkeit und den Abschusswinkel von  $5^\circ$  übernehmen wir aus den bisherigen Rechnungen.

<sup>39</sup> Aus Ref. [34]



**Abbildung 34 – Diagramm der Flugweite unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes für verschiedene Massen**

Die große Masse des Busses dominiert die Gleichung stark:

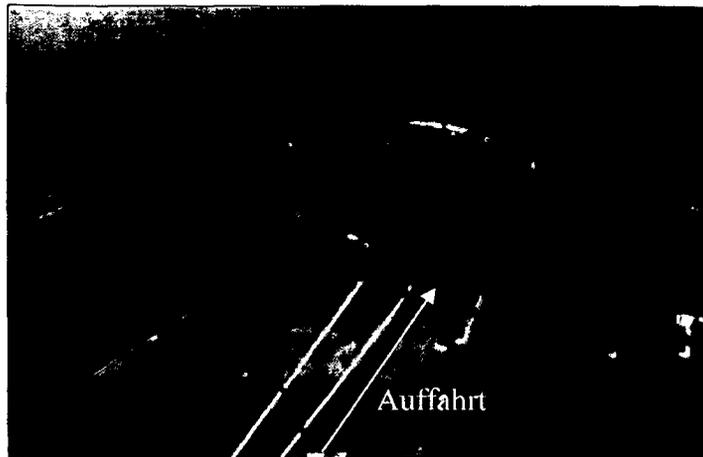
$$s(t) = v_0 t \cos \alpha - \frac{Ac_w \rho_m}{4m} v^2 t^2 \quad (4.27)$$

So geht auch aufgrund des relativ großen  $c_w$ -Wertes eines Busses der Luftwiderstand kaum in die Rechnung ein und kann quasi vernachlässigt werden. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass der Luftwiderstand bei gleich bleibenden Bedingungen erst bei einer Masse von lediglich 100 kg tatsächlich spürbar wird. Bei einer Masse von 10kg, welche sich mit einem  $c_w$ -Wert von 0,6 und einer Geschwindigkeit von rund 30 m/s durch die Luft bewegt, erreicht der Luftwiderstand einen nicht mehr vernachlässigbaren Wert.

Bemerkungen am Rande:

- Die Autobahn, auf der der Bus und die Begleitfahrzeuge unterwegs sind, ist offenbar noch nicht fertig gestellt (siehe Abbildung 35). Die große, lang gezogene Rampe links ist vor der Auffahrt abgesperrt. Die Fahrbahn gerade aus ist mithilfe von Fahrzeugen versperrt. Aber wenn man genau hinsieht, erkennt man auf der Rampe, die zum fehlenden Teilstück führt, noch eine Teilung der Fahrbahn. Leider versperrt ein Überkopf-Verkehrsschild die Sicht etwas, aber ein fehlendes Teilstück hier müsste trotzdem ersichtlich sein (ansonsten wäre es zumindest viel kürzer als das auf dem rechten Ast). Da es den Helden im Film lediglich darum geht, den Bus

auf einer konstanten Geschwindigkeit über 50 Meilen pro Stunde zu halten, drängt sich die Frage auf, warum man lieber über ein fehlendes Teilstück springt, als ein paar weiche Plastikhütchen-Absperrungen zu überfahren und dafür eine fertig gestellte Autobahn zu befahren...



- In der englischen Version ist von einem fehlenden Stück von „15 feet“ die Rede, was rund 4,572

Abbildung 35 – Screenshot aus „Speed“: Man erkennt deutlich eine intakte Straße, die von der Auffahrt zum fehlenden Teilstück abzweigt

Metern entspricht (1ft entspricht 0,3048m). Da kommt die Größe des Teilstücks in der deutschen Version bedeutend näher an die gezeigte Wirklichkeit.

Werfen wir zum Abschluss noch einen Blick auf die tatsächliche Szenerie. Auch wenn man noch nie in Los Angeles war, und obwohl es auf den ersten Blick wie eine Suche nach einer bestimmten Nadel aussieht, lässt sich das Autobahnkreuz in Los Angeles ausmachen. Und zwar macht man sich eine Szene zunutze, die kurz nach der jetzt analysierten Szene liegt: Gleich nach der glücklichen Landung verlässt der Bus auf Jacks Anordnung den Highway und biegt auf das Flughafengelände ab. Man sieht ein Überkopf-Verkehrsschild, das teilweise mit Holz verschlagen ist: „...ial Hwy“, sowie „LAX, Air Cargo, Terminals“.

Sucht man unter [www.us.map24.com](http://www.us.map24.com) nach „Los Angeles Airport“, wird man sofort fündig: Es gibt tatsächlich einen Highway neben dem Airport, und der Name passt zu dem abgeschnittenen Schild „Imperial Highway“. Kurz vor der Ausfahrt zum Highway lässt sich schließlich das diskutierte Autobahnkreuz ausmachen. Hier eine Luftaufnahme von obiger Website:

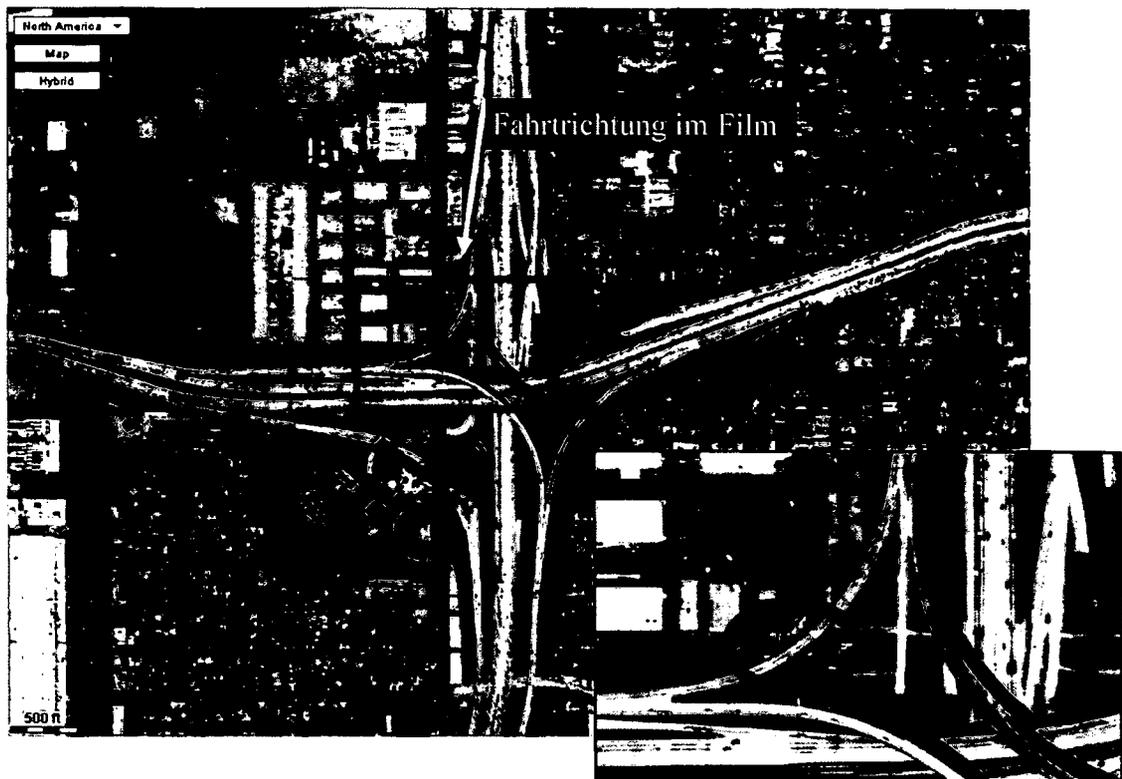


Abbildung 36 – Satellitenkarte von [www.us.map24.com](http://www.us.map24.com) von der vermutlichen Kreuzung; in der Vergrößerung ist die wahrscheinliche Stelle des fehlenden Straßenstücks gekennzeichnet [ac]

Auf den ersten Blick sieht es tatsächlich danach aus, als ob dies das gesuchte Autobahnkreuz ist. Doch betrachtet man die Situation etwas genauer, stellt man fest, dass einige kleine Details fehlen bzw. nicht übereinstimmen:

- Die Hauptstrecke der Fahrbahn geht in obiger Abbildung gerade durch das Hauptkreuz, in der Szene ist jedoch eine lang gezogene Linkskurve zu sehen.
- Der lang gezogene Ast, der zuoberst über das Autobahnkreuz führt, dreht sich in die andere Richtung: In obiger Abbildung verläuft die Kurve (aus Sicht des Autofahrers) nach links, während hingegen in der Szene die Straße eine Rechtskurve macht.

Auch die umliegenden sieben Autobahnkreuze in der Nähe des Los Angeles Airports weisen nicht dieselbe Topologie wie das im Film gezeigte Autobahnkreuz auf.

## 4.3 Apollo 13

### 4.3.1 Beschreibung der Szene

Ein Jahr nach der ersten Mondlandung vom 16. Juli 1969 sind Flüge zum Mond beinahe zur Routine geworden. Die Fernsehstationen übertragen die Live-Sendungen aus dem Weltraum praktisch nicht mehr. So tritt unbemerkt von der Öffentlichkeit beim Aktivieren der Sauerstofftanks ein Leck auf – Sauerstoff tritt aus, das Raumschiff wird manövrierunfähig. Die primär beabsichtigte Mondlandung tritt in den Hintergrund, alle Kraft wird darauf verwendet, die drei Astronauten wieder sicher zurück zur Erde zu bringen.

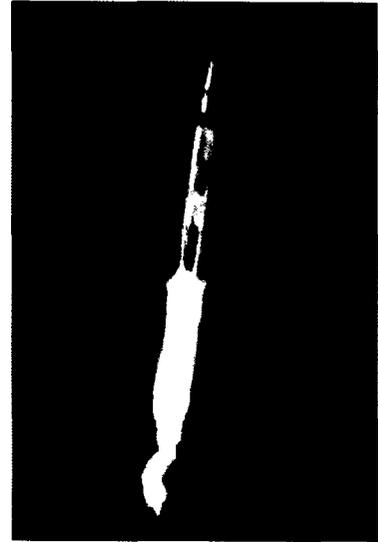


Abbildung 37 – Screenshot aus „Apollo 13“: Saturn V Rakete beim Start

### 4.3.2 Impulsbetrachtung

Eine aus physikalischem Aspekt interessante Szene befindet sich kurz nach dem Start, als die erste Stufe der Rakete abgesprengt werden soll. Die Explosion der Absprengung ist ziemlich heftig – und dementsprechend heftig werden die Astronauten im Inneren nach vorne geschleudert.

Einem unaufmerksamen Betrachter wird nichts Besonderes auffallen – es gibt eine Explosion im hinteren Teil der Rakete, daraus folgt, dass auch eine Kraft auf die drei Astronauten im Inneren der vorderen Kapsel wirken muss. Es dürfte auch verständlich sein, dass diese Kraft umso stärker ist, je stärker die Explosion ist.

Betrachten wir die Situation nun etwas genauer.

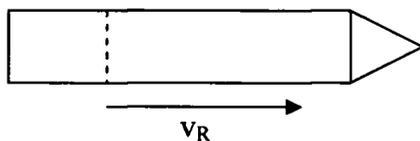


Abbildung 38 – Skizze der fliegenden Rakete; die erste Stufe ist links gekennzeichnet

Die hintere Stufe soll abgesprengt werden, während sich die Rakete vorwärts bewegt.

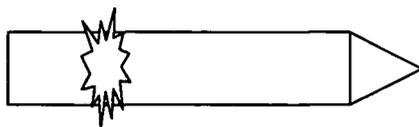


Abbildung 39 – Skizze der Rakete: Die erste Stufe wird abgesprengt

Bei der Sprengung tritt eine Kraft auf. Die Stufe wird nach hinten abgesprengt.



Abbildung 40 – Skizze der Rakete: Kraft bei der Absprengung

Aus dem dritten Newtonschen Gesetz folgt, dass eine Reaktionskraft desselben Betrags in umgekehrter Richtung auf die Raumkapsel wirkt.

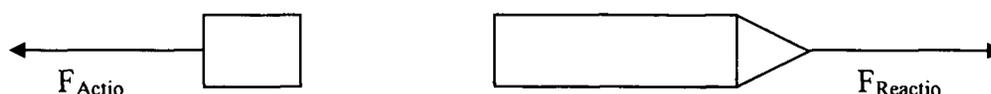


Abbildung 41 – Skizze der Rakete: Gegenkraft beim Absprengen

Die Raumkapsel wird in diesem Bild also nach vorne geschleudert, da die Kraft  $F_{Reactio}$  nach vorne zeigt.

Jetzt wechseln wir das Bezugssystem und begeben uns ins Innere der Raumkapsel. Dort wirkt die Kraft – wie soeben besprochen – nach vorne:

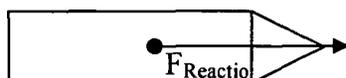


Abbildung 42 – Skizze der Rakete: Kraft auf Pilotenkapsel

Da es sich bei der Raumkapsel um ein abgeschlossenes System handelt, gilt im Inneren der Impulserhaltungssatz. Die Summe aller auftretenden Impulse ist konstant. Um den Impuls auszugleichen, muss auf die Körper im Inneren der Kapsel eine Kraft in entgegengesetzter Richtung wirken.

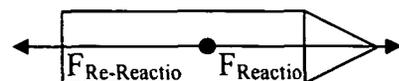


Abbildung 43 – Skizze der Rakete: Kraft und Gegenkraft bei der Absprengung in der Pilotenkapsel

Summa summarum: Die Astronauten müssten nach hinten geschleudert werden, und nicht wie im Film gezeigt nach vorne.

Man kann die Situation vergleichen mit Insassen eines Autos. Ein Fahrzeug mit Insassen steht an einer Kreuzung an einer roten Ampel, als plötzlich ein unachtsamer Autolenker von hinten auffährt. Das stehende Auto wird plötzlich nach vorne beschleunigt ( $F_{Reactio}$  nach obiger Beschriftung). Da die Insassen (mehr oder weniger) Masse aufweisen, verharren sie nach dem Trägheitsprinzip (Newtonsches

Gesetz) und werden so nach hinten in die Sitze gepresst (welche sich natürlich mit dem Auto nach vorne bewegen). Genau in diesem Fall kann eine Kopfstütze lebensrettend sein.



**Abbildung 44 – Screenshot aus „Apollo 13“: Ein Astronaut wird bei der Abspregung der ersten Stufe fälschlicherweise nach vorne geschleudert**

In Kapitel 3 finden sich detaillierte Hintergrundinformationen über die Mission Apollo 13 wieder. Der gleichnamige Film hält sich teilweise relativ genau an die wirklichen Vorfälle, sogar manche Phrasen entsprechen den historisch gesprochenen Sätzen (in der englischen Version).

## **4.4 Twister**

### **4.4.1 Beschreibung der Szene**

Im Film Twister spielt Bill Paxton<sup>40</sup> den Meteorologen William Harding, der in seine Heimat Oklahoma zurückkehrt, um die Scheidung von seiner Frau vollziehen zu lassen. Er arbeitet jetzt als Wetteransager im Fernsehen. Früher als Tornadojäger entwickelte er mit seinem Team eine neue Technologie namens Dorothy, mit deren Hilfe Tornados mit noch nie da gewesener Genauigkeit erforscht werden können. Auch sein Rivale, der ihm die Technologie gestohlen hat, wetteifert um den ersten Erfolg.

---

<sup>40</sup> Geboren am 17. Mai 1955, Fort Worth, Texas

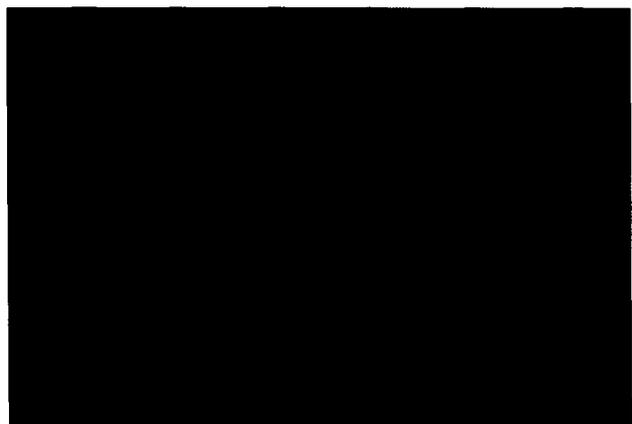


**Abbildung 45 – Screenshot aus „Twister“: Links im Bild ist der Tornado zu sehen, im gelben Jeep sitzen die beiden Protagonisten des Films**

Harding schließt sich dem Team um seine Frau an, und gemeinsam jagen sie hinter Tornados her, um ihre neue Technologie endlich erfolgreich einsetzen zu können. Dabei kommen sich beide wieder etwas näher. Schlussendlich geraten die beiden, nachdem sie eine Evakuierung aufgrund einer Tornadowarnung ignorieren, mitten in das Auge eines Tornados. Dorothy wird erfolgreich gestartet, die beiden überleben das Abenteuer.

#### **4.4.2 Geschwindigkeit**

Nach einer brandneuen Tornadowarnung nimmt die Crew um Harding die Verfolgung auf. Dabei fahren sie unter schleifenden Reifen in einen Feldweg ein und hinterlassen deutlich sichtbare Gummispuren am Asphalt. Die nachfolgende Konkurrenz sieht die Schleifspuren vor sich. Obwohl die Verfolgergruppe nicht gerade langsam fährt, vergehen geschlagene neun Sekunden, bis sie von der ersten Sichtung der Bremsspuren bis zur Abbiegung gelangen.



**Abbildung 46 – Screenshot aus „Twister“: Bremsspuren aus der Sicht der Verfolger**

Eine kleine Rechnung: Beide Teams rasen dem Tornado nur so nach. Die Geschwindigkeit würde man wahrscheinlich mit mindestens 80km/h schätzen. Doch die Geschwindigkeit lässt sich (annäherungsweise) auch aus dem Film selbst gewinnen, und zwar wie folgt: Als die Kameraperspektive den Verfolgungstrupp zeigt, kann man in der Mitte der Straße eine keilförmig zulaufende Schwärzung erkennen. Zählt man die Frames des Films, die dieser schwarze Keil von der Hinterachse des ersten bis zur Vorderachse des zweiten Autos braucht, so kommt man auf 15 Frames. Der Film ist mit einer Bildwiederholffrequenz von 25 Frames per Second (fps) erstellt. Für 15 Frames vergehen also dabei

$$\frac{15 \text{ Frames}}{25 \frac{\text{Frames}}{s}} = 0,6 s \quad (4.28)$$

Jetzt muss man noch den Abstand der beiden Radachsen ermitteln: Der Anhänger des ersten Wagens hat eine Länge von ca. 3 Metern (aus einem späteren Shot ersichtlich), den Abstand Anhänger – zweiter Van schätzt man auf zusätzliche fünf Meter. Dies ergibt eine Strecke von 8 Metern. Daraus lässt sich eine Geschwindigkeit von 13,3 Metern pro Sekunde bzw. ca. 50 km/h errechnen. (Diese Rechnung ist das Ergebnis sehr ungenauer Ermittlungsmethoden – aber sie dürfte noch deutlich unter der im Film dargestellten, „gefühlsmäßigen“ Geschwindigkeit liegen.)

Gemäß der Beziehung

$$s = v \cdot t \quad (4.29)$$

legen sie in neun Sekunden eine Strecke von 450 Metern zurück. Versuchen Sie das nächste Mal beim Autofahren, in einer Entfernung von 450 Metern Gummispuren am Asphalt zu erkennen – ebenso stimmt die Perspektive im Film nicht, als man die Reifenspuren vom Vordersitz des ersten Verfolgerwagens sieht. Wären die Verfolger tatsächlich so nahe an den Schleifspuren, sodass diese sichtbar wären, wären sie in der zwischenzeitlichen Diskussion über ihre Route längst an der besagten Kreuzung vorbeigefahren. An dieser Stelle wird ein völlig falsches Gefühl von Zeit und Geschwindigkeit vermittelt.

#### 4.4.3 Die Fahrt durch den Graben

Hardings Frau veranlasst ihn plötzlich, in einen Graben neben der Straße zu fahren, um „den Tornado ja nicht zu verpassen“.

Die Tachoanzeige misst einen Wert von 75 Meilen pro Stunde direkt vor der Fahrt in den Graben. Umgerechnet bedeutet dies eine Geschwindigkeit von etwas über 120 Stundenkilometern. Ist es möglich, in einem erdigen Wassergraben mit 120 km/h zu fahren?

Als sie die Brücke, die den Graben schließlich versperrt, zum ersten Mal sehen, ist der Wassergraben ganz flach, erdig und ohne Wasser. Nach dem Einleiten des

Bremsmanövers ist der Graben plötzlich voller Wasser – und die Bremsung endet in einem Crash mit einem hölzernen Brückenpfeiler.

Die Frage aller Fragen in dieser Szene: Wieso der Graben, wenn zwei Meter daneben parallel dazu eine vergleichsweise gut präparierte Straße verläuft, wie man aus der Perspektive von hinten in Abbildung 47 deutlich sieht? Überflüssig die Bemerkung über Funk „Bill, Jo, wo seid ihr? Wir haben keinen Blickkontakt mehr!“, wenn der Truck höher ist als der Graben, und links und rechts der Dreck nur so spritzt. Die anderen Trucks, die auf der asphaltierten Straße fahren, müssten in der Zwischenzeit wesentlich schneller vorangekommen sein. Noch überflüssiger ist JoAnnes Ausruf „Sieh zu, dass du hier rausfährst!“, kurz nachdem sie ihren Ex-Mann zu dieser Spritztour in den Graben gedrängt hat.

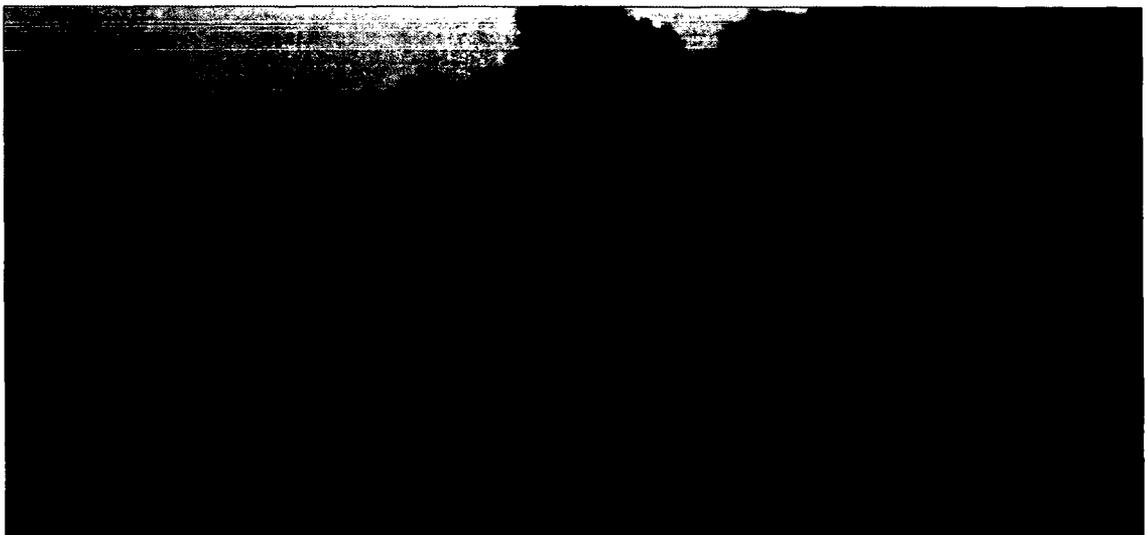


Abbildung 47 – Screenshot aus „Twister“: Die erdige Straße verläuft parallel zur asphaltierten Straße

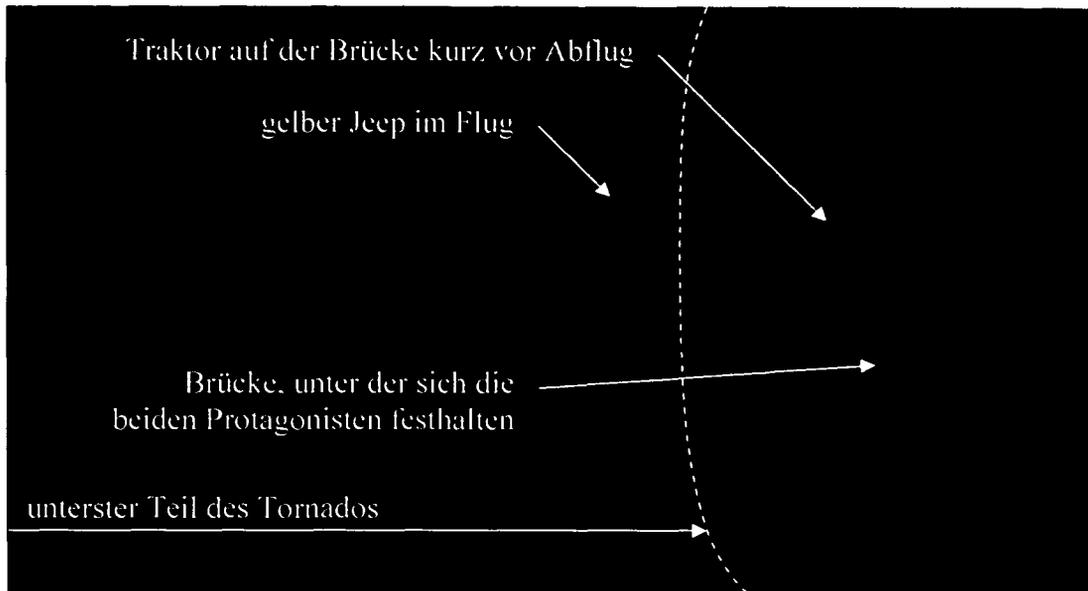
#### 4.4.4 Tornado

Nach dem Crash retten sich die beiden Hauptdarsteller aus dem Auto unter die Brücke, wo sie sich an einem Pfeiler festhalten. In den folgenden dramatischen Sekunden wird gezeigt, wie der Tornado am Auto zerrt und rüttelt. JoAnne reißt sich plötzlich los und will unter der Brücke hervorkriechen. Sie will um jeden Preis den Tornado sehen. Nur mit Mühe kann sie ihr Ex-Ehemann wieder zurück an den „sicheren“ Brückenpfeiler bringen.

Der Tornado bewegt das Auto ein Stück zurück, und lässt es anschließend den Brückenpfeiler rammen.

Nach und nach werden die genagelten Bretter der hölzernen Brückenaufgabe vom Sturm herausgezogen. Schließlich hebt der Tornado sogar den Geländewagen und einen Traktor in die Luft und trägt beides mit sich fort. Die beiden halten sich währenddessen brav am Brückenpfeiler fest.

Wo der Traktor gestanden hat? Mitten auf der Brücke...



**Abbildung 48 – Screenshot aus „Twister“:** In der Abbildung sind der Tornado, der Jeep sowie der Traktor und die Brücke eingezeichnet. Die beiden Protagonisten des Films halten sich unterhalb dieser Holzbrücke an einem Pfeiler fest.

Die gezeigte Szene strotzt nur so vor Angst, Panik und furchterregend aufregenden Windstärken. Betrachten wir sie daher etwas näher:

Beginnen wir mit der Aufnahme des Tornados während der rasanten Anfahrt im Wassergraben. Es wird gezeigt, wie der Wirbelsturm ein Gutshaus wortwörtlich zerstaubt und mit sich reißt. Nach der F-Skala der Zerstörung muss es sich dabei mindestens um Kategorie F5 handeln (Zerstörung von Holzhäusern). Das impliziert Windstärken von wenigstens 116,5 Metern pro Sekunde, bzw. 419 km/h.

Wie stark ist so ein Wirbelsturm? Hier geht es vor allem um die Sogkraft, die ein Wirbelsturm nach oben ausübt. Die Kraft, die ein Gutshaus in Stücke reißt oder die einen Nagel aus einem Brett herausholt, ist ohne Hilfsmittel schwer zu bestimmen. Aber es geht leichter: Erstens – das Gewicht des Trucks ist über den Daumen gepült mit zwei Tonnen anzulegen. Die Sogkraft des Tornados muss demnach mindestens 19.600 Newton betragen. Der Traktor, der ebenfalls durch die Luft geschleudert wird, ist sicher schwerer. Da man nicht erkennen kann, um welches Modell es sich handelt, kann man von einem Minimalgewicht von zumindest drei Tonnen ausgehen. Die Sogkraft vergrößert sich daher auf 29.400 Newton.

Als sich die beiden unter der Brücke festhalten, halten sie mit relativ geringer Mühe also einer Kraft von rund 30.000 Newton tapfer stand.

Betrachtet man den Schlauch des Tornados etwas genauer, merkt man, dass diese gewaltige Kraft offenbar nur direkt in der Windhose selbst herrscht. Scharf abgegrenzt hört die Wirkung schlagartig auf – obwohl die Teile des Hauses zum Beispiel am Rand des Tornados herumwirbeln.

Eine Auffälligkeit am Rande: Der gelbe Truck von JoAnne ist ca. 30 Sekunden lang in der Luft. Der Traktor, der nur wenige Augenblicke später in die Lüfte gehoben wird, liegt nach weniger als 20 Sekunden bereits wieder neben der Straße – und das vergleichsweise weit weg vom Ort des Geschehens.

## 4.5 Contact

### 4.5.1 Beschreibung der Szene

Die Wissenschaftlerin Elli Arroway<sup>41</sup> ist überzeugt, dass die Erde nicht der einzige Planet ist, der intelligentes Leben hervorgebracht hat. Ergebnislos suchte sie ihr ganzes Leben bereits nach außerirdischem Leben. Nach vielen, teils sehr enttäuschenden Rückschlägen scheint sie jedoch an einem Sommerabend plötzlich das große Los gezogen zu haben: Bei einem Scan am Very Large Array im Bereich Wega im Sternbild Leier empfängt sie unerwartet ein Signal. Außer sich vor Freude, dass sie endlich gefunden hat, wonach sie immer gesucht hat, rast sie ins Kontrollzentrum zu ihren beiden Mitarbeitern. Diese verfolgen das Signal mithilfe der Satelliten. Das Signal ist bereits laut und deutlich aus großen Lautsprechern zu hören, als es plötzlich verschwindet. Nach einem Moment maßloser Enttäuschung beginnt das Signal wieder von vorne – und zwar zu zählen: poch – poch, poch – poch, poch, poch – poch, poch, poch, poch, poch usw. Rasch erkennen die Wissenschaftler die Zahlen als Primzahlen. Ebenso entdecken sie ein zweites Signal, dass offenbar Informationen übermittelt. Schleunigst wird die Regierung informiert. Als diese eintrifft, beginnt das Chaos immer größer zu werden, bis die Wissenschaftler das Informationssignal zu einem Bild Adolf Hitlers enträtseln können. Das Bild zeigt Adolf Hitler bei der ersten Live-Übertragung einer Fernsehsendung im Rahmen der Eröffnungsrede der olympischen Spiele im Jahre 1936 in Berlin.

Die Wissenschaftler finden dafür folgende plausible Erklärung: Die Signalwellen der Übertragung dieser Rede verließen unseren Heimatplaneten und pflanzten sich bis zu dem fremden Planeten mit intelligentem Leben fort. Diese Bewohner nehmen mit der Erde Kontakt auf, indem sie diese empfangenen Wellen wieder zurückschicken.

---

<sup>41</sup> Gespielt von Jody Foster, geboren am 19. November 1962, Kalifornien, USA

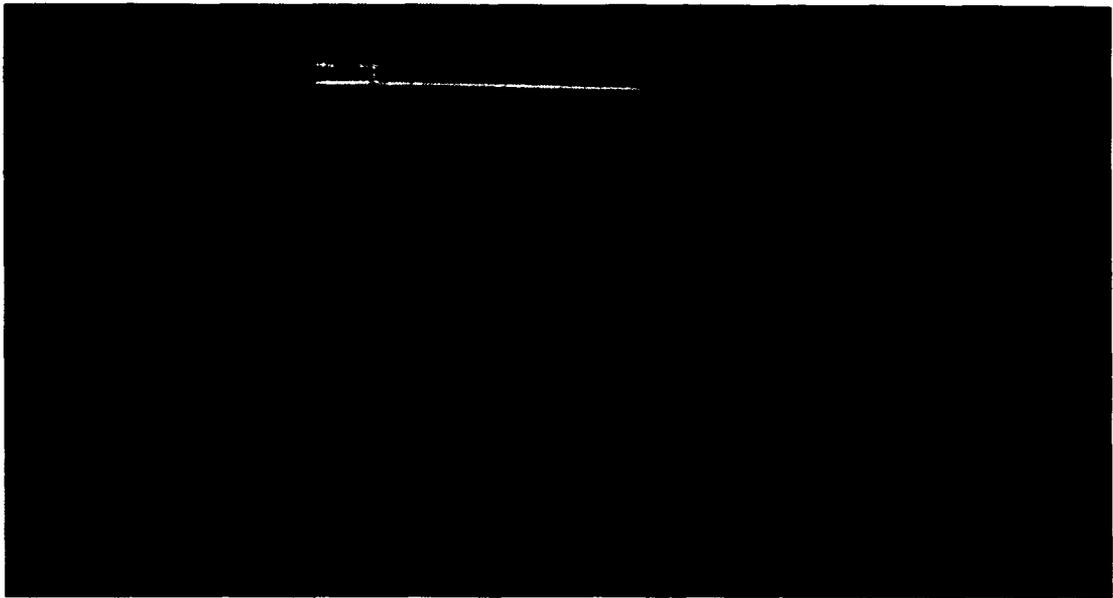


Abbildung 49 – Screenshot aus „Contact“: Abbildung des empfangenen Signals am Computer

Über Umwege wird das Signal schließlich endgültig entschlüsselt – es enthält Informationen zum Bau einer geheimnisvollen Maschine. Deren Zweck ist es offenbar, einen Erdenbewohner zu jenem geheimnisvollen, Leben beheimatenden Planeten zu bringen. Schnell werden die Gelder aufgetrieben, und unter großem Tohuwabohu wird diese monströse Maschine gebaut. Gleichzeitig findet ein Auswahlverfahren statt, wer die Maschine besteigen darf. Elli nimmt ebenfalls daran teil, aber ein Jury-Mitglied verhindert dies – zum Schutz von Elli, denn er hatte sie lieb gewonnen und will sie nicht verlieren. Trotz ihrer unendlichen Enttäuschung ist sie beim Start im Kontrollzentrum dabei. Kurz vor dem Start erblickt sie via Videokontrolle einen als Mechaniker getarnten Saboteur. Sofort werden die Wachen alarmiert, doch sie kommen zu spät. Eine Bombe zündet, und die gesamte, milliarden schwere Maschine wird zerstört.

Was Elli zu diesem Zeitpunkt nicht weiß: Am anderen Ende der Welt wurde unter strengster Geheimhaltung eine zweite, identische Maschine erbaut – zur Sicherheit. Da der Kandidat der ersten Wahl bei dem Sabotageakt ums Leben kam, war nun Elli Arroway an der Reihe, in die Maschine zu steigen.

Diesmal geht alles gut, und für Elli startet eine faszinierende Reise durch Wurmlöcher. Wild reist sie durch die Weiten des wunderschönen Kosmos, zu verschiedenen Sternen und trifft den Geist ihres verstorbenen Vaters. Schließlich erwacht sie wieder auf der Erde – wo ihr die Verantwortlichen der Mission erklären, das Experiment habe fehlgeschlagen. Die Kugel, in der Elli die Reise angetreten war, sei innerhalb weniger Sekunden lediglich durch das entstandene Energiefeld hindurch ins Wasser gefallen. Als Elli das Erlebte erzählt, glaubt ihr niemand. Erst ganz am Schluss des Films bemerkt jemand, dass das Aufnahmegerät, dessen Daten zwar unleserlich waren, nicht bloß die wenigen Sekunden des Falls, sondern mehrere Stunden lang aufgenommen hat.

#### 4.5.2 Analyse der Szene

- Als Elli das Signal entdeckt, packt sie sofort ihren Laptop zusammen, ohne noch einen weiteren Blick darauf zu werfen. Während sie alles in ihr Auto wirft und losfährt, ruft sie laufend die Daten der Rektaszension und Deklination durch das Funkgerät. Woher hat sie die exakten Daten, wenn sie nicht einmal einen Blick auf ihren Laptop geworfen hat? Die Rektaszension, die Elli über Funk durchgibt, weicht um 0,1 Bogensekunde von der tatsächlichen Position der Wega ab, die Deklination hat in der Szene den richtigen Wert.

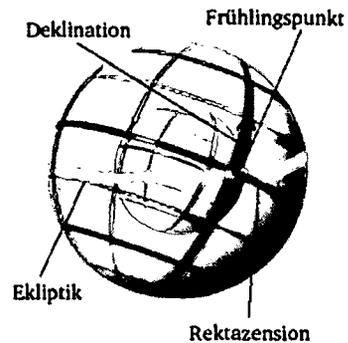


Abbildung 50 – Erklärung zu den Himmelskoordinaten Deklination und Rektaszension [ad]

- Stichwort „Teilmodularisierte, wandernde Pulse! Amplitudenmoduliert!“. Der Begriff Amplitudenmodulation lässt sich leicht erklären, es ist dies ein Modulationsverfahren, bei dem die Amplitude einer hochfrequenten Trägerwelle in Abhängigkeit vom zu übertragenden Signal verändert wird (im Gegensatz zur Frequenzmodulation, wo die Frequenz und nicht die Amplitude verändert wird, wie der Name sagt). Aber der Begriff „teilmodularisiert“ – noch dazu im gleichen Atemzug wie amplitudenmoduliert – ist wohl die Notwendigkeit, in möglichst kurzer Zeit mit möglichst vielen gut klingenden Fremdwörtern herum zu werfen. Ein vordergründiger Sinn ergibt sich dadurch nicht, egal ob die Pulse wandern oder nicht.

- Bei jedem Blick der Kameras auf die Antennen bewegen sich diese sichtbar schnell. Können sich Antennen, die auf das Genaueste justiert werden müssen, wirklich so schnell bewegen?

- Was haben Spionage-Satelliten üblicherweise an sich? Richtig – man sieht sie nicht. „Wie steht’s mit den Spionen? Na, wo steckt ihr alle Jungs, wo schwirrt ihr rum? Na also...“

Und auch kein Computerprogramm spürt alle Spione auf. Trotzdem wird innerhalb kürzester Zeit eine dreidimensionale Karte mit allen Spionagesatelliten in ihrer jeweiligen Position angezeigt. Und angenommen, die Daten wären tatsächlich verfügbar (siehe Abbildung 51), so könnte man aus dieser Darstellung eine Interferenz mit einem Satelliten nicht sofort ausschließen.



Abbildung 51 – Screenshot aus „Contact“: Soeben erstellte Karte der Spionagesatelliten...

- Der Stern Wega, der Hauptstern des Sternbildes Leier, befindet sich 25,3 Lichtjahre von uns entfernt. Nimmt ein Signal Kurs auf die Wega, benötigt es daher 25,3 Jahre, bis es dort aufgefangen werden kann. Angenommen, jemand fängt das Signal auf Wega tatsächlich auf und schickt es wieder zurück, würde es erneut 25,3 Jahre unterwegs sein. Insgesamt ergibt sich so eine Laufzeit von 50,6 Lichtjahren. Wenn das Signal, sowie im Film genannt, von der Eröffnungsrede der olympischen Spielen im Jahre 1936 stammt, müsste dieses Signal etwa im Jahre 1987 wieder zur Erde zurückgekehrt sein (wenn man den Wega-Einwohnern auch noch etwas Zeit gibt...). Wir befinden uns jedoch rund um das Jahr 1997. Was machten die Wega-Einwohner 10 Jahre lang mit dem Nachrichtensignal? Es könnte möglich sein, dass sie so lange brauchen, um das Signal ihrerseits zu entschlüsseln.
- Im Film wird für den Strahlenfluss ein Wert von „über 100 Jansky“ angegeben. Im Vergleich dazu liefert Ori A im Orionnebel von Natur aus einen Strahlenfluss von 382 Jy.

#### 4.5.3 Außerirdisches Leben

Sucht man auf [www.google.at](http://www.google.at) nach diesem Begriff, erhält man 127.000 Treffer. Sucht man nach dem englischen Pendant „extraterrestrial life“, erhält man 2,75 Millionen Treffer. Um diesen Begriff ranken sich wilde Spekulationen direkt neben begründeten Annahmen.

Unter außerirdischem Leben versteht man grundsätzlich jede Form von Leben außerhalb unserer Erde. Die exobiologische Abteilung der NASA<sup>42</sup> geht davon aus, dass auf den Planeten Mars sowie auf größeren Monden wie z.B. Europa Leben existieren kann.

Michael A. Meyer, Programmmanager von NASA Exobiology, beschreibt die Ziele der Abteilung folgendermaßen<sup>43</sup>: „Das Ziel des NASA Exobiologie Programms ist, Ursprung, Evolution und Verbreitung von Leben im Universum zu verstehen. Die Forschung konzentriert sich auf die Nachverfolgung der Wege, welche die biogenen Elemente vom Ursprung des Universums durch die großen Epochen in der Entwicklung genommen haben. Die Epochen sind 1. die kosmische Evolution der biogenen Verbindungen, 2. biotische<sup>44</sup> Evolution, 3. frühe Evolution des Lebens und 4. die Evolution des fortgeschrittenen Lebens.“

Auch außerhalb unseres Sonnensystems wird nach Planeten gesucht, auf denen sich Leben entwickeln kann. Diese so genannten Exoplaneten sind jedoch (noch) nicht direkt beobachtbar. Vielmehr wird das Licht dieser Planeten auf bestimmte Molekülverbindungen untersucht, die nur durch Leben dauerhaft erzeugt werden können. Ziehen Planeten vor ihren Sonnen vorbei, verdunkeln sie das Licht dieser außerdem geringfügig. Periodisch auftretende Helligkeitsschwankungen von Sonnen sind somit ein Hinweis auf einen Planeten.

---

<sup>42</sup> <http://exobiology.arc.nasa.gov>

<sup>43</sup> übersetzt aus Ref. [35]; erster Teil

<sup>44</sup> Unter „biotisch“ versteht man alle Umweltfaktoren, an denen Lebewesen erkennbar beteiligt sind.

Abgesehen davon wird nach Signalen außerirdischer Zivilisationen gesucht. Ein Beispiel dafür ist das SETI-Projekt<sup>45</sup>. Um die immens großen Datenmengen schneller verarbeiten zu können, wurde das Programm SETI@Home<sup>46</sup> ins Leben gerufen. Mit einem kleinen Hilfsprogramm, das von jedem kostenlos aus dem Internet heruntergeladen werden kann, wird ein lokaler Computer Teil eines großen Netzwerks. Wenn sich dieser im Leerlauf befindet, wird das Programm aktiv und beginnt Berechnungen.

Nach aktuellem Stand werden die großen Raumfahrtorganisationen die Suche nach außerirdischem Leben verstärken. 2008 soll die Eddington-Mission der ESA starten. Mithilfe eines Teleskops soll die Helligkeit von Sternen beobachtet werden. Schwankungen in der Helligkeit können, wie bereits erwähnt, auf vorüberziehende Planeten schließen lassen.

Am 27. Jänner 2006 startete von der russischen Raumfahrtbasis Baikonur in Kasachstan der Satellit COROT. Die Hauptaufgabe dieses Satelliten wird die Suche nach extrasolaren Planeten sein. Es ist das erste Projekt, das dazu im freien Weltraum nach Exoplaneten sucht, bisher geschah dies nur von der Erde aus.

Voraussichtlich im Jahr 2008 folgt die Raumsonde „Kepler“ von der NASA. Im Jahre 2012 soll eine Sonde namens Gaia<sup>47</sup> von der ESA starten. Ihr Hauptziel ist es, eine Milliarde Sterne mit großer Genauigkeit zu kartographieren und zu vermessen.

## 4.6 Deep Impact

Die gewählte Szene befindet sich ganz zu Beginn des Filmes.

### 4.6.1 Beschreibung der Szene

Eine Gruppe junger Hobbyastronomen betrachtet den Sternenhimmel über Richmond in Virginia. Ein Junge namens Beiderman entdeckt dabei einen neuen „Stern“. Wie sich jedoch bald herausstellt, ist dies kein Stern, sondern ein Komet, der sich auf Kollisionskurs mit der Erde befindet. Der Astronom vom Dienst am Observatorium in Tucson (Arizona) scheitert beim Alarmieren der Behörden an der fehlenden

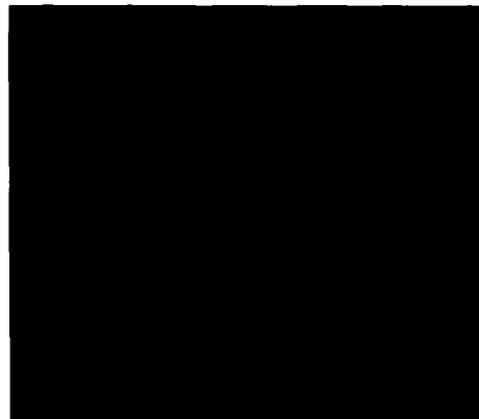


Abbildung 52 – Screenshot aus „Deep Impact“: So sieht der Protagonist des Films, Leo Beiderman, den todbringenden Kometen durch sein Teleskop (unten, mitte links)

<sup>45</sup> SETI ist ein Akronym für Search for ExtraTerrestrial Intelligence

<sup>46</sup> SETI@home ist nur eines von mehreren „@home“ Projekten. Verwaltet werden diese über die Software „Boinc“. Diese kann kostenlos über <http://boinc.berkeley.edu/> heruntergeladen werden. Anschließend meldet man sich für ein Projekt, zum Beispiel „SETI@home“ an, und die Software Boinc übernimmt alle weiteren Aufgaben. Befindet sich ein Computer länger im Leerlauf, erscheint überdies ein aufschlussreicher Bildschirmschoner, sofern aktiviert.

<sup>47</sup> Gaia steht für „Globales Astrometrisches Interferometer für die Astrophysik“ – die Messmethode hat sich in der Zwischenzeit zwar verändert, der Name blieb jedoch derselbe.

Netzwerkverbindung. So springt er ins Auto und rast auf schnellstem Weg in die nächste Stadt. Leider kommt er bei einem Unfall mit einem LKW ums Leben.

#### 4.6.2 Entdeckung eines Kometen

„Wie heißt dieser besonders helle [Stern]?“ Abgesehen davon, dass eine so gestellte Frage von einem Astronomen nicht wirklich sinnvoll, da sehr ungenau, erscheint, beantwortet der Junge namens Beiderman die Frage offenbar richtig mit „Mizar“. Direkt neben Mizar befindet sich Alkor, beide zusammen ergeben den mittleren, linken Punkt der Deichsel des großen Wagens dar. Diese beiden Sterne gelten als „Augenprüfer“, da man sie mit freiem Auge getrennt sehen kann (bzw. können sollte). Mizar für sich ist eigentlich ein Doppelsternsystem, Alkor sogar ein Dreifachsystem. Der dritte Stern, um den sich die Diskussion in dieser Szene dreht, ist Megrez. Megrez befindet sich ca. eine Bogenstunde östlich von Alkor und Mizar. Der „Stern daneben“ jedoch, den der Astronom von Leo Beiderman nicht kennt, befindet sich laut Angaben des Jungen rund 10 Grad weiter südlich – ob von Mizar oder Megrez, das wird nicht gesagt. 10 Grad sowie eine Bogenstunde stellen am Sternenhimmel deutliche Distanzen dar, sodass sie selbst von Hobbyastronomen unterschieden werden können sollen.

Die Antwort „Das ist wahrscheinlich ein Satellit.“ klassifiziert den Astronomen auch nicht gerade als solchen. Ein Satellit – ist es nicht gerade ein geostationärer – bewegt sich in wenigen Minuten über den Nachthimmel. Ein solcher Satellit ist, wenn er von der Sonne angestrahlt wird, deutlich sichtbar.

Da sich der große Bär nicht über dem Äquator befindet, lässt sich ein geostationärer Satellit ausschließen. Und eine Bewegung müsste auch bei dem kurzen Blick durch Beidermans Teleskop sichtbar sein. Weiters kommt hinzu, dass der Lichtfleck, der durch das Teleskop sichtbar ist, im Vergleich zu Alkor, Mizar und Megrez vergleichsweise groß und vor allem verschwommen ist. Ein Satellit ist also auszuschließen.

Bereits im Blick durch Beidermans Teleskop erkennt man im Ansatz die Gestalt eines Kometen. Ein Astronom müsste bei einem solchen Anblick schnell aufmerksam werden.

#### 4.6.3 Fotografie des Kometen

Dr. Wolf am „Adrian Peak Observatory“ in Tucson erhält das Foto von Leo Beiderman und tippt die Koordinaten in seinen Computer ein. Daraufhin liefert ihm

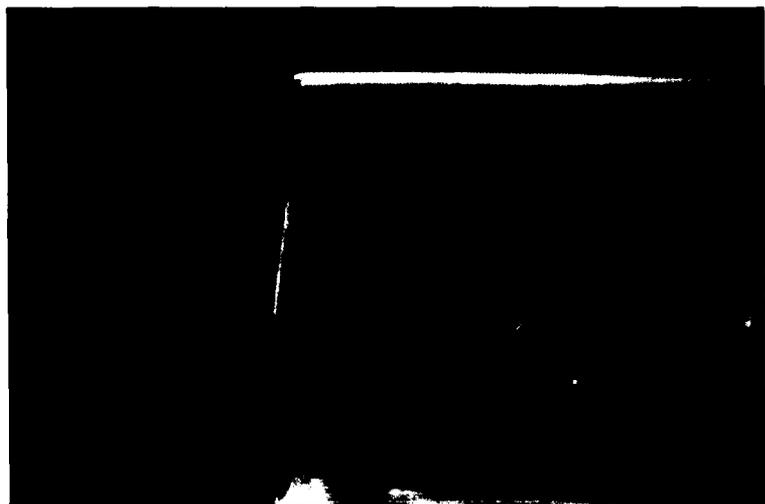


Abbildung 53 – Screenshot aus „Deep Impact“: An die Sternwarte gesandte Photographie der vorigen Abbildung

das Teleskop ein scharfes Bild von diesem noch unbekanntem Kometen.

Beginnen wir mit der Photographie, die Dr. Wolf von Leo Beiderman bekommt: Darauf sind Alkor und Mizar beschriftet, sowie ein „?“ für das betreffende unbekannte Objekt (siehe Abbildung 53). Alkor und Mizar befinden sich auf dieser Photographie erstaunlich weit voneinander entfernt, sodass es sich um eine sehr hoch aufgelöste Photographie von guter Qualität handeln muss. Vergleicht man die Distanzen, befindet sich der Komet von Alkor weniger weit entfernt als der Begleitstern Mizar. Das widerspricht den Angaben aus der vorigen Szene, wonach sich das unbekannte Objekt rund 10 Grad südlich von diesen beiden Sternen befände.

Bemerkung am Rande: Wäre diese Photographie tatsächlich so hoch aufgelöst, dann würde erstens eine Verwechslung mit Megrez von totaler Unkenntnis zeugen, und zweitens wäre von einem Satellit vermutlich jede einzelne Schraube zu sehen...

#### 4.6.4 Bahnberechnung des Kometen

Wenn man die Eingabe der Koordinaten in den Computer unter der Verwendung von Einzelbildern betrachtet, sieht man, dass die ersten fünf Zeichen „5552,“ eingegeben werden, nach dem Komma werden sowohl die Tasten 7 und 4 als auch die Tasten 6 und 3 jeweils gleichzeitig gedrückt. Im nächsten Shot sieht man die Rektaszension von 13H 23M 52,3S, sowie eine Deklination von 54D 56M 16S Nord.

Vergleichen wir Rektaszension und Deklination von einigen umliegenden Sternen:

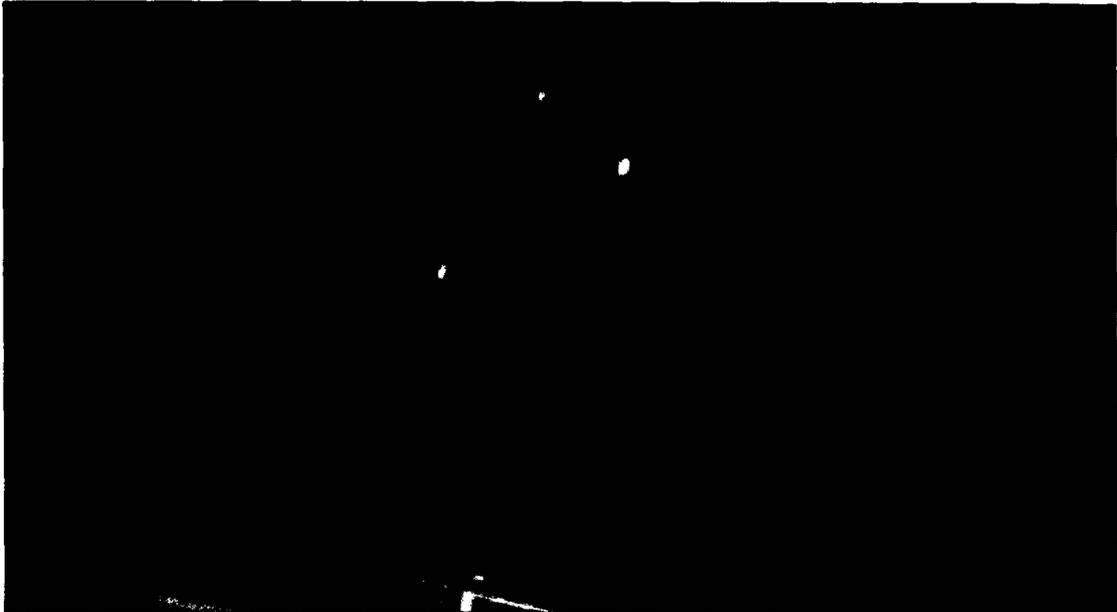
Stern	Rektaszension	Deklination
Der unbekannte Komet	13H 23M 52,3S	54D 56M 16S Nord
Mizar	13H 23M 55,5S	54D 55M 31S Nord
Alkor	13H 25M 13,5S	54D 59M 17S Nord
Benetnasch	13H 47M 33,0S	49D 18M 48S Nord
Alioth	12H 54M 02,0S	55D 57M 36S Nord
Megrez	12H 15M 25,0S	57D 01M 56S Nord

Tabelle 8 – Übersicht von Rektaszension und Deklination einiger umliegender, bekannter Sterne

Zieht man zunächst die Rektaszension zum Vergleich heran, kommt Mizar dem unbekanntem Kometen gefährlich nahe. Hier sieht man noch einmal deutlich, dass eine Verwechslung mit Megrez quasi ausgeschlossen werden muss. Alioth, der rechte mittlere Stern der Deichsel des großen Wagens, ebenfalls mit freiem Auge sichtbar, befände sich noch näher als Megrez.

Wie wird eine Bahn eines noch unbekanntem Kometen berechnet? Zuerst müssen einige Bahnpunkte des neuen Kometen beobachtet und festgehalten werden. Daraufhin wird im Allgemeinen zuerst von einer parabolischen Bahn ausgegangen. Dies liefert eine erste Näherung der Bahn. Im Laufe der Zeit erhält man weitere Beobachtungspunkte, welche eine Kometenbahn schlussendlich auf eine hyperbelförmige oder ellipsenförmige Bahn festlegen. Ob die Beobachtungsdauer

im Film von allerhöchstens 20 Sekunden reicht, um einen definitiven Kollisionskurs mit der Erde zu konstatieren, bleibt dahingestellt.



**Abbildung 54 – Screenshot aus „Deep Impact“: Am Computer wird der Komet sofort als "nicht-katalogisiert" erkannt; die beiden Katalogisate "M1 724" und "M2 528" können nicht dem Messier-Katalog entspringen, da dieser nur Galaxien aufnimmt.**

Am 19. Juni 2004 wurde der Komet 2004 MN4 von Roy Tucker, David Tholen und Fabrizio Bernardi von Hawaii aus entdeckt und von der NASA als potenziell gefährlichster aller bisher entdeckten Asteroiden eingestuft. Dieses Objekt mit einem Durchmesser von ca. 400 Metern könnte am 13. April 2029 mit einer Wahrscheinlichkeit von 1:300 auf die Erde treffen. Der Asteroid wurde auf der zehnteiligen „Torino“-Skala mit Stufe 2 klassifiziert – der bis dahin höchste vergebene Wert. Die Torino-Skala gibt analog zur Richter-Skala für Erdbeben die Gefährlichkeit der erdnahen Asteroiden an.

Am 18. Dezember 2004 wurde der Asteroid von Australien aus wiederentdeckt. Daraufhin wurde der Orbit erneut berechnet, das Ergebnis war wenig beruhigend – die Einschlagsquote lag demnach bei 1:60. Die Klassifizierungsstufe nach der Torino-Skala wurde auf Stufe 4 angehoben.

Nach intensiven Recherchen entdeckte man denselben Asteroiden auch auf Archiv-Aufnahmen vom März 2004, sodass die Positionen nun über einen bedeutend längeren Zeitraum verfügbar waren. Danach verfehlt der Asteroid die Erde im Jahre 2029. Allerdings könnte durch den nahen Vorbeiflug die Bahn des Asteroiden so verändert werden, dass ein späterer Einschlag nicht ausgeschlossen werden kann.

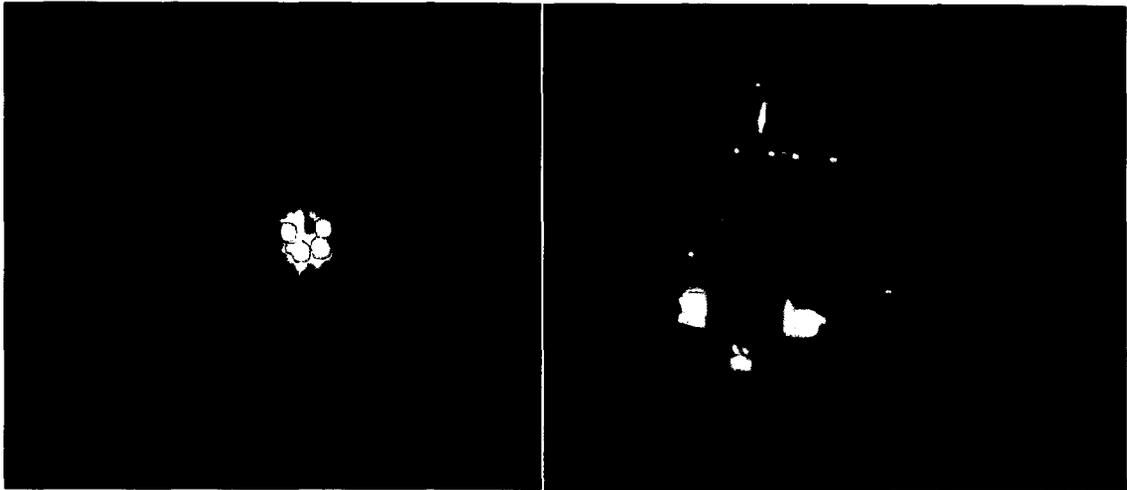


Abbildung 55 – Screenshot aus „Deep Impact“: Links sieht man den PKW relativ gerade vor dem LKW; Rechts sieht man den LKW aus der Sicht des PKW um eine Rechtskurve kommen

## 4.7 Schlimmer geht's immer

### 4.7.1 Beschreibung der Szene

Zwei Einbrecher verschaffen sich Zutritt zu einer Luxusvilla. Einem der beiden Einbrecher wurde bei einem vorhergegangenen Einbruch sein eigener Ring vor den Augen der Polizei vom Bestohlenen selbst gestohlen. Der Einbrecher will sich nun rächen und den Ring zurückholen. Leider läuft in der Villa nicht alles nach Plan...

### 4.7.2 (Un-)Sichtbares Laserlicht

Was gäben Einbrecher dafür, wenn sich eine Alarmanlage so leicht unscharf machen lässt?

Die Tatsache des sichtbaren Laserlichts haben wir im Zuge der Analyse der Filmszene aus Ocean's Eleven bereits diskutiert.

Interessant ist überdies die Szene, als die beiden Einbrecher in der Laserlicht-Falle gefangen sind, nachdem der Besitzer und seine Frau das Haus wieder verlassen haben. Der gesamte Raum scheint von Laserstrahlen durchdrungen und systematisch abgedeckt zu sein. Hält man das Bild jedoch an und betrachtet den

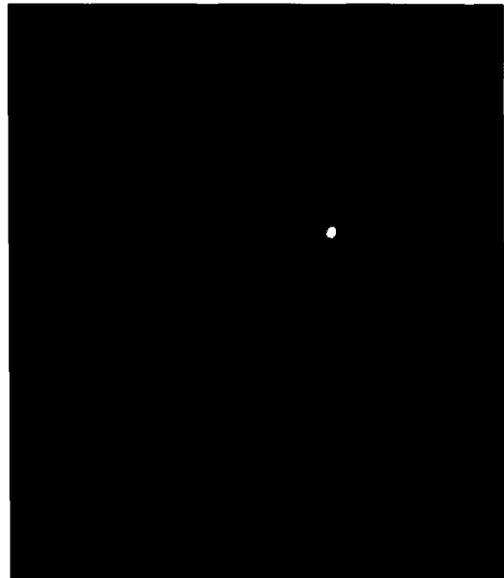


Abbildung 56 – Screenshot aus „Schlimmer geht's immer“: Schnelles Deaktivieren der Alarmanlage

Verlauf der Strahlen etwas genauer, erkennt man folgendes (siehe Abbildung 57):

- Es scheint drei Quellen zu geben: links oben vorne, links unten vorne, und rechts unten hinten.
- Von jeder dieser Quelle laufen die Strahlen vermeintlich in einer Ebene auseinander.

Alle 19 sichtbaren Strahlen spannen im Wesentlichen drei Ebenen auf, die durch den Raum verlaufen. Da der Raum dreidimensional ist, die Ebenen der Laserstrahlen jedoch nur zweidimensional, sichern diese in Wirklichkeit nur einen sehr begrenzten Teil ab.

Blickt man genau hin, sind beide Einbrecher nur jeweils mit dem Kopf zwischen zwei Strahlen „eingeklemmt“. Diese Strahlen kommen von der Quelle rechts unten hinten. Interessant ist vor allem das Attribut „unten“. Die Strahlen verlaufen sichtbar von unten nach oben (in den Nahaufnahmen scheint dies allerdings ganz und gar nicht der Fall zu sein!). Es wäre kein Problem, den Kopf aus der Schlinge zu ziehen – der Boden der Stiege ist völlig ungesichert!

Man beachte die Nahaufnahme eines Beins bei einem der beiden Einbrecher. Offensichtlich verläuft ein Strahl direkt an dessen Fuß vorbei. Es fragt sich jedoch, wo dieser herkommt. Von den drei in der Großaufnahme sichtbaren Quellen kann der Strahl nicht kommen, da sich der in der Nahaufnahme gezeigte Lichtstrahl ganz offensichtlich in einem toten Winkel befindet.



**Abbildung 57 – Screenshot aus „Schlimmer geht’s immer“: Die sichtbaren Laserstrahlen der Alarmanlage; bei genauem Betrachten stellen sich die Strahlen als wenig gefährlich für die beiden Einbrecher heraus**

In der Großaufnahme in Abbildung 57 sind keine Laserstrahlen zu sehen, die parallel zum Boden das Treppenhaus hinauflaufen. In einer Einstellung vom dritten Stock das Treppenhaus hinunter sind jedoch viele solcher Laserstrahlen zu sehen. Diese Lichtschranken scheinen auch nicht von einzelnen Quellen auszugehen, sondern scheinen willkürlich verstreut zu sein. Sehr gut decken allerdings auch diese Strahlen nicht ab – zwar durchdringen sie den Großteil des für den Kinobesucher sichtbaren Teils, doch die Stiege im Bild links oben, wo ein Einbrecher tatsächlich unterwegs wäre, wird überhaupt nicht gesichert.

## 4.8 Titanic



Abbildung 58 – Querschnitt durch die Titanic [ae]

Die Geschichte ist bekannt – die RMS Titanic war ein Passagierschiff, das für den Liniendienst Southampton – New York vorgesehen war. Auf ihrer Jungfernfahrt kollidierte die Titanic am 15. April 1912 gegen Mitternacht mit einem Eisberg und versank im Nordatlantik.

Um die Titanic ranken sich viele Gerüchte und Erzählungen, viele dabei basieren nicht auf Fakten. Mehr Klarheit schuf die Entdeckung des Wracks im Jahre 1985. Als relativ sicher gilt folgende Kette an Ereignissen:

### 4.8.1 Beschreibung der Szene

Um 23:40 Uhr entdeckte der Ausguck Frederick Fleet<sup>48</sup> direkt vor der Titanic einen Eisberg. Er läutete dreimal die Alarmglocke und leitete daraufhin die Warnmeldung telefonisch an die Brücke weiter, wo sie von Offizier James P. Moody<sup>49</sup> entgegengenommen wurde:

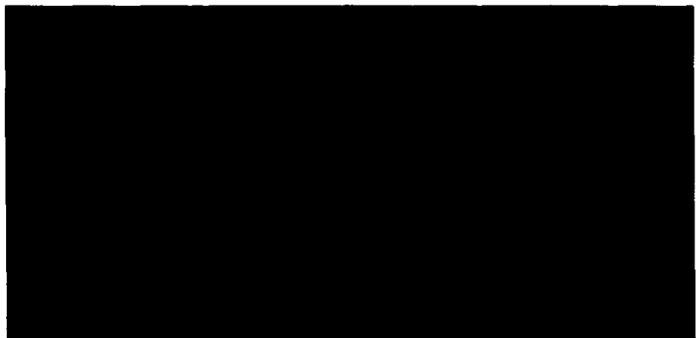


Abbildung 59 – Screenshot aus „Titanic“: Der Eisberg kurz nach der ersten Sichtung

<sup>48</sup> Geboren am 15. Oktober 1887, Liverpool; gestorben am 10. Jänner 1965 in Southampton

<sup>49</sup> Geboren am 21. August 1887 in Scarborough; gestorben am 15. April 1912 auf der Titanic

Moody: „What do you see?“

Fleet: „Iceberg right ahead!“

Moody: „Thank you“.

Er gab die Warnung umgehend an den ersten Offizier William M. Murdoch<sup>50</sup>. Angeblich bemerkte der zweite Ausguck, Reginald Lee<sup>51</sup>, bereits während des Telefonats eine Drehung des Schiffs, sodass angenommen wird, Murdoch hätte den Eisberg bereits vorher wahrgenommen. Er gab das Kommando, die Titanic „hart steuerbord“ zu fahren.

Tatsache ist, dass die Titanic die Beschädigungen an der Steuerbordseite hat, das Ausweichmanöver muss daher nach links, also Backbord erfolgt sein.

Gleichzeitig gab Murdoch den Befehl an den Maschinenraum, die Maschinen volle Kraft zurück fahren zu lassen. Aufgrund fehlender Entfernungsmesser reichten diese beiden Maßnahmen nicht aus, um den Eisberg umfahren zu können. Der vordere Teil der Titanic kollidierte mit dem Eisberg. Während der Kollisionsphase gab Murdoch den Befehl, die Ruder „hart backbord“ zu stellen, bevor das Schiff den Pivot-Punkt erreichte. Unter diesem Punkt versteht man den Drehpunkt eines Schiffs. Bei einem Ruderausschlag dreht sich das Schiff um seinen Pivot-Punkt. Das Heck schwenkt auf die eine, der Bug auf die andere Seite aus.

Unter Ausnützung dieses Sachverhalts wollte Murdoch eine Kollision des Eisbergs mit dem Heck verhindern. Dies ist im offensichtlich auch gelungen. Soweit man im Nachhinein feststellen konnte, befanden sich die Schäden ausschließlich im vorderen und mittleren Teil des Schiffs.

Als die vorderen fünf Abteile nahezu voll gelaufen waren, betrug die Trimmung (Neigung nach vorne) etwa 5°, was noch nicht als bedrohlich angesehen wurde. Doch da somit offene Bullaugen, Lüftungsschächte und Ladeluken im vorderen Teil des Schiffs unterhalb die Wasserlinie gerieten, wurde das Volllaufen des Schiffs erheblich beschleunigt.

Von den in Summe 2208 Passagieren überlebten mit 704 gerade einmal 31,9%. 1504 Personen starben bei dem Unfall –



Abbildung 60 – Screenshot aus „Titanic“: Wassereintritt im vorderen Bereich des Schiffs nach der Kollision mit dem Eisberg

<sup>50</sup> Geboren am 28. Februar 1873, Sunnyside; gestorben am 15. April 1912 auf der Titanic

<sup>51</sup> Geboren am 19. Mai 1870 in Benson; gestorben am 6. August 1913 in Kenilworth

viele erst aufgrund von Unterkühlung im knapp unter 0 Grad Celsius kalten Wasser. Aus physikalischer Sicht sind vor allem zwei Fakten interessant: Der Eisberg sowie die Steuerung des Schiffs.

#### 4.8.2 Anomalie des Wassers

„Wasser ist nicht normal“ lernt man in der Schule, und tatsächlich verhält sich Wasser etwas anders. Wasser ist das einzige Element, das natürlich in allen drei Aggregatzuständen auftritt: Wasserdampf – Wasser – Eis.

Das Besondere ist, dass Wasser unter Normaldruck (101.325 Pa) bei einer Temperatur von 3,98° C seine größte Dichte mit 999,972 kg/m<sup>3</sup> annimmt. Das bedeutet, dass 1kg Wasser unter diesen Bedingungen das kleinste Volumen annimmt<sup>52</sup>.

Daraus ergeben sich gravierende Folgen, wobei einige für die Existenz von Leben auf unserem Planeten Erde von entscheidender Bedeutung sind:

- Füllt man ein Gefäß komplett mit Wasser, verschließt es und lässt das Wasser gefrieren, zerreißt das Gefäß (oder dehnt sich zumindest aus). Der Grund liegt darin, dass sich Wasser beim Gefrieren zu Eis wieder ausdehnt. Aufgrund der Anomalie besitzt Wasser die größte Dichte – und damit das kleinste Volumen – bei etwa 4°C.  
Dies hat zum Beispiel in der Bauwirtschaft Folgen: An einem sonnigen Wintertag schmilzt etwas Schnee bzw. Eis aufgrund der Sonneneinwirkung und dringt in den Asphalt der Straße ein. In der Nacht gefriert dieses Wasser jedoch wieder, da die Temperatur absinkt. Das Eis dehnt sich dabei aus, und sprengt den Straßenbelag auf. Derselbe Vorgang findet sich bei der Sprengung von Felsen auf Bergen wieder, oder in der Wüste. Dort sind die Tag-/Nacht-Unterschiede der Temperatur besonders groß. Man nennt diesen Vorgang auch „physikalische Verwitterung“.
- Der Feststoff Eis ist leichter als die Flüssigkeit Wasser. Daraus ergibt sich die für uns typische Situation, dass Eis auf dem Wasser schwimmt.
- Aus der Tatsache, dass Wasser bei 4° C die größte Dichte besitzt und daher am schwersten ist, ergibt sich auch die Tatsache, dass 4° C kaltes Wasser immer auf den Grund eines Gewässers absinkt. Wenn es nicht erwärmt wird, bleibt es dort. Daraus folgt, dass ein Gewässer nie vom Boden her zufriert. Tatsächlich friert Gewässer bei entsprechend kalter Umgebungstemperatur von der Oberfläche aus zu. Aus diesem Grund sterben die Bewohner von Gewässern wie Fische im Winter nicht ab (und damit nicht aus).

---

<sup>52</sup> Prof. Martin Chaplin von der London South Bank University findet insgesamt sogar 63 Anomalien von Wasser. Siehe dazu Ref. [24].

Für diesen Videoclip betrachten wir die Dichte etwas genauer. Die Dichte von Eis bei 0° C beträgt 917 kg/m<sup>3</sup>, der Wert der Dichte von Meerwasser liegt bei 1025 kg/m<sup>3</sup>.

Führen wir eine vereinfachte Rechnung durch (siehe Abbildung 61): Nehmen wir an, der Eisberg sei ein Quader mit der Seitenlänge  $x$ . In der Höhe setzt sich  $x$  zusammen aus  $a$  (die Höhe über dem Wasser) und  $x-a$  (die verbleibende Höhe unter dem Wasser):

- Dichte des Wassers  $d_w$ :

$$d_w = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.30)$$

- Dichte des Eisbergs  $d_E$ :

$$d_E = 917 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.31)$$

- Erdbeschleunigung  $g$ :

$$g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (4.32)$$

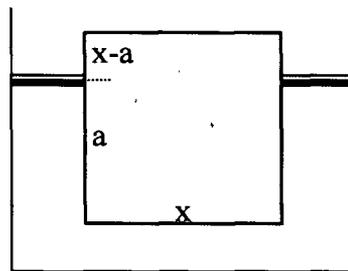


Abbildung 61 – Skizze zur Modellrechnung

- Das Volumen  $V_E$  des Körpers berechnet sich zu  $V_E$ :

$$V_E = x^3 \quad (4.33)$$

- Die Masse  $m_E$  des Eisbergs beträgt demnach  $m_E$ :

$$m_E = V_E \cdot d_E = x^3 \cdot d_E \quad (4.34)$$

- Die Gewichtskraft des Eisbergs  $G_E$  beträgt demnach

$$G_E = V_E \cdot d_E \cdot g = x^3 \cdot d_E \cdot g \quad (4.35)$$

- Die Auftriebskraft ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. In unserem Fall ist dies das Volumen  $V_A$ :

$$V_A = x^2 \cdot a \quad (4.36)$$

- Die Masse  $m_A$  der verdrängten Flüssigkeit beträgt demnach

$$m_A = V_A \cdot d_w = x^2 \cdot a \cdot d_w \quad (4.37)$$

Die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit beträgt demnach

$$G_A = x^2 \cdot a \cdot d_W \cdot g \quad (4.38)$$

- Wir wollen nun die Eintauchtiefe  $a$  bestimmen, die für diesen Körper gilt. Dies ist an dem Punkt erreicht, wenn  $G_E$  und  $G_A$  ein Gleichgewicht erreichen:

$$\begin{aligned} G_E &= G_A \\ x^3 \cdot d_E \cdot g &= x^2 \cdot a \cdot d_W \cdot g \\ x \cdot d_E &= a \cdot d_W \\ \frac{x}{a} &= \frac{d_W}{d_E} \end{aligned} \quad (4.39)$$

Eingesetzt ergibt sich folgendes Verhältnis:

$$x : a = 1,12 : 1 \quad (4.40)$$

- Berechnet man die Verhältnisse zwischen dem Gesamtvolumen und dem eingetauchten Teil, erhält man unter der Verwendung von

$$\begin{aligned} x &= 1,12 \cdot a \\ \frac{V_E}{V_A} &= \frac{1,12^3 \cdot a^3}{1,12^2 \cdot a^2 \cdot a} = 1,12 \end{aligned} \quad (4.41)$$

dass nur 12% des Gesamtvolumens sichtbar über Wasser liegen. Die restlichen 88% liegen unter Wasser und sind daher nicht sichtbar.

Die eigentliche Gefahr für Schiffe, die von Eisbergen ausgeht, ist daher unter der Wasseroberfläche zu suchen. Verborgenen vor den menschlichen Augen liegt dort der Großteil der Masse eines Eisbergs gut konserviert im kalten Wasser.

### 4.8.3 Der Pivotpunkt

Wenden wir uns dem zweiten Aspekt der Filmszene zu, dem Steuern des Schiffs. Wenn ein Schiff im Wasser schwimmt, erfährt es keine Reibung mehr – im Gegensatz zu einem Auto zum Beispiel, das mit den Reifen fest am Boden steht. Die Steuerung eines Schiffs kann sich daher nicht so gestalten wie bei einem Auto.

Eine zentrale Rolle bei der Schiffssteuerung spielt der so genannte Pivotpunkt. Darunter versteht man den Drehpunkt eines Schiffes. Lenkt ein Schiff mithilfe seines Ruders in

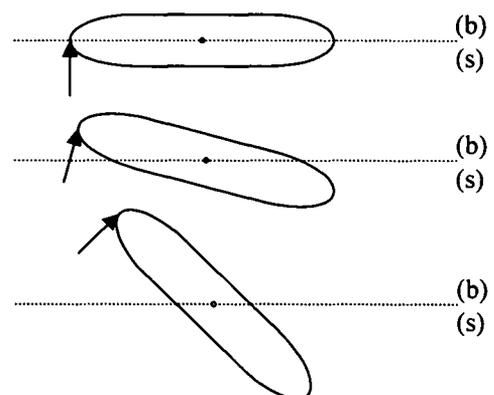


Abbildung 62 – Skizze zum Pivot-Punkt eines Schiffs

einer Kurve ein, wird das Schiff um den Pivotpunkt gedreht.

Im einfachsten Fall steht das Schiff still, und am hintersten Punkt wird eine normal zur Schiffs-Längsachse ausgerichtete Kraft – zum Beispiel durch ein Querruder – ausgeübt. Im Idealfall (Reibung, ...) dreht sich das Schiff um seinen Pivot-Punkt.

Bei symmetrischen Figuren fällt der Pivot-Punkt mit dem Schwerpunkt zusammen, anders hingegen bei asymmetrischen Körpern.

Bei der Titanic lag der Pivot-Punkt im Bereich des vorderen Schornsteins, also im vorderen Drittel des Schiffs. Das Schiff „scherte“ daher relativ weit aus. Hätte Murdoch kein Kommando zum Gegendrehen gegeben, wäre die Titanic mit der ganzen Steuerbordseite gegen den Eisblock gefahren. Aber so wich das Heck dem Eisberg aus und verhinderte so größeren Schaden.

Eine kleine Anmerkung am Rande: In allen bekannten Beschreibungen und Verfilmungen wird das Ausweichmanöver in Richtung links, also backbord gezeigt. Doch im Filmclip von „Titanic“ lautet das Kommando nicht backbord, sondern „Hart steuerbord!“ . Der daraufhin gezeigte Steuermann dreht das Ruder jedoch bereits backbord.

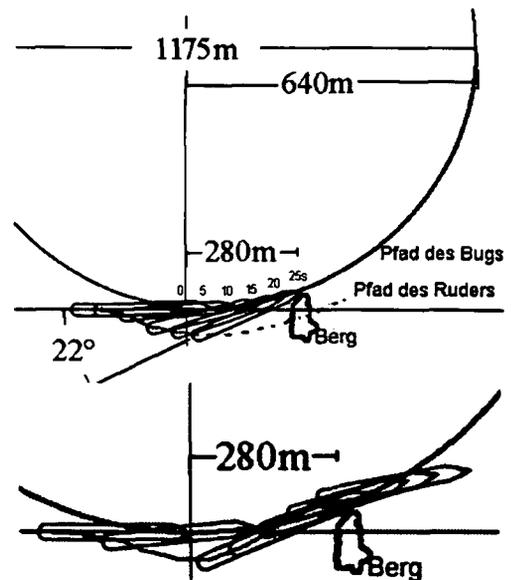


Abbildung 63 – Skizze des Ausweichmanövers der Titanic [af]

## 5 Analyse von Science-Fiction Filmen

---

### 5.1 Evolution

#### 5.1.1 Beschreibung der Szene

Durch einen Meteoriteneinschlag gelangen Mikroorganismen auf die Erde. Indem diese sich im Einschlagskrater eine eigene Atmosphäre aus Wasserstoffsulfit, Methan und Ammoniak schaffen, können sie sich rasend schnell entwickeln. Jahrmillionen an Evolution vom Einzeller zum intelligenten Mehrzeller laufen hier in nur wenigen Stunden ab. Nachdem die zwei Professoren, die den Krater als erstes entdeckt haben, den Beginn dieser außergewöhnliche Evolution im Labor unter dem Mikroskop entdecken, fahren sie mit einer Gruppe von Studenten zum Krater. Dort finden sie eine eigene, kleine Welt voller Plattwürmer vor...

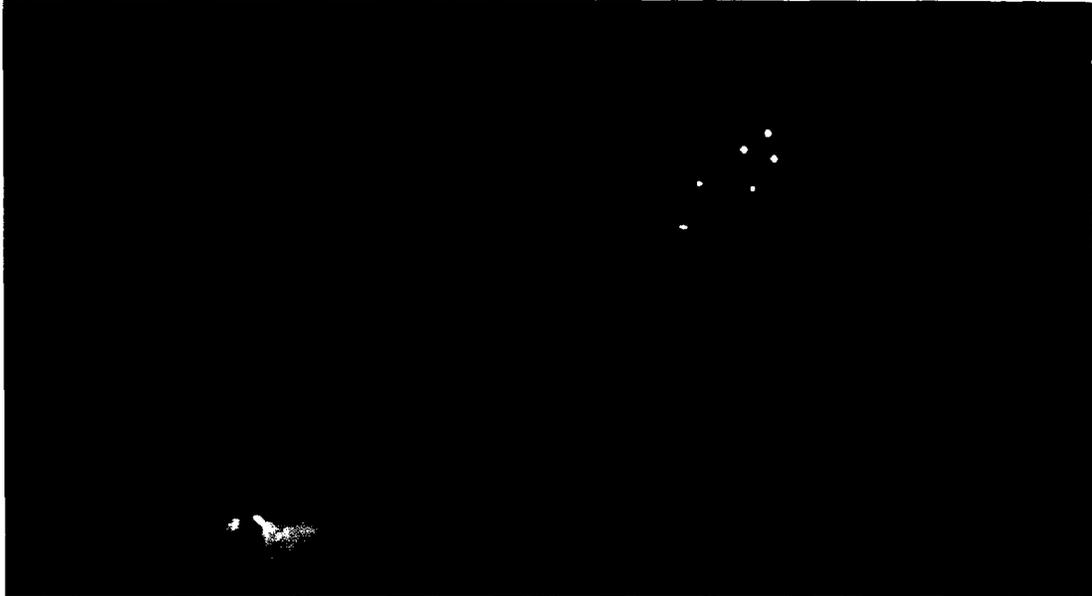
#### 5.1.2 Meteoroid, Meteor, Meteorit

Zur Begriffsklärung soll folgende Übersicht Klarheit verschaffen:

Komet	Kometen sind kleine Himmelskörper, die beim Vorüberziehen an der Sonne einen Schweif aufweisen. Kometen können aperiodisch (hyperboloide Bahn) bzw. periodisch (elliptische Bahn) auftreten. Langperiodische Kometen entspringen aller Wahrscheinlichkeit nach der Oortschen Wolke, kurzperiodische Kometen stammen vermutlich aus dem Kuipergürtel.
Asteroid	Ein Asteroid ist ein kleiner, planetenähnlicher Körper, der sich auf elliptischen Umlaufbahnen um die Sonne bewegt. Asteroiden entspringen dem Asteroidengürtel, der sich zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter befindet.
Meteor(o)id	Dies sind Himmelskörper in der Größenordnung von wenigen Millimetern bis mehrere Meter. Sie sind kleiner als Asteroiden, eine klare Abgrenzung gibt es jedoch nicht.
Meteor	Tritt der Körper in die Erdatmosphäre ein, wird eine durch Reibungshitze erzeugte Leuchtspur am Himmel sichtbar. Verglüht der Körper zur Gänze in der Atmosphäre, nennt man ihn Meteor.
Meteorit	Ist ein Körper zu groß, um beim Durchgang durch die Atmosphäre gänzlich zu verglühen, trifft dieser am Erdboden auf und wird zum Meteoriten.

Tabelle 9 – Begriffliche Übersicht von kleinen Himmelskörpern

Die meisten Meteoriden stammen aus dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter. Durch Zusammenstöße werden sie aus diesem Gürtel heraus in Richtung Erde geschleudert.



**Abbildung 64 – Screenshot aus „Evolution“: Der Meteorit inmitten der Vegetation und einer künstlichen Atmosphäre**

Je größer ein Meteorit ist, desto mehr Energie wird beim Aufschlag freigesetzt. Am bekanntesten ist wohl der Barringer-Krater in den USA. Man nimmt an, dass der Meteorit einen Durchmesser von ca. 50 Metern bei einem Gewicht von 300.000 Tonnen hatte. Der Barringer-Krater hat einen Durchmesser von ca. 1,5 km und eine Tiefe von 170 m. Umgeben ist der Krater von einem etwa 30 m hohen Felsrand. Der Meteorit selbst verdampfte aufgrund der immensen Energie zur Gänze. Heute zeugen tonnenweise meteoritisches Eisen im und rund um den Krater von dem gewaltigen Gesteinsbrocken.

Ist es möglich, dass ein Meteorit auf die Erde einschlägt, sich unter die Erde bohrt, dabei ein Erdloch aushöhlt und dort stecken bleibt?

### **5.1.3 Meteoriteneinschlag**

Trifft ein Meteorit auf die Erde, wird beim Einschlag eine enorme Energiemenge frei. Diese Energie wird in thermische bzw. Verformungsenergie umgewandelt. Durch den Aufprall breitet sich eine Schockwelle kugelförmig im umliegenden Boden aus, während im Krater das Material explosionsartig verdampft. Durch die Rückfederung der Schockwelle wird sowohl das umliegende feste als auch das verdampfte Material aus dem Krater geschleudert.

Im Allgemeinen ist die freigesetzte Energie so groß, dass der Meteorit vollständig verdampft. Es ist selten, dass von einem Meteoriten ein so großes Stück vollständig erhalten bleibt. Dazu kommt die ungewöhnlich längliche Form des Meteoriten:

Beim Verglühen in der Atmosphäre bildet sich im Allgemeinen eine kugelähnliche Form aus. Dazu kommt die Form des „Einschlagkraters“: In dieser Filmszene verursacht der Meteorit keinen Krater, sondern eine Art Höhle. Im Gegensatz zur relativ kleinen Öffnung nach oben ist die Höhle groß.

#### 5.1.4 Evolution im Schnellgang

In der Filmsequenz und im weiteren Verlauf des Filmes spielen sich viele Millionen Jahre an Evolution in wenigen Stunden ab. Einzeller entwickeln sich zu Mehrzellern, diese wiederum zu intelligenten Wesen. Sie schaffen dies, indem sie sich eine eigene Atmosphäre aus Wasserstoffsulfit, Ammoniak und Methan schaffen. Anfangs können sie nur in dieser Atmosphäre überleben, aber schon bald schaffen sie den Sprung zum Überleben in irdischer Luft.

Wir kennen bis jetzt nur die Evolutionsgeschichte auf der Erde, und von ihr wissen wir, dass sie sehr, sehr langsam abläuft. Es dauerte Jahrmillionen, bis sich Einzeller zu Mehrzellern entwickeln konnten, bis sich das Leben vom Wasser auf das Land ausbreitete. Aber wer sagt, dass sich Leben immer auf diese Art entwickeln muss?

In der Theorie ist vieles möglich. Irdisches Leben basiert auf Kohlenstoff – und dieser wird in Sternen wie im Endstadium unserer Sonne gebildet<sup>53</sup>. Wasserstoff und Helium sind die beiden Elemente, die zu 99% unser (materielles) Universum ausmachen. Alle anderen Elemente machen gerade einmal 1% der baryonischen Materie aus. Die irdischen Lebewesen brauchen Wasser, um überleben zu können. Auch Sauerstoff ist existenziell. Nicht jedes Lebewesen benötigt Licht.

Aber wer sagt, dass jede Lebensform im Universum auf Kohlenstoff basiert und so – oder so ähnlich – wie das irdische Leben funktioniert? Nehmen wir einmal an, es gibt eine Lebensform, deren Grundlage Wasserstoffsulfit, Ammoniak und Methan ist, sowie im Film gezeigt. Es wäre dann zwar schon ein Wunder, wenn dieses Leben ausgerechnet nach Plattwürmern aussehen würde, aber was spricht prinzipiell gegen eine Evolution im Schnelldurchlauf?

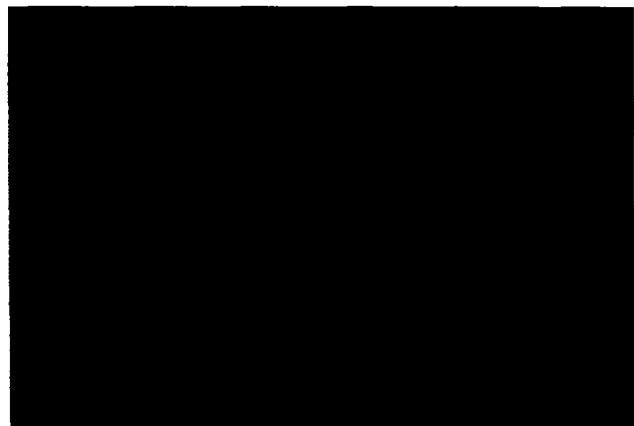


Abbildung 65 – Screenshot aus „Evolution“: In der künstlichen Atmosphäre entwickelten sich aus Bakterien in kürzester Zeit Plattwürmer.

<sup>53</sup> Für die vergleichsweise großen Mengen an Kohlenstoff in unserem Universum ist der „Tripel-Alpha Prozess“ verantwortlich. Dabei vereinigen sich zwei Alpha-Teilchen (Helium-Kerne) zu einem (kurzlebigen) Beryllium-Kern. Gelingt es diesem, in der kurzen Lebensdauer ein weiteres Alpha-Teilchen einzufangen, entsteht Kohlenstoff. Eben diese Kernreaktion besitzt eine Resonanz – bei bestimmten Energien wird der Wirkungsquerschnitt besonders groß. Nur durch diese Resonanz wird die für unser menschliches Leben benötigte Menge an Kohlenstoff produziert (vgl. Ref. [38]).

### 5.1.5 Außerirdisches Leben

Die Filmszene behandelt die Frage, ob es möglich ist, dass Leben vom Universum auf unseren Planeten kommen kann, bzw. in der Vergangenheit bereits gekommen ist. Diese Frage berührt nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die Religion.

Sind wir allein im Universum?

Ist der Mensch etwas Besonderes?

Gibt es in irgendeiner Form Leben im Universum außerhalb der Erde?

Angenommen, nur 1% aller Sterne hätte Planeten, und wiederum nur 1% hätte einen einzigen erdähnlichen Planeten, und auf nur 1% dieser Planeten würden lebensfreundliche Bedingungen herrschen, dann verblieben immer noch 10 Milliarden Kandidaten als Lebensträger.

Stellen wir uns vor, wir befinden uns am Meer. Die Abendsonne scheint sanft auf unser Gesicht, während wir auf einem wohligen weichen und warmen Sandstrand entlang spazieren. Der Sandstrand sei 100 Meter breit, und einen Meter tief. Pro Kubikmillimeter finden 10 Sandkörnchen Platz. Wie lang müsste dieser Sandstrand sein, damit so viele Sandkörner da sind wie es Sterne in unserem Universum gibt? Der Sandstrand müsste 10 Millionen Kilometer lang sein, sprich, er würde sich 250 Mal um den Äquator winden.

Dabei ist noch nicht einmal gesagt, was man unter „lebensfreundlichen“ Bedingungen versteht. Temperatur? Atmosphäre? Wir wissen, dass es sogar auf unserer Erde Lebewesen gibt, die ausgesprochen „lebensfeindlichen“ Bedingungen standhalten. Man denke zum Beispiel an die Bewohner der Tiefsee, die enormen Drücken ausgesetzt sind, und die niemals Sonnenlicht erreicht.

Es gibt eine mathematische Formel, die zur Abschätzung der Anzahl der technischen und intelligenten Zivilisationen in unserer Galaxie Milchstraße dient. Es ist dies die „Drake-Gleichung“, auch bekannt unter dem Namen „Green-Bank-Gleichung“. Sie wurde von Prof. Dr. Frank Drake<sup>54</sup> entwickelt und im November 1960 auf einer Konferenz in Green Bank in den USA präsentiert.

Die Anzahl der technischen, intelligenten Zivilisationen in unserer Galaxie berechnet sich dabei aus folgenden Komponenten:

- Mittlere Sternentstehungsrate pro Jahr
- Anteil der Sterne mit Planetensystemen

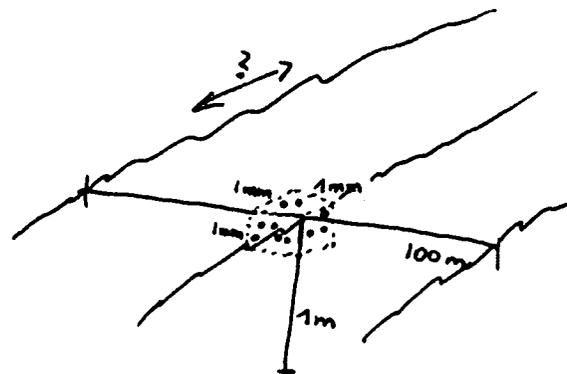


Abbildung 66 – Skizze zum Gedankenexperiment „Sandstrand“

<sup>54</sup> Geboren am 28. Mai 1930, Chicago, Astronom, Astrophysiker, Pionier bei der Suche nach extraterrestrischem Leben; seit 1984 Präsident des SETI-Instituts; auf ihn geht unter anderem das Projekt SETI@home zurück.

- Anzahl der Planeten in der Ökosphäre (Bereich im Planetensystem, indem Leben nicht von vornherein auszuschließen ist, wie z.B. zu tiefe Temperaturen etc.)
- Planeten mit Leben
- Planeten mit intelligentem Leben
- Interstellare Kommunikation
- Lebensdauer einer technischen Zivilisation

Wie man sieht, sind vor allem die letzten vier Punkte mehr als nur unsicher. Es gibt drei Modelle zur Lösung der Drake-Gleichung. Das gemäßigte Modell errechnet eine einzige Zivilisation in unserer Galaxie, nämlich unsere. Das optimistische Modell geht von 100 Zivilisationen aus, wobei der mittlere Abstand zwischen zwei Zivilisationen 5000 Lichtjahre beträgt. Eine Kontaktaufnahme zweier Zivilisationen ist dabei beinahe ausgeschlossen, da ein losgeschicktes Signal 5000 Jahre zum Ziel brauchen würde. Das enthusiastische Modell schließlich konstatiert 4 Millionen Zivilisationen in unserer Milchstraße. Zwei benachbarte wären dabei 150 Millionen Lichtjahre im Mittel voneinander entfernt.

## **5.2 Herrschaft des Feuers I**

### **5.2.1 Beschreibung der Szene**

Ein Drache, der durch Bergbauarbeiten geweckt worden ist, hat die Herrschaft über die Welt übernommen. Es gibt nur mehr wenige Menschen, die sich unter höchster Gefahr in dunklen Festungen verstecken. Nicht alle Personen halten das aus, vor allem wenn die Früchte auf den Feldern vor der Festung langsam reif werden. Statt sich an die vorgegebenen Regeln zu halten, fahren einige Männer verbotenerweise und unter höchster Gefahr vor Drachenangriffen nachts auf das Feld. Und tatsächlich startet ein Drache kurz darauf einen Angriff. Die Früchte sind vergessen, alles was jetzt zählt ist die Rettung. Bereits beim ersten Angriff verschlingt der Drache einen der Menschen. Die restlichen überleben nur, weil Quinn und einige mutige Männer sie retten kommen.



Abbildung 67 – Screenshot aus „Herrschaft des Feuers“: Der Drache beim ersten Angriff

### 5.2.2 Drachen

Ein Drache ist ein meist Feuer speiendes Mischwesen aus Schlange, Krokodil und Löwe. Manche Mythenforscher sehen Drachen als Erinnerung an die Dinosaurier, obwohl Menschen und Dinosaurier nicht gleichzeitig gelebt haben.

Der Kampf von Mensch gegen Drachen ist begleitet vom Kampf von „Gut“ gegen „Böse“. Dies spiegelt sich zum Beispiel bei Siegfried gegen Fafnir (Nibelungenlied) wider.

Die Menschen im Film „Herrschaft des Feuers“ verbringen bereits viele Jahre eingesperrt auf engstem Raum in einer alten Festung. Es ist verständlich, dass sich viele dabei beengt fühlen. Doch um so überleben zu können, bleiben zu viele Fragen ungeklärt. Wo kommt zum Beispiel das Wasser zum Überleben her? Oder Lebensmittel: Die Früchte am Feld mögen heiß begehrt sein, aber diese können nicht ausreichend sein. Die vielen Menschen in der Burg müssen mit dem Mindesten versorgt sein, um bis jetzt mehrere Jahre lang überlebt haben zu können.

### 5.2.3 Brennbarkeit von Materialien

Als die Männer und die Frau auf dem Feld die Früchte einsammeln, startet der Drache seinen ersten Angriff. Die ganze Zeit über ist in der Szenerie dichter Nebel zu sehen. Das deutet darauf hin, dass die Landschaft sehr feucht sein muss. Als der Drache zum ersten Mal über das Feld fliegt und Feuer speit, sieht man im Anschluss einen großen Teil des Areals in lodernen Flammen.

Kann das in Wirklichkeit stattfinden? Um einen Körper zu entzünden, muss die Temperatur des betreffenden Körpers über seine Entzündungstemperatur (Flammpunkt) steigen. Der Flammpunkt von Holz liegt bei ca. 250 Grad Celsius. Ist

das Holz feucht, muss zusätzlich die Energie zum Trocknen aufgebracht werden. Nur so kann das Holz auch nachhaltig brennen. Es erscheint schon etwas unwahrscheinlich, dass ein einziger Feuerstoß des Drachens das feuchte Holz trocknet und flächenweit soweit erhitzt, dass es weiter brennt. Was jedoch auf keinen Fall der Wahrheit entsprechen kann, ist die Tatsache, dass einen Augenblick später ein Fahrzeug bereits völlig ausgebrannt ist. Selbst wenn der Feuerstoß des Drachens so heiß war, dass er nicht nur feuchtes Holz, sondern auch Fahrzeuge anzünden vermag, es braucht eine gewisse Zeit, bis ein Fahrzeug ausgebrannt ist.



**Abbildung 68 – Screenshot aus „Herrschaft des Feuers“: Lichterloh brennendes Feld nach einem einzigen Angriff**

Verwirrend an der Szene ist, dass man bei jeder zweiten Einstellung das Gefühl hat, alles brennt lichterloh. Zwischendurch sieht man (fast) überhaupt kein Feuer. Als die rettende Person im feuerfesten Anzug durch das Feuer geht, brennt das Holz sehr stark. Eine Einstellung später nach der Aufforderung „Los, lauft!“, hat die Sprinkelanlage des Fahrzeugs den Großteil der Flammen bereits gelöscht. Aus der seitlichen Perspektive sieht man überhaupt nur mehr im Hintergrund etwas Feuer brennen. Interessant ist, dass die Autoreifen keinen Schaden abbekommen, obwohl die Fahrzeuge direkt neben den Flammen stehen.

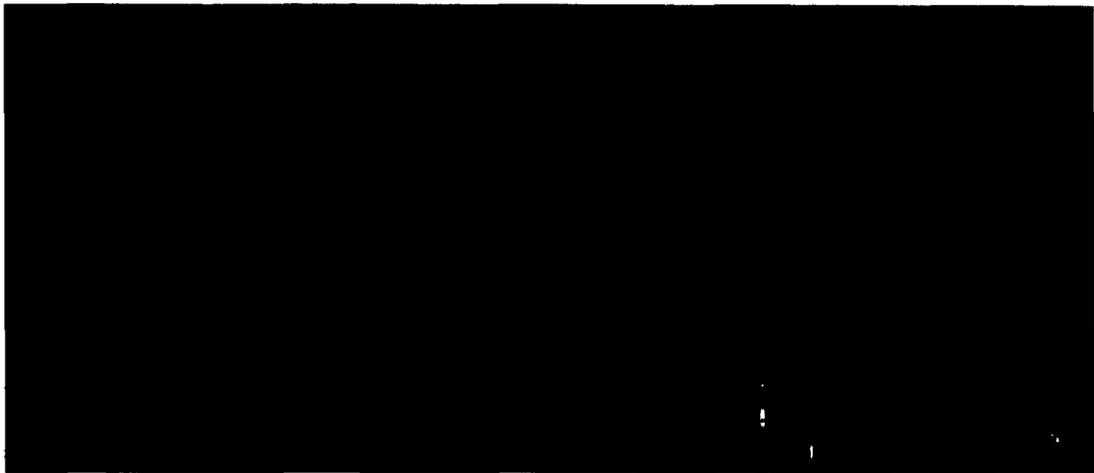


Abbildung 69 – Screenshot aus „Herrschaft des Feuers“: Ein bisschen Wasser reicht, um das Feuer am Feld zu löschen

## 5.3 Herrschaft des Feuers II

### 5.3.1 Beschreibung der Szene

Der einzige männliche Drache ist mit Abstand der größte und mächtigste Drache. Seine Feuergewalt ist mächtig. Dementsprechend erschrocken sind die Bewohner der Burg, in welche sich wenige der bis jetzt Überlebenden zurückgezogen haben, als dieser Drache die Burg angreift. Nach einem ersten Angriff retten sich alle Kinder in die tief unten gelegenen Schutzbunker. Hauptdarsteller Quinn befindet sich gerade auf einem Ausritt außerhalb der Burg, als er von der Ferne diesen ersten Angriff sieht. Voller Entsetzen reitet er zurück. In der Burg rettet er zuerst zwei kleine Kinder, die sich aus Angst weigern, die Schutzbunker aufzusuchen. Unten angekommen, dreht er die Wasserlöschanlage auf. Sein Kumpel Greedy teilt ihm mit, dass sich weitere 65 Menschen in der Burg befinden. Zuerst will Quinn nach oben gehen, aber Greedy überzeugt ihn, dass dies zu gefährlich für ihn sei. Just in dem Moment als Greedy, von Quinn noch ausgestattet mit einem Feuerlöscher, nach oben stürmt, startet der männliche Riesendrache seinen zweiten Angriff. Die Schutztür zum Bunker wird zugeschleudert, und Greedy wird ausgesperrt. Verzweifelt lehnt Quinn sich gegen die Stahltür.



Abbildung 70 – Screenshot aus „Herrschaft des Feuers“: Beim zweiten Angriff fällt die Tür zum Schutzbunker zu

### 5.3.2 Wärmeleitung

Bereits bei der Analyse von Herrschaft des Feuers I haben wir Drachen und ähnliches diskutiert. Hier soll die Diskussion weitergeführt werden – und zwar wiederum auf physikalischer Basis mitten in der Science-Fiction. Und zwar nehmen wir uns die letzten paar Sekunden der Filmszene heraus – als die Stahltür aufgrund der Druckluft, die vor der Flammenfront hergeschoben wird, zufällt. Quinn ist verzweifelt, da Greedy es nicht mehr geschafft hat, sich zu retten. Er lässt sich gegen die Türe fallen und bleibt dort angelehnt.



Abbildung 71 – Screenshot aus „Herrschaft des Feuers“: Die Hände des Protagonisten berühren gefährlich lange die Eisentüre, auf deren anderen Seite die Feuersbrunst wütet

Nach dem Fourierschen Gesetz wird die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung im Falle eines Festkörpers mit zwei parallelen Flächen wie folgt beschrieben:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \cdot A}{d} (T_1 - T_2) \quad (5.1)$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{d} (T_1 - T_2)$$

$\lambda$  .....Wärmeleitkoeffizient für unlegierten Stahl,  $\lambda = 50 \frac{W}{m \cdot K}$

$d$  .....Dicke der Tür (m)

Aus den beiden Gleichungen aus (5.1) ist ersichtlich, dass der Wärmefluss umso größer ist, je größer der Temperaturunterschied zwischen außen ( $T_1$ ) und innen ( $T_2$ ) ist. Wir wissen zwar nicht, wie heiß der feurige Atem eines Drachens ist, aber einige hunderte Grad Celsius sind bei Feuer schon anzunehmen. Nehmen wir als einfache, vorsichtige Näherung eine Temperatur von  $500^\circ \text{C}$  an, eine Dicke der Stahltür von 5 cm sowie eine Innentemperatur von  $25^\circ \text{C}$ , erhalten wir einen Wärmefluss pro Quadratmeter von

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{50 \frac{W}{m \cdot K}}{0,05m} (773,15K - 298,15K) \quad (5.2)$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = 475000 \frac{W}{m^2} \triangleq 475 \frac{kW}{m^2}$$

Der Wert mit  $475 \text{ kW/m}^2$  ist relativ groß, daraus folgt eine schnelle Erhitzung der Innenseite der Stahltüre. Damit würde sich der Protagonist des Films ordentlich seine Finger verbrennen.

## 5.4 Virus

### 5.4.1 Beschreibung der Szene

Eine mysteriöse Lebensform in Form von Energie befällt über die Raumstation MIR ein russisches Forschungsschiff. Die Menschen sind für diese Lebensform ein Virus. Sie ist imstande, Mensch und Technik zu verbinden, und zwar wortwörtlich. So entstehen Lebewesen halb Mensch, halb Maschine. Eine Wissenschaftlerin und ihr ehemaliger Kapitän stellten daraufhin die Stromversorgung im Schiff ab. Doch die Eroberer stellten diese wieder an. So konnte sich die fremde Lebensform weiter fortentwickeln und ausbreiten.



Abbildung 72 – Screenshot aus „Virus“: Im Vordergrund ist ein Geschöpf halb Mensch, halb Maschine vor den entsetzten Entdeckern zu sehen.

### 5.4.2 Lebensform auf Grundlage von Energie

Wir kennen nur die Lebensform, die auf Zellen basiert, und das ist der Mensch. Es scheint schwer vorstellbar, dass Leben auch auf andere Art existieren könnte. Doch es gibt so viele wunderliche/wunderbare Dinge im Universum.

Was ist Energie? Energie ist eine physikalische Zustandsgröße. Sie kann weder erzeugt noch verbraucht werden – Energie kann nur umgewandelt werden. In Summe bleibt der Wert der Energie immer konstant (Energieerhaltung). Nach Albert Einstein ist Energie unzertrennlich mit Masse, also Materie verknüpft. Für die kinetische Energie  $E$  gilt

$$E = \gamma mc^2 \quad (5.3)$$

mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{v}{c} \quad (5.4)$$

mit der Relativgeschwindigkeit  $v$ .

Befindet sich ein Körper in Ruhe, ergibt sich daraus Einsteins berühmte Formel für die Ruheenergie eines Körpers:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{0}{c}\right)^2}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-0}} = \frac{mc^2}{1} = mc^2 \quad (5.5)$$

Die Energie  $E$  eines ruhenden Körpers entspricht also seiner Masse  $m$  multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , deren Wert

$$c = 299792458 \text{ m/s} \quad (5.6)$$

beträgt und von Olaf Christensen Römer (Ole Rømer) als erstes gemessen werden konnte.

Wendet man Einsteins Formel für die Ruheenergie auf einen „Menschen in Ruhe“ an, erhält man für eine Person von  $m = 80 \text{ kg}$  eine Ruheenergie von

$$E = 80 \text{ kg} \cdot c^2 = 7.190.041.429.894.541.120 \text{ J} \equiv 7,19 \cdot 10^{18} \text{ J} . \quad (5.7)$$

Das entspricht (bei einem Wirkungsgrad von 100%) der Energie von rund 145000 Hiroshima-Bomben.

In einem relativ kleinen Volumen ist also eine unvorstellbare Menge an Energie vorhanden. Würde statt einem Menschen in Person ein Mensch in „Energie“ an uns vorübergehen, würden wir ein starkes elektrisches Feld zu spüren bekommen.

Dass viel Energie vorhanden wäre, wissen wir nun. Eine Frage bleibt jedoch ungeklärt: Kann Energie in irgendeinem Zustand selbstständig „denken“? Kann es menschliche Roboter – oder roboterähnliche Menschen – erschaffen?

Der Begriff Roboter wurde Anfang des 20. Jahrhunderts durch die Science-Fiction Literatur geprägt. Er kommt aus dem Slawischen und bedeutet soviel wie „Arbeit“, „Zwangsarbeit“. Ein Roboter folgt vorgegebenen Programmbefehlen. Von selbstständigem Denken ist vorerst nicht die Rede.

Roboter sind ein Zusammenspiel aus Mechanik, Elektrotechnik und Informatik. Aus diesen drei Gebieten hat sich die moderne Mechatronik herausgebildet. Man muss zwischen Industrierobotern, Forschungsrobotern und humanoiden Robotern (und noch weiteren) unterscheiden.

Industrieroboter sind zumeist programmierbare Maschinen, die meist dann zum Einsatz kommen, wenn ein und derselbe Vorgang immer wieder exakt wiederholt werden muss, bzw. wenn es für den Menschen eine Erleichterung darstellt (zum Beispiel schwere Lasten tragen, oder gesundheitsgefährdende Tätigkeiten wie Lackieren).



Abbildung 73 – Screenshot aus „Virus“: Das Gehirn des Mensch-Roboters wird durch einen Mikrochip gesteuert.

Humanoide Roboter sind der menschlichen Gestalt nachempfunden. Sie laufen auf zwei Beinen, und die Gelenke und Bewegungsmöglichkeiten sind denen des Menschen nachempfunden. Ein solch menschenähnlicher Roboter wird auch Android genannt. Ziel ist es, einen lernfähigen Multifunktionsroboter zu bauen, dem spezielle Fähigkeiten angelehrt werden können. So erhofft man sich zum Beispiel Hilfe bei der Altenpflege, die aufgrund der Überalterung der Bevölkerung in Zukunft noch stärker in den Mittelpunkt treten wird.

Gleichzeitig wird an der Erforschung der K.I., der künstlichen Intelligenz<sup>55</sup> gearbeitet. Dies stellt die Voraussetzung für einen lernfähigen Roboter dar. Einem Roboter sollten nicht nur bestimmte Programmabläufe einprogrammiert werden, der Roboter soll vielmehr aus Beobachtungen der Umwelt lernen. Die Situation ähnelt ein wenig der Eltern-Kind Beziehung. Dabei treten jedoch noch viele Schwierigkeiten aufgrund der verschiedenen „Bauweise“ von Mensch und Roboter auf. Ein Roboter braucht nicht Atmen, dafür benötigt er eine konstante Versorgung mit Elektrizität. Er muss sich auch vor anderen Gefahren schützen als der Mensch.

---

<sup>55</sup> Oder: A.I. ... Artificial Intelligence

### **5.4.3 Halongasvergiftung**

Im der Filmszene ist von einer Feuerlöschanlage die Rede, die durch das dabei auftretende Halongas bei 67 Männern tödliche Vergiftungen hervorrief. Halon ist ein chemisches Löschmittel. Chemische Löschanlagen löschen ein Feuer aufgrund von Wärmeentzug. Anders als herkömmliche Gaslöschanlagen, die die Sauerstoffzufuhr des Feuers unterbinden sollen, sind chemische Löschmittel daher ungefährlicher. Halone sind organische Halogenkohlenwasserstoffe, in denen mindestens ein Wasserstoff durch ein schweres Halogen (z.B. Brom) ersetzt wurde. Halone enthalten neben Brom in der Regel auch Fluor bzw. Chlor, wodurch diese die Ozonschicht erheblich angreifen. Aus diesem Grund ist die Produktion von Halonen mittlerweile verboten. Der Nachfolger des Halon-Löschmittels ist NOVEC 1230, welches innerhalb weniger Tage von der Atmosphäre wieder abgebaut wird. NOVEC 1230 besitzt unter anderem die angenehme Eigenschaft, elektrisch nicht leitend zu sein. Es kann daher auch bei elektrischen Anlagen wie Serverräumen etc. eingesetzt werden.

## 6 Anwendung im Unterricht

### 6.1 Ocean's Eleven

Die behandelte Filmszene aus dem Film Ocean's Eleven spricht viele physikalische Gebiete an, unter anderem Mechanik (Freier Fall), Optik (Laserlicht), und Magnetismus („Pinch“, Haftkraft). Diese Filmszene eignet sich entweder zum Herausarbeiten eines bestimmten Problems, oder aber um die vielfältigen physikalischen Zusammenhänge in der Realität aufzuzeigen.

Der freie Fall wird in der neunten Schulstufe bzw. zehnten Schulstufe Realgymnasium RG bzw. Gymnasium G im behandelt [9]. Zum Vertiefen und zur praktischen Demonstration des Fallgesetzes kann die Szene nach diesem Gesichtspunkt analysiert werden:

#### 6.1.1 Der freie Fall, Variante I

**Ziel:** Berechnung und Ermittlung der Fallzeit, Mittelwertbildung

**Voraussetzung:** Filmszene, Taschenrechner, Stoppuhren (Handys der SchülerInnen), Taschenrechner bzw. MS Excel

**Dauer:** ca. 30 Minuten

Nach der Diskussion des freien Falls in der Szene werden die Ideen und Vorschläge der SchülerInnen in Hinblick auf die Möglichkeiten der Verifizierung bzw. Falsifizierung besprochen. Zur Verdeutlichung wird das in der fünften/sechsten Klasse erlernte Fallgesetz herangezogen:

$$s = \frac{g}{2} t^2 \quad (6.1)$$

Der Lehrer verrät den SchülerInnen, dass der Liftschacht eine Tiefe von 70 Metern aufweist. Diese Information wird an einer früheren Stelle im Film genannt. Mit dieser Information ist den SchülerInnen klar zu machen, dass die Fallzeit berechnet werden kann. Beziehung (6.1) wird zu

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (6.2)$$

umgeformt. Für  $s$  die angegebenen 70 Meter eingesetzt errechnet sich die Fallzeit zu

$$t = 3,78 \text{ sec.} \quad (6.3)$$

	A	<small>52 x 15</small>
1	3,8	
2	4,5	
3	3,5	
4	3,4	
5	3,9	
6	=mittelwert(A1:A5)	
7		

Abbildung 74 –  
Berechnung des  
Mittelwerts mit MS  
Excel

Um das erhaltene Ergebnis nun zu überprüfen, fordert man die SchülerInnen auf, die Stoppuhren (Handys) bereit zu halten. Alle SchülerInnen sollen die in der Filmszene gezeigte Fallzeit möglichst genau mitstoppen. Den SchülerInnen soll jedoch bereits im Vorfeld klar gemacht werden, dass aufgrund der relativ kurzen Dauer teils große Ungenauigkeiten auftreten können. Daher sollen alle SchülerInnen mit ihrer Stoppuhr (Handy) eine Zeit ermitteln, aufgrund derer der Lehrer im Anschluss (am schnellsten vermutlich mit MS Excel) den Mittelwert errechnet.

Erweiterung: Steht mehr Zeit zur Verfügung, kann die Messung der Fallzeit mehrmals wiederholt werden. Von allen Messungen werden wie oben beschrieben die Mittelwerte berechnet. Nach der Durchführung mehrere Messungen kann von den berechneten Mittelwerten wiederum der Mittelwert gebildet werden. Auf diese Weise lässt sich der Fehler weiter verkleinern.

	A	B	C	D	E
1	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5
2	3,8	3,9	3,7	3,5	3,1
3	4,5	3,9	3,8	3,4	3,1
4	3,5	2,9	3,6	3,7	4,2
5	3,4	3,1	3,6	3,6	4,6
6	3,9	3,7	2,7	3,1	3,7
7	3,82	3,5	3,48	3,46	3,74
8	Mittelwert der Mittelwerte:			3,6	

Abbildung 75 – Berechnung des Mittelwerts der Mittelwerte mit MS Excel

### 6.1.2 Der freie Fall, Variante II

**Ziel:** Bestimmung der Erdbeschleunigung, Mittelwertbildung

**Voraussetzung:** Filmszene, Taschenrechner, Stoppuhren (Handy), Leiter, Plastilin, entsprechend langes Maßband, Taschenrechner bzw. MS Excel

**Dauer:** ca. 40 Minuten

**Hinweis:** Der Lehrer sollte schwindelfrei sein...

Mithilfe der Beziehung

$$s = \frac{g}{2} t^2 \quad (6.4)$$

lässt sich mit einem einfachen Experiment die Gravitationskonstante  $g$  bestimmen.

Ein Schüler wird zum Schreiben an der Tafel bestimmt, ein zweiter Schüler zum Startschuss-Geben. Ein dritter Schüler darf MS Excel bedienen, um die später ermittelten Werte einzutippen. Werden diese drei Arbeiten an SchülerInnen delegiert, ist ein effizientes Arbeiten während des Experiments möglich.

Vor der Durchführung des Experiments werden die Grundlagen zum Experiment erarbeitet: Möchte man sich die Gravitationskonstante aus obigem Gesetz berechnen, muss man dieses zu

$$g = \frac{2s}{t^2} \quad (6.5)$$

umformen. Um  $g$  berechnen zu können, benötigt man daher die Fallhöhe  $s$  sowie die Fallzeit  $t$ .

Das Experiment wird erklärt: Wir lassen eine Kugel aus Plastilin aus einer bestimmten Höhe  $s$  zu Boden fallen. Die Fallzeit  $t$  wird gestoppt. Ein Probewurf zeigt, dass eine relativ kurze Fallzeit erwartet wird, daher droht der Messfehler sehr groß zu werden. Aus diesem Grund stoppen alle SchülerInnen die Fallzeit, ein Schüler tippt im Anschluss daran die Messergebnisse der Reihe nach in MS Excel ein. Auf diese Weise lassen sich die Mittelwerte sehr rasch berechnen. Mit dem Maßband und der Leiter wird eine bestimmte Höhe ausgemessen. Generell gilt: Je höher, desto besser. Für ein möglichst gutes Ergebnis sollte die Höhe mindestens drei Meter betragen. Die Höhe wird an der Tafel notiert.

Die drei SchülerInnen werden hinter dem PC, vor der Tafel und vor der Klasse postiert – der Lehrer steigt mit der Plastilinkugel auf die Leiter. Auf

das Kommando des dritten Schülers lässt der Lehrer die Kugel fallen, und die SchülerInnen starten die Stoppuhren (Ein Handy hat erfahrungsgemäß jeder Schüler mit). Beim Aufprall der Kugel am Boden stoppen die SchülerInnen diese wieder. Aufgrund der theoretisch zu erwartenden Fallzeit von 0,78 s bei einer Fallhöhe von 3 m ist ein Probelauf zu empfehlen. Danach werden die Ergebnisse von einem Schüler der Reihe nach in MS Excel eingetippt. Dabei können ruhig auf offensichtlich falsche Ergebnisse erfasst werden – diese fallen aufgrund der Mittelwertbildung später heraus.

Der Schüler, der für das Startkommando verantwortlich ist, reicht dem Lehrer die Plastilinkugel wieder auf die Leiter, während der Schüler an der Tafel sowie alle anderen SchülerInnen im Heft das Ergebnis der ersten Mittelwertberechnung notieren.

Den Fall der Kugel, das Zeitmessen und die Mittelwertbildung wiederholt man nun je nach verfügbarerer Zeit mehrere Male. Zum Abschluss bildet man den Mittelwert der errechneten Mittelwerte und erhält so einen einzigen Wert für die Fallzeit:

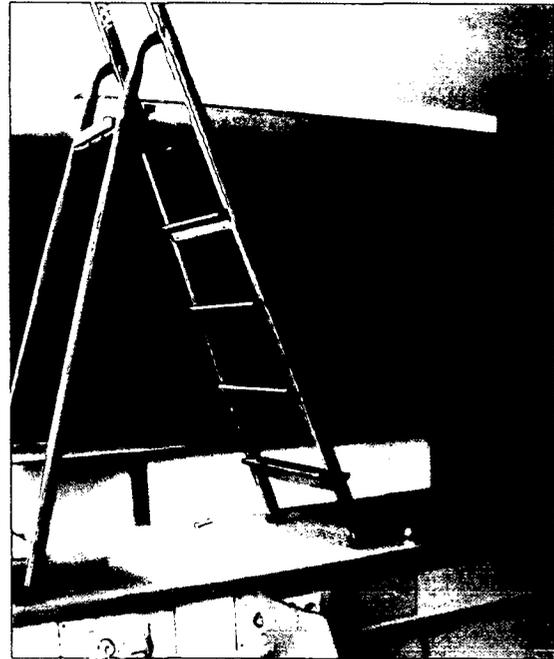


Abbildung 76 – Versuchsanordnung für das Experiment zur Bestimmung der Fallbeschleunigung  $g$ ; auf der Tafel im Hintergrund ist die zugehörige Rechnung erkennbar

11	
12	0,7
13	0,6
14	0,9
15	1,2
16	0,5
17	0,6
18	0,6
19	=Mittelwert(A12:A18)

Abbildung 77 – Berechnung des Mittelwerts einer Messreihe mit MS Excel

	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	
11					
12	0,7	0,9	1,5	0,6	
13	0,6	1,5	0,6	0,7	
14	0,9	0,4	0,7	0,7	
15	1,2	0,6	0,7	1,1	
16	0,5	0,7	0,9	1,6	
17	0,6	0,7	0,9	0,7	
18	0,6	0,9	0,8	0,9	
19	0,73	0,81	0,87	0,90	
20	Mittelwert der Mittelwerte:				0,83
21					

Abbildung 78 – Berechnung des Mittelwerts der Mittelwerte mit MS Excel

Diesen letzten Wert lässt man nun in die Formel einfließen. Zusammen mit der Fallhöhe ergibt sich der Wert der Fallbeschleunigung.

In diesem Fall erhält man mit den Beispieldaten einen Wert von

$$g = \frac{2 \cdot 3}{0,83^2} = 8,71 \text{ m/s}^2. \quad (6.6)$$

Man erhält den Wert für die Fallbeschleunigung mit einer Abweichung von ca. 12%. Bedenkt man die einfachen Hilfsmittel und die dadurch auftretenden Fehler bei der Messung, ist dieser Wert annehmbar gut.

Handwritten calculation on a blackboard:

$$g = \frac{2 \cdot 3,7 \text{ m}}{0,83^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$g = 8,47 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Abbildung 79 – Ergebnis des Experiments mit einer 4. Klasse AHS mit einem Fehler von nur ca. 4%

Auch in Sachen Laserlicht lässt sich ein schönes, wenn auch bekanntes Experiment durchführen. Den SchülerInnen soll demonstriert werden, dass Licht nur in Verbindung mit Reflexion sichtbar ist. Optik ist Stoff der achten Schulstufe (4. Klasse), wobei auch die Entstehung von Licht in Lichtquellen (üblicherweise Glühlampe und Leuchtstofflampe) behandelt wird.

### 6.1.3 Laserlicht/weißes Licht sichtbar machen

**Ziel:** Sichtbarmachen von Lichtstrahlen, Aufzeigen in der Natur

**Voraussetzung:** Filmszene, (am eindruckvollsten mit kompletter) Verdunkelung, sehr staubiges (Tafel-) Tuch, eventuell zusätzlichen Kreidenstaub bereithalten

**Dauer:** ca. 10 Minuten

**Hinweis:** im Anschluss Klassenraum gut lüften, es staubt!

Der Lehrer postiert einen Laser so, dass der Lichtstrahl durch einen möglichst großen, freien Bereich laufen kann, ohne dass ein Schüler in Gefahr läuft, direkt in den Laserstrahl zu blicken.

Man sieht nur den Punkt der Reflexion an der Wand, wo der Laserstrahl auftrifft. Nach der Verdunkelung des Klassenraumes ist weiterhin ausschließlich der Punkt an

der Wand zu sehen. Der Lehrer postiert sich nun in der Mitte des freien Raumes, wo der Laserstrahl durchgeht, und schüttelt oberhalb des (noch unsichtbaren) Strahlenganges das Tuch aus. Plötzlich wird in diesem Bereich der Strahl sichtbar. Er scheint aus dem Nichts aufzutauchen und wieder in Nichts zu verschwinden – bis er erneut an der Wand reflektiert wird, wo er nach wie vor als Punkt zu sehen ist.

Den SchülerInnen ist verständlich zu machen, dass Lichtstrahlen allein nicht sichtbar sind. Erst wenn diese Lichtstrahlen an Körpern, sei es die Wand oder wie in diesem Fall auch an winzig kleinen, aber dafür sehr vielen Staubkörnchen, reflektiert werden, sind sie auch für das menschliche Auge sichtbar.

Erfahrungsgemäß sind viele SchülerInnen der Ansicht, dies sei eine Eigenschaft von Laserlicht, und dass es bei „gewöhnlichem“, weißem Licht einer Glühlampe beispielsweise anders sei.

Der Aufwand, um dieses Experiment mit weißem Licht durchzuführen, ist nicht wesentlich größer, für viele SchülerInnen jedoch fast noch eindrucksvoller. Bei der Durchführung mit weißem Licht muss man darauf achten, dass die Reflexionsfläche an der Wand nicht zu hell erstrahlt. Man kann dies z.B. dadurch erreichen, dass man als „Projektionsfläche“ die Tafel wählt. Die dunkelgrüne Schicht absorbiert den Großteil des Lichtes. Mit einer Sammellinse wird ein breiter, paralleler Lichtstrahl erzeugt, sodass an der Wand ein kreisrunder weißer Fleck sichtbar wird. Der Lichtstrahl selbst ist bei reiner Luft nicht sichtbar. Schüttelt man oberhalb ein staubiges Tuch aus, wird der weiße, breite Lichtstrahl deutlich sichtbar.



**Abbildung 80 – Reflexion von weißem Licht an Kreidestaub**

Zum Thema Magnetismus lassen sich z.B. Schülerexperimente durchführen. Diese Experimente eignen sich ebenso zur Demonstration durch den Lehrer.

In Anlehnung an den Videoclip lassen sich die unterschiedlichen Kräfte in Abhängigkeit des Angriffswinkels betrachten.

### 6.1.4 Magnetismus

**Ziel:** Haftkraft in Abhängigkeit des Angriffswinkels bestimmen

**Voraussetzung:** Stahl- bzw. Eisenplatte, Magnet, Federwaage, Geodreieck

**Dauer:** ca. 30 Minuten

In einem ersten Versuch wird die Haftkraft bei einem Angriffswinkel von  $0^\circ$  ermittelt. Der Magnet wird auf die Stahlplatte gelegt, die Federwaage misst die Haftkraft. Vorsicht auf den abfallenden Magneten!

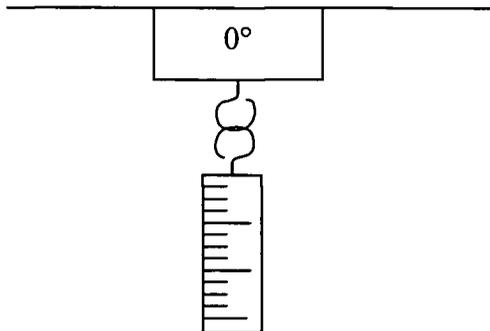


Abbildung 81 – Skizze des Versuchsaufbaus 1

Der Wert der Kraft in Newton wird notiert.

Je nach verfügbarer Zeit sollen in gleichmäßigen Winkel-Abständen die Kräfte gemessen werden, die nötig sind, um den Magneten zu bewegen:

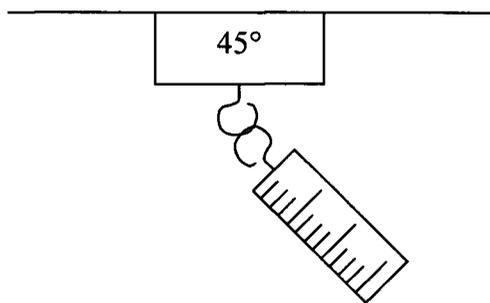


Abbildung 82 – Skizze und Bild des Versuchsaufbaus 2

Auf jeden Fall jedoch soll die Kraft bei einem Angriffswinkel von  $90^\circ$  gemessen werden, da dies im Videoclip gezeigt wird. In dieser Konfiguration muss die Vorrichtung die Kraft der beiden Einbrecher aushalten – und zusätzlich auch noch die Kraft, die beim abrupten Abbremsen auftritt:

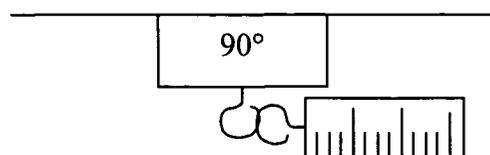


Abbildung 83 – Skizze und Bild des Versuchsaufbaus 3

Wie groß ist die Kraft, die dazu nötig ist, den Magneten zu bewegen? Diese Haftreibungskraft darf die Haftkraft des Magneten nicht überschreiten, sonst würden die beiden Helden im Film hart auf den Boden aufprallen!

Auch wenn diese Experimente nicht leicht durchzuführen sind, sollte doch ersichtlich sein, dass die benötigte Kraft bei  $90^\circ$  deutlich geringer ist als bei einem Angriffswinkel von  $0^\circ$ . Doch diese deutlich geringere Kraft muss immer noch größer sein als die größte an der Aufhängung auftretende Kraft (insbesondere beim abrupten Abbremsen aufgrund des zu kurzen Seil).

## 6.2 Speed

Der Inhalt des Videoclips aus Speed beschäftigt sich mit dem schiefen Wurf – der Wurfparabel. Wir betrachten daher einige Experimente zu diesem Thema. Alle diese Experimente haben das Analysieren der Wurfparabel zum Ziel:

### 6.2.1 Wurfparabel eines Weitspringers.

**Ziel:** Analysieren einer Wurfparabel

**Voraussetzungen:** Videokamera mit Standbildfunktion (evt. Digitalkamera mit Mehrbildaufnahmen-Funktion), Projektion im PH-Saal/Klasse auf Tafel mit Beamer

**Dauer:** 20 Minuten + 50 Minuten

In einem ersten Teil von ca. 20 min Dauer geht man nach einer Einführung in das Experiment mit der Klasse ins Freie, um einen Weitsprung mithilfe einer Videokamera fest zu halten. Die Videokamera soll mithilfe einiger Probesprünge so positioniert werden, dass sowohl der Absprung als auch die gesamte Flugphase auf einem einzigen Bild ohne Schwenk zu sehen ist. Um die spätere Auswertung zu erleichtern, kann man den Springer seitlich in Höhe der Hüfte (Schwerpunkt) markieren, z.B. mit einem etwas größeren, runden Aufkleber.

Mit dem Filmmaterial kehrt man zurück in den PH-Saal bzw. in die Klasse (2. Stunde des Experiments). Man projiziert das Standbild genau vor dem Absprung in passender Größe an die Tafel. Dazu schließt man entweder die Videokamera direkt an den Beamer an (wenn die Videokamera eine Standbild-Funktion unterstützt), oder man überspielt die Aufnahme auf den Computer und verwendet einen Media Player<sup>56</sup>.

Wenn man den Schwerpunkt des Schülers vor der Aufnahme nicht markiert hat, muss man diesen nun auf der Tafel schätzen. Wichtig ist, sich die Stelle genau zu merken, da in allen weiteren Aufnahmen derselbe Punkt genommen werden muss.

<sup>56</sup> Sehr gut geeignet zum Abspielen von Videos der verschiedensten Formate ist der „Media Player Classic“, der zusammen mit dem Codec-Pack K-Lite-Megapack kostenlos im Internet heruntergeladen werden kann, z.B. unter <http://www.k-litecodecpack.com>.

Man überträgt den Schwerpunkt am Absprung an die Tafel. Durch diesen Punkt legt man nun das Koordinatensystem. Nach und nach überträgt man von den Einzelbildern den Schwerpunkt in das Diagramm auf der Tafel.

Nach Abschluss hat man die Bewegungskurve des Schwerpunkts als Wurfparabel im Diagramm. Damit lässt sich nun weiterarbeiten.

Praktische Tipps:

- Beim Arbeiten mit der Videokamera ist darauf zu achten, dass die Sonne (sofern sie scheint) im Rücken ist, und nicht gegenüber.
- Bei schnellen Bewegungsabläufen ist ebenso sicherzustellen, dass die einzelnen Bilder nicht verschwommen aufgenommen werden – ggf. ist der Shutter (die Verschlusszeit) manuell auf einen höheren Wert einzustellen, sofern dies möglich ist. Bei kürzeren Verschlusszeiten ist jedoch auf eine korrekte Belichtung zu achten, sodass die Bilder nicht zu dunkel werden.

## 6.3 Titanic

In der Analyse der Filmszene wurden der Eisberg (Wasser und seine Eigenschaften) sowie die Steuerung des Schiffs angesprochen. Hier sollen einige Experimente vorgestellt und besprochen werden, die im Zuge der Analyse der Filmszene ausgewählt und der Klasse demonstriert werden können.

### 6.3.1 Wasser und seine Eigenschaften

#### 6.3.1.1 Kältemischung (Ref. [25])

**Ziel:** Die Eigenschaften von Salzwasser kennen lernen

**Voraussetzungen:** Gefäß (besser schmal und hoch als breit und niedrig), Eiswürfel, Kochsalz, Thermometer

**Dauer:** Durchführung ca. 10 min, erstes Ergebnis nach ca. 1 Stunde

Die Durchführung des Versuchs ist relativ einfach – in das Gefäß werden Eiswürfel und Salz im Verhältnis 3 zu 1 gemischt. Pro drei Eiswürfel verteilt man einen Teelöffel Kochsalz über das Eis. Diesen Vorgang wiederholt man mehrere Male. Nun heißt es warten.

Was geschieht? Salz hat die Eigenschaft, den Gefrierpunkt von Wasser abzusenken. Unter Normaldruck gefriert Wasser bei  $0^{\circ}\text{C}$ . Mischt man jedoch Salz in das Wasser, sinkt der Gefrierpunkt unter  $0^{\circ}\text{C}$ . Auf diese Weise lässt sich Wasser im flüssigen Zustand unter  $0^{\circ}\text{C}$  erreichen.

Das Salz löst sich, indem die Wasserdipole die Ionen des Salzes umhüllen und so aus dem Ionengitter herausbrechen. Dies ist ein endothermer Vorgang. Das bedeutet, es wird Energie benötigt. Diese Energie wird aus dem umgebenden Wasser entnommen.

Woher kommt das Wasser, wenn wir nur Eis beifügen? Eis schmilzt unter Druck, also auch unter Luftdruck. Deshalb ist Eis immer mit einer dünnen Schicht Wasser

überzogen. Das feste Eis befindet sich mit dieser Wasserschicht in einem energetischen Gleichgewicht. Dieses Wasser wird nun zum Lösen des Salzes benötigt. Aufgrund des ständig wirkenden Luftdrucks wird dieses laufend nachgebildet – das Eis verschwindet langsam.

Insgesamt kommt es zum Lösen von Eis und Salz. Die Schmelzwärme des Eises und die Lösungswärme des Salzes werden beide aus der Umgebung genommen, dadurch lassen sich Temperaturen unter  $-20^{\circ}\text{C}$  erreichen.

Ein ähnlicher Versuch funktioniert auch mit Wasser und Salz – hierbei fehlt allerdings der Entzug der Schmelzwärme des Eises, und die Temperatur sinkt nicht so stark.

### 6.3.1.2 Anomalie des Wassers

**Ziel:** Anomalie des Wassers sichtbar machen

**Voraussetzungen:** Kältemischung, Reagenzglas, kaltes Wasser

optional: Reagenzglas, flüssiges Kerzenwachs

**Dauer:** etwa 30 – 60 Minuten

Wir verwenden eine Kältemischung (siehe Versuch a.), um Wasser einzufrieren. Dazu markieren wir ein Reagenzglas in einer Höhe von 10 cm und füllen das Reagenzglas bis dorthin mit möglichst kaltem Wasser. Dann fixieren wir das Reagenzglas in der Eismischung. Wenn das Wasser im Reagenzglas gefroren ist, sollte der „Eisspiegel“ in etwa um einen Zentimeter höher bei 11 cm liegen.

Als Vergleichsversuch kann ein zweites Reagenzglas bei 10 cm markiert werden. In dieses füllt man bis zu dieser Marke flüssiges Kerzenwachs. Wenn dieses erstarrt, dehnt es sich nicht aus, sondern zieht sich zusammen.

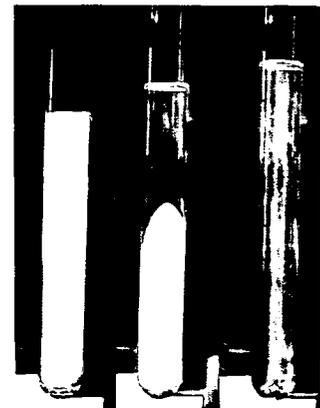


Abbildung 84 – links: festes Kerzenwachs, mitte: halb verflüssigt, rechts: gänzlich verflüssigt

### 6.3.1.3 Felssprengung

**Ziel:** Anomalie des Wassers sichtbar machen

**Voraussetzungen:** Gefrierschrank, (kleine) Glasflasche mit fest schließendem Deckel, kaltes Wasser, (mindestens) zwei Plastiksackerl

optional: (kleine) Plastikflasche mit fest schließendem Deckel

**Dauer:** mehrere Stunden

Man füllt die Glasflasche bis zum Rand mit möglichst kaltem Wasser. Nach festem Verschließen mit dem Deckel sollte nach Möglichkeit keine Luftblase in der Flasche sein. Eine Möglichkeit wäre, die Glasflasche unter Wasser zu verschließen.

Optional kann derselbe Versuch gleichzeitig mit einer Plastikflasche durchgeführt werden.

Bevor die Glasflasche in das Gefrierfach kommt, wird diese in (mindestens) zwei Plastiksackerl eingewickelt und gut verschlossen. Nach mehreren Stunden (je

nachdem wie kalt das eingefüllte Wasser war) wird die Glasflasche zersprungen sein – eine direkte Folge der Anomalie des Wassers. Auf dieselbe Weise werden im Gebirge Felsen gesprengt u. ä.

Die Plastikflasche zerspringt im Allgemeinen nicht, da sich das Plastik ausdehnt. Die Flasche wird „prall“ gefüllt und steinhart sein.

### 6.3.2 Pivotpunkt

Die Steuerung von Schiffen – vor allem, wenn man sie noch nie selbst erlebt hat – mag auf den ersten Blick verwundern. Vor allem die Tatsache der fehlenden Reibung wird SchülerInnen Schwierigkeiten bereiten. Es gibt einen einfachen Weg, um den Pivot-Punkt sichtbar zu machen:

**Ziel:** einfache Sichtbarmachung des Pivot-Punktes

**Voraussetzungen:** Symmetrische Stifte (z.B. Bleistift, Fineliner), asymmetrische Stifte

**Dauer:** 10 Minuten

Man legt einen Stift auf eine möglichst glatte Oberfläche. Dann schnippt man den Stift mit Daumen und Zeigefinger (Mittelfinger) ganz am Rand an, sodass dieser nicht vom Tisch gestoßen wird. Klappt der Versuch, dreht sich der Stift nun um seinen Pivot-Punkt.

## 6.4 Apollo 13

Der physikalische Aspekt, der anhand des Videoclips aus dem Film Apollo 13 erörtert wird, betrifft den Impuls bzw. das Betrachten von Kräften in verschiedenen Bezugssystemen.

Als ersten Versuch lässt sich eine kleine, selbst gebastelte Rakete starten, um das Prinzip des Rückstoßes zu erklären:

### 6.4.1 Rakete im Eigenbau

**Ziel:** Demonstration des Rückstoßprinzips

**Voraussetzungen:** leere Filmdose (bzw. leere (Multi-)Vitamin-tabletten-Dose oder ähnliches), Brausetablette, etwas Wasser; ev. buntes Papier zum Verzieren, Klebstoff

**Dauer:** 50 Minuten (Vorbereitung und Start)

Aus dem bunten Papier werden verschiedene Zusatz-Teile für die Rakete ausgeschnitten, zum Beispiel Seitenstabilisatoren in Form von vier Dreiecken, und ein Kegel als Spitze der Rakete. Alle Teile werden mit Klebstoff an die leere Filmdose geklebt, und zwar so, dass der Deckel der Filmdose am Boden steht (das untere Ende der Rakete bildet).

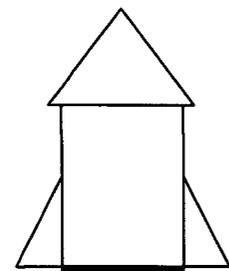


Abbildung 85 –  
Skizze der  
Filmdosen-Rakete

Für den Raketenstart selbst sollte man unbedingt ins Freie gehen. Mitzunehmen sind etwas Wasser für jede Rakete, sowie einige Brausetabletten.

Die Rakete wird umgedreht und geöffnet. Die Filmdose sollte etwa zu einem Viertel mit Wasser gefüllt werden. Je nach Größe Dose kommt nun eine viertel bzw. halbe Brausetablette in die Dose. Man schließt den Deckel wieder, und stellt die Rakete auf eine feste, möglichst waagrechte Unterlage (Boden). Es ist darauf zu achten, dass die Filmdose wirklich komplett verschlossen ist! Nach kurzer Zeit startet die Rakete explosionsartig.

Was ist geschehen? Kommt die Brausetablette mit Wasser in Verbindung, beginnt sie sich aufzulösen. Wenn sich die Tablette in Wasser löst, entsteht dabei unter anderem gasförmiges Kohlenstoffdioxid. Jeder, der bereits eine Brausetablette als Getränk zubereitet hat, kennt den Effekt. Das Gas benötigt jedoch viel Platz. Bei der Zubereitung im Glas entweicht das Kohlenstoffdioxid in die Luft (bzw. ist als Perlen im Glas sichtbar), doch in der (fest) verschlossenen Filmdose kann es nicht entweichen. Es entsteht ein Überdruck, der sich solange erhöht, bis er größer ist als die Kraft, die den Deckel auf der Dose hält. Dann wird der Deckel mitsamt dem Wasser und dem Rest der Brausetablette abgesprengt, und zwar nach unten. Da die Rakete am Boden steht, wird die Bewegung des Deckels durch den Boden blockiert. Beim Absprengen tritt nach dem dritten Newtonschen Axiom jedoch auch eine Gegenkraft auf: Actio ist gleich Reactio. Diese Reactio wirkt in die entgegengesetzte Richtung, also nach oben. Somit wird der obere Teil der Filmdose – die Rakete – nach oben weg geschleudert.

Beim Start einer echten Rakete wird der Rückstoß durch das Verbrennen enormer Mengen an Kerosin, Wasserstoff und Sauerstoff erreicht. Bei einer Saturn V-Rakete werden für die einzelnen Stufen folgende Materialien verwendet

- 1. Stufe: Kerosin + Sauerstoff
- 2. Stufe: Wasserstoff + Sauerstoff
- 3. Stufe: Wasserstoff + Sauerstoff

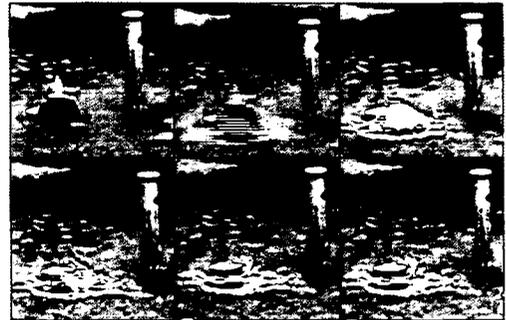


Abbildung 86 – Sechs Bilder vom explosiven Start der Rakete; bei Bild 2 ist die Rakete bereits gestartet, das verschwommene Bild ist eine Folge der Videokompression MPEG

Bei der Saturn V-Rakete wurde ein Startschub von rund 3400 Tonnen erreicht (bei einem Startgewicht von ca. 2900 t).

Weitere Überlegungen bzw. Versuchsanregungen:

- Wird die Schubkraft größer/kleiner, wenn man die Rakete mit mehr Wasser befüllt?
- Wird die Schubkraft größer/kleiner, wenn man ein größeres Stück Brausetablette zugibt?

### 6.4.2 Absprengung, oder Der Auffahrunfall

**Ziel:** Richtung der Kraftwirkung

**Voraussetzungen:** zwei Versuchswagen mit Kupplungsfeder, eine Wagenschiene, ev. eine Plastikfigur

**Dauer:** ca. 10 Minuten

Bei der analysierten Filmszene galt es, die Wirkrichtung der Kraft bei Absprengen der ersten Stufe zu diskutieren und kritisieren. Dies soll nun anhand eines Experiments nachvollzogen werden.

Anhand des vorhergehenden Versuchs mit der Rakete kann den SchülerInnen verständlich gemacht werden, dass bei der Absprengung (actio) eine Kraft nach vorne (oben, reactio) auftritt. Im vorliegenden Versuch lässt sich diese Kraft durch einen Wagen simulieren, der auf einen stehenden zweiten Wagen auffährt. Der Versuch sollte vorerst ohne Plastikfigur durchgeführt und diskutiert werden.

Ist das Prinzip einmal verstanden, setzt man die Figur in den stehenden Wagen. Trifft der zweite auf den ersten Wagen, wird die Figur nach hinten geschleudert.

Es lassen sich Parallelen ziehen zu einem Auffahrunfall im Straßenverkehr. Genau aus diesem Grund sind Kopfstützen wichtig, da sie den (schweren) Kopf im Falle eines Auffahrunfalls auffangen. Wäre dies nicht der Fall, würde der Kopf nur gebremst durch die schwachen Halswirbel und -muskeln nach hinten geschleudert, und eine Verletzung im Halswirbelbereich wird wahrscheinlich. Verletzungen dieser Art können von Wirbelstauchungen bis hin zu Querschnittslähmungen gehen. Im schlimmsten Fall ist die Verletzung tödlich (Genickbruch).

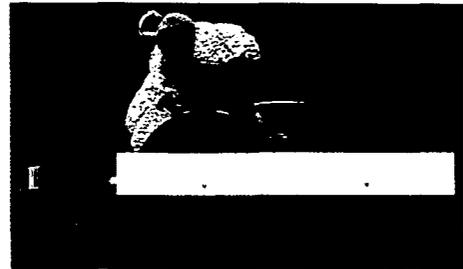


Abbildung 87 – Die Figur wartet auf den "Auffahrunfall" – ohne Kopfstütze



**Abbildung 88 – Der rechte Wagen wird nach dem Auffahrunfall des linken Wagens nach rechts weg beschleunigt. Die Figur wird aufgrund der Trägheit nach hinten (links) geschleudert.**

## **6.5 Contact**

Der Film Contact beschäftigt sich mit der Existenz außerirdischen Lebens. In diesem Fall wurde der Kontakt zur Physik durch Wellen hergestellt. Ein kleines Experiment beschäftigt sich mit dem Empfang von Wellen.

### **6.5.1 Empfang von Wellen – Faradayscher Käfig**

**Ziel:** Abschirmung von Wellen

**Voraussetzungen:** kleines Kofferradio, größeres Sieb aus Metall

**Dauer:** ca. 10 Minuten

Man stellt das Kofferradio auf einen Tisch und schaltet das Radio ein, sodass ein Programm zu hören ist. Stülpt man nun das Sieb über das Radio, beendet dieser sein Programm.

Der Grund dafür ist, dass mit dem Drahtsieb ein Faradayscher Käfig rund um das Radio aufgebaut wird. Das Innere eines Faradayschen Käfigs ist feldfrei, der Radio kann also keine elektromagnetischen Wellen empfangen.

### **6.5.2 Projekt „extraterrestrisches Leben“**

**Ziel:** Beschäftigung mit dem Thema „Außerirdisches Leben“

**Voraussetzungen:** EDV-Saal, Literatur, Präsentationsmöglichkeiten

**Dauer:** 170 Minuten (20 Minuten + 3 x 1 Stunde) + Präsentationen

Eine umfassendere Möglichkeit, eine Unterrichtseinheit zum Thema „außerirdisches Leben“ zu gestalten, besteht darin, SchülerInnen in einer ersten Stunde über verschiedene Aspekte zu diesem Thema recherchieren zu lassen, und unter Einübung bzw. Festigung von Präsentationstechniken die Ergebnisse vorstellen zu lassen.

In den letzten 20 Minuten einer Stunde wird den SchülerInnen das Projekt vorgestellt sowie die SchülerInnen den entsprechenden Gruppen zugeteilt.

- a. Teil 1: SchülerInnen sollen Zettel und Stift bereithalten, sie haben 30 Sekunden Zeit, nach der Nennung des Begriffes „Außerirdisches Leben“ alles zu notieren, was ihnen ganz spontan dazu einfällt. Nach 30 Sekunden lässt man die Stifte beiseite legen, und die SchülerInnen nennen ihre Assoziationen. Der Lehrer ordnet die genannten Begriffe, z.B. an der Tafel oder auf Overheadfolie, nach den Themen

- [Leben in unserem] **Sonnensystem**  
Beispiele: Marsmännchen, Venus, ...
- [Leben im] **Universum**  
Beispiele: Exoplaneten, Andromeda, ...
- [außerirdisches Leben in] **Filmen**  
Beispiele: Fantasyfilme, Alien, M(en)I(n)B(lack), E.T., ...
- **UFOs**  
Beispiele: Scheibe, (farbige) Lichter, Erscheinungen, Entführung, ...
- [konkrete] **Ereignisse**  
Beispiele: Area 51, Roswell, ...
- [allgemein] **Exobiologie** (außerirdisches Leben)  
Beispiele: kleine grüne Männchen, gibt es nicht, ...

Im Anschluss kann durchaus eine Diskussion entstehen, in der weitere wichtige Begriffe genannt werden, die noch in die Liste zusätzlich aufgenommen werden. Die SchülerInnen sollen nun nach bestimmten Begriffen in Literatur bzw. Internet suchen. Die Auswahl aus den genannten Begriffen trifft der Lehrer.

- b. Teil 2: Der zweite Teil des Projekts sollte im EDV-Saal stattfinden. Die SchülerInnen haben nun eine Stunde lang die Gelegenheit, über das von ihnen gewählte Thema zu recherchieren. Der Lehrer kann nach Möglichkeit vorhandene Literatur mitbringen; ein (Unter-)Ziel soll jedoch sein, dass SchülerInnen aus den Tiefen des Internets die wesentlichen Informationen herausfiltern lernen.

Mögliche Startquellen: Suchmaschinen wie [www.google.at](http://www.google.at), [www.yahoo.de](http://www.yahoo.de) u.ä., Lexika wie [de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org) u.ä. Auch Seiten wie [www.ufo.at](http://www.ufo.at), [www.alien.de](http://www.alien.de), usw. Von den SchülerInnen ist darauf zu achten, dass die Quellen (möglichst) seriös sind. Die SchülerInnen sollten auf jeden Fall ein Quellenverzeichnis führen!

- c. Teil 3: Die gesammelten Informationen werden nun in Form von Präsentationen verarbeitet. Die Präsentationen können mithilfe jeder passenden und verfügbaren Methode geschehen, die verfügbar ist (Beamer, Overhead, Flipchart, Tafel,

Plakat, Experiment, ...). Jede Gruppe sollte dabei überdies eine Zusammenfassung für die Klassenkameraden erstellen.

- d. Teil 4: In Kurzpräsentationen werden die Ergebnisse der einzelnen Gruppen vorgestellt.

## 6.6 Deep Impact

### 6.6.1 Meteoriteneinschlag in der Klasse

**Ziel:** Entstehung von Meteoritenkrater

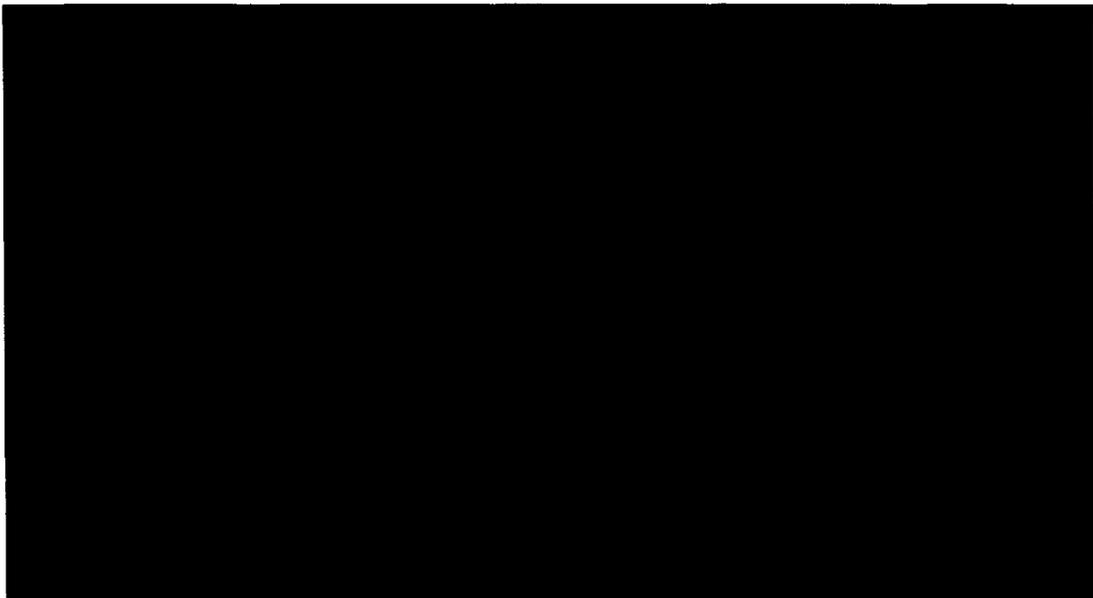
**Voraussetzungen:** Wanne, Mehl, Kakaopulver, verschieden große und verschieden schwere Kugeln (z.B. Murmeln)

**Dauer:** ca. 20 Minuten

Man füllt eine Wanne gleichmäßig mit einigen wenigen Zentimetern Mehl. Darüber streut man eine feine Schicht Kakao. Die Kakaoschicht stellt die dünne Erdkruste dar.

Mit den Kugeln stellt man verschieden große und verschieden schwere Meteoriten dar. Lässt man diese aus unterschiedlichen Höhen in den Sand fallen, können zusätzlich verschiedene Einschlagsgeschwindigkeiten nachgestellt werden. Entfernt man die Kugel nach dem Einschlag vorsichtig wieder aus dem Sand, bleibt eine kraterförmige Einbuchtung zurück.

Interessant zu beobachten ist vor allem auch die „wepspritzende“ Materie beim Einschlag des Meteoriten.



**Abbildung 89 – Bei einem Kometeneinschlag wird Materie in einem weiten Radius verstreut, hier simuliert mit kakaobestreutem Mehl mit einer kleinen Eisenkugel als Meteorit**

## 6.7 Herrschaft des Feuers I

Im ersten Experiment wollen wir uns mit der Entflammbarkeit beschäftigen. Welche Bedeutung hat die Entzündungstemperatur, der Flammpunkt?

### 6.7.1 Drachenflug und Feuerspei im PH-Saal

**Ziel:** Entzündungstemperatur austesten

**Voraussetzungen:** Verschiedene brennbare Materialien (Holzspäne, Papier, lange Haare, grüne/trockene Blätter, Stoffe, ...), Bunsenbrenner

**Dauer:** ca. 20 Minuten

**Hinweis:** Vorsicht, Brandgefahr! Die Experimente müssen auf einer feuerfesten Unterlage durchgeführt werden; ein Feuerlöscher muss in Reichweite sein! Diese Experimente sind vom Lehrer vorzuführen!

Auf einer feuerfesten Unterlage wird eines der Materialien, zum Beispiel ein zerknülltes Blatt Papier gelegt. Der Drachenflug wird mithilfe eines voll aufgedrehten Bunsenbrenners simuliert, der vom Lehrer „im Tiefflug“ langsam über das Papier gezogen wird. Die Frage ist: Fängt das Papier Feuer? Was ist der Unterschied zwischen trockenem und feuchtem Papier?

Das Experiment wird mit den anderen Materialien wiederholt – Vorsicht vor allem bei menschlichem Haar (trocken und nass)!

Dass nicht jedes Material zu brennen beginnt, liegt daran, dass beim „Darüberflug“ des Drachens nicht immer die notwendige Entzündungstemperatur erreicht wird. Die Entzündungstemperatur (der Flammpunkt) ist diejenige Temperatur, ab der ein Stoff zu brennen beginnt. Ein Stoff mit Zimmertemperatur muss von der Flamme erst auf den Flammpunkt erhitzt werden. Ist die Zeit dafür zu kurz, erhitzt sich der Stoff zwar, beginnt jedoch nicht zu brennen (siehe auch das folgende Experiment zur Demonstration des Flammpunkts – Kochen im Papiertrichter).

Bei manchen Materialien wie zum Beispiel bei menschlichem Haar ist die Entzündungstemperatur sehr schnell erreicht.

Mit diesem Experiment soll verdeutlicht werden, dass es insbesondere bei feuchten bzw. nassen Bedingungen wie im Film sehr unwahrscheinlich wird, dass ein Drache mit einem einzigen Darüberflug einen großen Teil eines nebelfeuchten Feldes in Flammen setzt.



Abbildung 90 – Mit Bunsenbrenner simulierter Drachenflug über Papier – es glimmt, fängt jedoch kein Feuer

### 6.7.2 Kochen im Papiertrichter

**Ziel:** Aufzeigen des Flammpunkts

**Voraussetzungen:** (etwas dickeres) Papier, Schere, Klebstoff, Wasser, Kerze, Faden, Tixo

**Dauer:** ca. 20 Minuten

**Hinweis:** Vorsicht Brandgefahr! Das Experiment muss auf einer feuerfesten Unterlage durchgeführt werden; ein Feuerlöscher muss in Reichweite sein!

Aus einem Stück Papier wird ein nicht zu kleiner Kreis ausgeschnitten (Durchmesser ca. 15cm). Der Kreis wird an einer Linie aufgeschnitten, ein etwas steilerer Kegel daraus geformt und mit Klebstoff gut verbunden.

Zusätzlich kann mit drei Fäden noch eine Halterung mit Tixo am Kegel befestigt werden.

Die Kerze wird auf die feuerfeste Unterlage gestellt und angezündet. In den Trichter aus Papier wird Wasser gefüllt und über der Flamme erhitzt. Der Papiertrichter entzündet sich nicht.

Der „Trick“ dabei besteht darin, dass die Entzündungstemperatur von Papier höher liegt als 100°C. Während das Wasser jedoch nicht kocht und vollständig verdampft ist, steigt die Temperatur jedoch nicht über knapp unter 100°C. So ist es möglich, Wasser im Papier zu kochen.

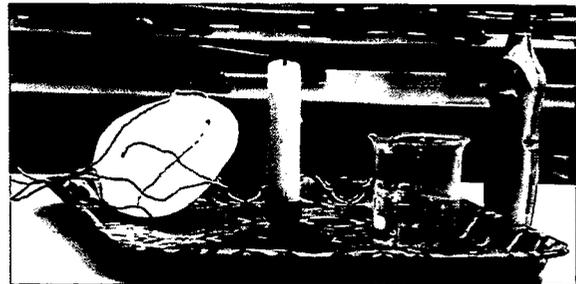


Abbildung 91 – Alles bereit für das Kochen von Wasser in einem Papiertrichter

## 6.8 Herrschaft des Feuers II

### 6.8.1 Eine heiße Türe

**Ziel:** Wärmeleitfähigkeit demonstrieren

**Voraussetzungen:** Bunsenbrenner, Wachs- bzw. Plastilinkügelchen, Eisenstange

**Dauer:** ca. 20 Minuten

**Hinweis:** Vorsicht Brandgefahr! Das Experiment muss auf einer feuerfesten Unterlage durchgeführt werden; ein Feuerlöscher muss in Reichweite sein!

Die Wachs- bzw. Plastilinkügelchen werden auf der Unterseite einer Eisenstange in gleichmäßigen Abständen leicht angedrückt, sodass sie leicht kleben bleiben. An einem Ende der Eisenstange wird unterhalb der Bunsenbrenner positioniert.

Nach dem Anzünden des Brenners breitet sich die Wärme in der Eisenstange aus – immer vom Heißen zum Kälteren hin. Erreicht die Temperatur der Eisenstange eine bestimmte Temperatur, löst sich das Wachs- bzw. Plastilinkügelchen. Die Kügelchen fallen der Reihe nach von der

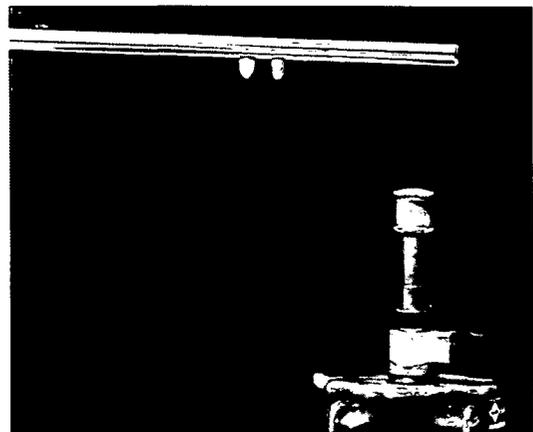


Abbildung 92 – Die Wärme breitet sich in obigem Experiment in der Eisenstange von rechts nach links aus - im Bild fällt gerade das zweite Kügelchen (das erste klebt bereits am Bunsenbrenner).

Stange. Sind die Abstände zwischen den Kügelchen gleich groß, sollte auch die verstrichene Zeitdauer in etwa immer dieselbe sein.

## 6.9 Twister

### 6.9.1 Tornado im Wasserglas

**Ziel:** Die Struktur eines Tornado kennen lernen

**Voraussetzungen:** großes Glas zu 2/3 mit Wasser gefüllt, Löffel, zweites Glas mit wenig Wasser, Lebensmittelfarbe, Pipette

**Dauer:** ca. 10 Minuten

Tornados sind vor allem aus Amerika bekannt, in China und Japan kennt man sie unter dem Namen Taifun. Sehr selten treten Tornados auch in Österreich auf, zuletzt am 11. März 2006 in Weitensfeld im Gurktal, Kärnten ein Tornado der Stärke F2/T5. Ein Kleinbus wurde rund zwei Meter in die Höhe geschleudert und prallte anschließend gegen zwei PKWs.

Die Struktur eines Tornado lässt sich mithilfe eines Wasserglases zeigen. Dazu ist eine kurze Vorbereitung nötig: Dem zweiten Glas mit wenig Wasser wird eine kleine Menge Lebensmittelfarbe zugegeben. Die Konzentration sollte sehr stark sein. Eine kleine Menge des stark gefärbten Wassers wird in die Pipette aufgenommen.

Das Wasser im großen Glas wird in gleichmäßigen Bewegungen mit dem Löffel in stärkere Rotation versetzt. Währenddessen wird das gefärbte Wasser in der Pipette schnell eingetrofft.

Kurze Zeit wird der Wirbel in der Farbe der Lebensmittelfarbe eingefärbt und der Tornado ist schön sichtbar. Danach färbt die Lebensmittelfarbe das gesamte Wasser ein.

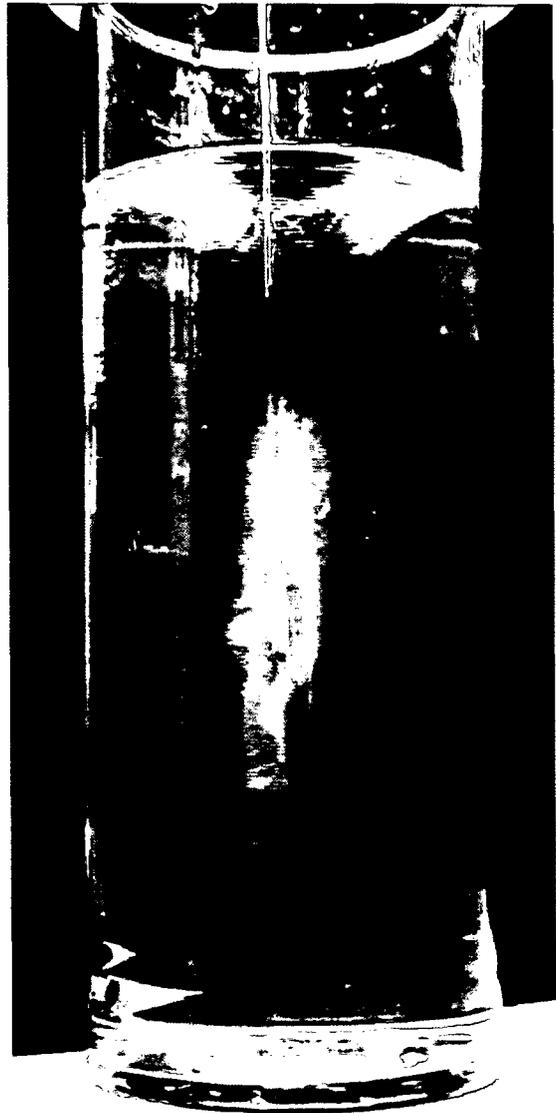


Abbildung 93 – Sturm im Wasserglas: Bereits ohne gefärbtem Wasser ist die "Windhose" gut erkennbar. Hier wurde das gefärbte Wasser soeben zugegeben.

## 7 Auswertung der Interviews

---

Um die Akzeptanz der Videoclip-Analyse von LehrerInnen zu untersuchen, wurden einige Interviews mit LehrerInnen durchgeführt.

In Vorbereitung auf das Projekt wurden 14 Filmszenen aus 13 Kinofilmen vorbereitet und analysiert. Jeder Lehrer/jede Lehrerin erhielt zwei Szenen, möglichst passend zum aktuellen Stoffgebiet. Einige Clips wurden bewusst ohne jeden Bezug zum Stoffgebiet ausgegeben, um die Möglichkeiten der „Auflockerung“ mittels Filmanalyse zwischen zwei Stoffkapiteln zu untersuchen. Bedingung war, dass alle zwei Videoclips in derselben Klasse innerhalb eines Semesters gezeigt werden.

Jeder Lehrer/jede Lehrerin erhielt folgende Unterlagen:

- eine CD mit MPEG-Formaten der Videoclips,
- je eine CD im SVCD-Format der Videoclips,
- pro Videoclip ein Übersichtsblatt mit Inhalt des Films, Inhalt der Szene und möglichen Analysepunkten (die für das EU-Projekt CISCI<sup>57</sup> modifizierten Übersichtsblätter sind in Anhang A zu finden), und
- einen Vorschlag zur Durchführung der Stunden (siehe Anhang C).

Auf der Suche nach Lehrkräften beschränkte ich mich auf den Wiener Raum, da ich die Interviews persönlich durchführen wollte. Unter Zuhilfenahme eines Online-Schulführers<sup>58</sup> durchsuchte ich alle Websites der Wiener AHS nach Email-Adressen von Physik-LehrerInnen. Von 78 LehrerInnen waren 36 Email-Adressen auffindbar zu machen. Mit diesen 36 Personen nahm ich per Email Kontakt auf. Zur Information erstellte ich eine einfache Homepage unter <http://dissertation.skrejci.com>, wo ich unter anderem auch über meine eigenen Erfahrungen berichtete.

Von 36 Emails kamen acht Antworten. Für diese acht Personen stellte ich jeweils das oben beschriebene Paket zusammen und verschickte es innerhalb der ersten zwei Wochen des Sommersemesters 2006 per Schulpost bzw. übergab es persönlich. Um Ostern schickte ich an diese acht Personen ein Erinnerungsmail aus. Gegen Ende des Sommersemesters erhielt ich von drei dieser Personen Interviews.

Diese Studie erhebt somit keinerlei Anspruch auf Repräsentativität, aber trotzdem lassen sich einige grundlegende Vor- bzw. Nachteile der Methode der Filmanalyse im Unterricht herauslesen.

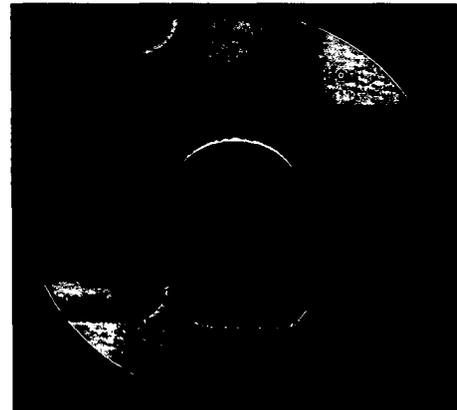


Abbildung 94 – CD mit zwei Filmclips für teilnehmende LehrerInnen (der Name wurde entfernt)

<sup>57</sup> CISCI ... Cinema and Science, [www.cisci.net](http://www.cisci.net)

<sup>58</sup> [www.eduhi.at](http://www.eduhi.at) bzw. [www.schule.at](http://www.schule.at) → Schulführer

Die Interviews bestanden im Wesentlichen aus den folgenden Fragen:

1. Motivation der SchülerInnen im PH-Unterricht
2. Beschreibung der Analyse der ersten Filmszene (Vorbereitung, Durchführung, Schwierigkeiten, Reaktion der SchülerInnen, persönliche Erfahrung)
3. Beschreibung der Analyse der zweiten Filmszene
4. Vorteile/Schwierigkeiten dieser Unterrichtsmethode
5. Allfällige weitere Kommentare, Wünsche, Anregungen, ...

Die Interviews wurden auf Band aufgenommen und anschließend transkribiert (siehe Anhang B). Die folgende „Auswertung“ der Interviews ist eine kurze, prägnante Zusammenfassung der Interviews. Im Zuge der Anonymisierung wurden die Interviews mit den willkürlichen Abkürzungen I-1, I-2 und I-3 versehen. Unter dieser sind sie auch in Anhang B zu finden.

### **7.1 Durchführung**

**I-1:** 6. Klasse Gymnasium, drei Wochenstunden Physik

**I-2:** 6. Klasse Gymnasium, zwei Wochenstunden Physik

**I-3:** 6. Klasse Gymnasium, drei Wochenstunden Physik

### **7.2 Voraussetzungen**

**I-1:** 19 SchülerInnen, zwei bis drei SchülerInnen schwach, eher unmotiviert, eher kein hohes Niveau

**I-2:** 10 SchülerInnen, Klasse mittel bis schwach

**I-3:** 13 SchülerInnen, Klasse eher sehr gut, keine Vierer und Fünfer

### **7.3 Motivation im klassischen PH-Unterricht**

**I-1:** Versuche zum Einstieg in Thema, Texte aus Internet und Literatur bearbeiten, geschichtliche Texte zu einem Thema, Diskussionen

**I-2:** Aktiv in Unterricht einbinden, Experimente

**I-3:** Methodenvielfalt durch offenes Lernen, Vortragsunterricht, viele Medien, eLearning, Spiele, Exkursionen, Literatur rezensieren

### **7.4 Stundenaufbau mit erstem Film**

**I-1:** Im Vorfeld angekündigt, dass Video angeschaut wird  
Videoclip angesehen

Über Unstimmigkeiten diskutiert

Videoclip detailliert angesehen und diskutiert

**I-2:** Szene gezeigt mit der Aufforderung, nach physikalischen Unstimmigkeiten zu suchen

Unklarheiten besprochen

Der Versuch, eine bestimmte Szene genau anzusehen, ist gescheitert

**I-3:** Über Film erzählt

Sequenz gezeigt und SchülerInnen Auffälligkeiten mitschreiben lassen

Szene erneut gezeigt, da beim ersten Mal nicht notiert wurde

Medienkritik für SchülerInnen ungewohnt

## 7.5 Stimmung in der Klasse beim ersten Film

**I-1:** Stimmung an sich gut

**I-2:** anfangs indifferent, sehr interessiert, Mitarbeit der SchülerInnen wurde nach und nach aktiver

**I-3:** ungewohnt, einen Film der Freizeitaktivität im Physikkanon zu kritisieren, rege Mitarbeit, Fehler zu finden, störende SchülerInnen sehr gut mitgearbeitet

## 7.6 Eindrücke der Lehrkraft beim ersten Film

**I-1:** Lehrkraft war dem Vorwurf ausgesetzt, den Spaß am Kinofilm zu verderben, Film sollte thematisch in Kontext eingebettet sein, gut für Wiederholung von Stoff

**I-2:** Hatte die nötige Zeit kürzer eingeschätzt, Stunde prinzipiell nach Vorlage aufgebaut, hätte gerne die Meinung der SchülerInnen über diese Stunde eingeholt, Stundenziele: Auge für physikalische realitätsnahe oder –ferne Dinge in Filmen schärfen (hat sicher funktioniert), Wiederholung bereits gelernter Dinge (hat nicht so gut funktioniert, weil der Film nicht gut zum Stoffgebiet gepasst hat), zum Thema Energie hätte man sich genauer mit Wetter und Tornado beschäftigen müssen, hätte sich einen viel spezifischeren Teil ausgesucht für Energie und Bewegung

**I-3:** Glaubt, dass die SchülerInnen das jetzt auch privat machen, reagiert jetzt auch selbst auf solche Filme mehr; lässt sich auf jeden Fall für die Motivation von ruhigeren SchülerInnen einsetzen

## 7.7 Unterschiede beim zweiten Filmclip

**I-1:** die SchülerInnen wussten bereits, wie die Stunde abläuft, mehr Auffälligkeiten gefunden, aber nicht alle

**I-2:** (aus Zeitmangel keinen zweiten Filmclip gezeigt)

**I-3:** ca. zwei Monate vergangen zum ersten Film, war beim ersten Mal sehr unsicher, da die SchülerInnen nicht auf den Film vorbereitet wurden, daher erste viertel Stunde Einführung in das Thema, SchülerInnen den Filmclip von Anfang an mit anderen Augen gesehen, es war eine Wettbewerbsstimmung – wer findet mehr Fehler, teilweise wurden in wahre Begebenheiten falsche Annahmen hineininterpretiert,

## 7.8 Lehrkräfte sehen Vorteile

**I-1:** als Aufhänger für ein neues Stoffgebiet, bedingt als Wiederholung bereits bekannter Stoffgebiete geeignet, als Auflockerung zwischen zwei Stoffgebieten, fördert Kritikfähigkeit bei Kinofilmen im Alltag

**I-2:** Auge für realitätsnahe und –ferne Dinge in Filmen schärfen, Wiederholung bereits gelernter Dinge, kann sowohl als Aufhänger für ein neues Stoffgebiet dienen (sehr guter Filmclip als Voraussetzung), aber auch als Auflockerung mitten in einem Stoffgebiet oder am Ende, Vorbereitung war aufgrund der Vorlage (Filmclip und Anleitung) nicht viel, aber dafür einmal eine nette Abwechslung zum sonstigen Vorbereiten, man hilft den Kindern, zwischen Realität und Film zu differenzieren, Physik wird realitätsnäher, Physik anwenden im täglichen Leben, Konzepte greifbarer machen, manches lässt sich ganz leicht nachrechnen

**I-3:** man weckt Interesse für weitere, selbstständige Analysen (Film erneut ansehen, [moviemistakes.com](http://moviemistakes.com)), eignet sich für Sensibilisierung der SchülerInnen zur Unterscheidung zwischen Realität und Film, man betrachtet den Film aus der Sicht eines Regisseurs, weckt kritisches Interesse für das Filmgeschäft/Hollywood und nicht nur für die tollen Schauspieler, fördert das selbstständige Nachdenken und Nachfragen nach der Stunde, Filmclips vielleicht sogar besser geeignet als Aufhänger für neues Kapitel, auch als Abwechslung zur Wiederholung von Stoff geeignet, zweimal pro Jahr, auch zweimal pro Semester ist okay, man zeigt ja nie den ganzen Film

## 7.9 Lehrkräfte sehen Nachteile

**I-1:** Wenn Filme nicht in das aktuelle Stoffgebiet eingebettet sind

**I-2:** Film muss in den stofflichen Kontext passen; wenn keine Vorlage (Filmclip) vorhanden ist

**I-3:** Technische Probleme, es ist wichtig, den Film in das Stoffkapitel einzubauen, Schüler dürfen nicht das Gefühl bekommen „Der Lehrer zeigt den Film, weil ihm sonst nichts einfällt“, sondern sie müssen wissen, dass populäre Filme durchaus etwas mit Physik zu tun haben, daher SchülerInnen auch etwas darauf vorbereiten, sollte nicht öfter als einmal pro Monat gemacht werden, zuviel ist zuviel

## 7.10 Weitere Kommentare der Lehrkräfte

**I-1:** „Ich würde es in den Kontext setzen. So war es lustig und eine Auflockerung, aber man kann sicherlich mehr daraus machen!“

**I-2:** Das nächste Mal mehr Zeit einplanen. „Allein für das mit den Bremsspuren hätte ich mehr Zeit gehabt und das noch einmal schön aufgebaut.“

**I-3:** Es sollte das Motto nicht „Wir schauen jetzt Film“, sondern „Wir machen Physik und schauen Film dazu“ sein, bereits einen Clip aus der Serie „Simpsons“ zum Thema Corioliskraft gezeigt,

### **7.11 „Würden Sie es wieder machen“?**

**I-1:** „Ja, auf jeden Fall in so einem Kontext [Anm.: passend zum Stoff]“.

**I-2:** „Ja, ich habe das eine sehr gute Idee gefunden, ich würde es prinzipiell schon wieder machen – es wird wahrscheinlich daran scheitern, dass ich in dem Moment, wo ich es brauch, keinen Film da habe.“

**I-3:** „Ja natürlich! Gib sie mir, gib sie mir [Anm.: Filmclips]!“

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

---

Kino ist in der heutigen Zeit ein wesentlicher Bestandteil der Freizeit. Das gilt sowohl für Erwachsene, als auch insbesondere für Jugendliche. Anhand des Films „Jurassic Park“ wurde aufgezeigt, wie sehr diese zur Bildung beitragen können – und zwar unbewusst. Andererseits kann auf dieselbe Art und Weise ebenso leicht Falsches vermittelt werden: Wilde Schießereien, enorme Sprünge über Abgründe, rasante Verfolgungsjagden. Aufgrund der immer perfekter arbeitenden Trickfilmindustrie werden solche Szenen in einen Kontext eingebettet, der dem realen Leben entspricht. Gepaart mit falschem Einschätzungsvermögen enden so manche Nachahmungen – man hört immer wieder von nächtlichen Verfolgungsjagden, usw. – tödlich. Dabei lässt sich ein Zusammenhang zwischen Film und solchen Taten meist nicht nachweisen. Trotzdem scheint das Medium Film eine nicht zu unterschätzende Rolle zu spielen.

Die vorliegende Arbeit versucht, sowohl wahre als auch falsche Tatsachen aufzudecken. Es soll gezeigt werden, dass oft mit einfachsten Hilfsmitteln, die jeder AHS-Schüler lernt, viele Situationen aufgeklärt werden können. Filme bzw. Ausschnitte von Filmen lassen sich so gezielt im Unterricht einsetzen. Durch das Besprechen einer Szene eines modernen Kinofilms wird der Unterricht aufgelockert und das leider meist verstaubte Bild der Physik in ein anderes Licht gerückt. Physik ist weder alt noch verstaubt, Physik ist eine äußerst lebendige Wissenschaft. Man denke nur an die Erkenntnisse, die der Satellit WMAP mit der genauen Vermessung der Hintergrundstrahlung vor wenigen Jahren geliefert hatte.

Ebenso gilt es aufzuzeigen, dass Physik nicht „kompliziert“ ist. Einige wenige Grundbegriffe und Beziehungen reichen, um viele Situationen in Filmen in Ansätzen nachzurechnen.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie sowie eigene Erfahrungen haben gezeigt, dass sich der Einsatz von Filmclips im Unterricht sowohl als Abschluss eines Themas eignen, als auch am Anfang als „Aufhänger“. Bei letzterem gilt es von der Lehrkraft die von den SchülerInnen mitgebrachten Prä-Konzepte von den physikalischen Tatsachen zu trennen.

Die Schwierigkeit bei der Verwendung von Filmclips ist die relativ lange Vorbereitungszeit. Erstens muss die Lehrkraft einen entsprechenden Film suchen, und zweitens muss in diesem Film die passende Szene ausgewählt werden. Die Analyse an sich stellte sich als die wenigste Arbeit heraus – im Gegenteil, den Lehrenden machte die Analyse selbst Spaß. Um möglichst vielen LehrerInnen die beiden ersten Punkte an Vorbereitung abzunehmen, wurde das EU-Projekt CISCI (Cinema and Science) ins Leben gerufen. Auf der Website [www.cisci.net](http://www.cisci.net) finden sich zu den Fachbereichen Biologie, Chemie, Mathematik und Physik viele verschiedene Analysen von Filmclips mit allen Informationen

- zum Film: Filmbeschreibung, Erscheinungsjahr, Produzent, Regisseur, Besetzung, Links auf Webseiten zur weiterführenden Filmbeschreibung

- zur DVD: Bild der DVD-Hülle, wo erhältlich, Links auf Webseiten mit Trailer (Vorschau auf den Film)
- zur Szene: genaues Zeitintervall auf der DVD, Titel der Szene, wissenschaftliche Schlagwörter,  
einführende Beschreibung zur Szene  
weiterführende Beschreibung zur Szene  
wissenschaftliche Beschreibung zur Szene  
jeweils meist mit vielen weiteren Links auf weitere Informationen zu den besprochenen Themen im Internet

Auf diese Weise wird der schwierigste und zeitaufwändigste Teil der Arbeit mit Filmen im Unterricht wesentlich erleichtert.

Mit meiner Arbeit wünsche ich mir, meinen Teil zur vielfachen Verwendung dieser Unterrichtsmethode beigetragen zu haben – einerseits mit detaillierten, physikalischen Analysen ausgewählter Filmszenen, andererseits mit gut einem dutzend Szenenbeschreibungen für die obige Homepage.

## 9 Anhang

---

### 9.1 Anhang A: Content Units für CISCI



#### 9.1.1 Oceans Eleven – Ein tiefer Fall

**Wissenschaftliches Gebiet:**  
Mechanik

**Film / Jahr:**  
Oceans Eleven – Deutsch / 2001

**Filmproduzent:**  
Warner Bros. Pictures

**Regisseur:**  
Jerry Weintraub

**Besetzung:**  
George Clooney, Matt Damon, Andy Garcia, Brad Pitt, Julia Roberts

**Webseite des Films:**  
Mit freundlicher Genehmigung  
<http://oceans11.warnerbros.com/cmp/main.html>  
<http://www.imdb.com/title/tt0240772/>

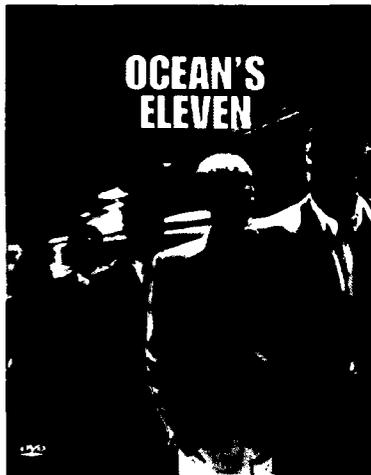
**Beschreibung des Films:**  
Kaum aus dem Gefängnis entlassen, plant der elegante Gauner Danny Ocean in Las Vegas den Coup seines Lebens: Er will die drei größten Casinos der Stadt gleichzeitig ausnehmen. Dazu engagiert er die elf besten und coolsten Spezialisten der Branche, wie den Falschspieler Rusty und den Taschendieb Linus. Ihr raffinierter Plan scheint perfekt. Doch Danny hat mit dem skrupellosen Besitzer der Casinos Terry Benedict noch eine ganz private Rechnung offen. Denn Terry ist der neue Freund von Dannys Ex-Frau Tess. Und um sie zurückzuerobern, riskiert Danny alles.

**Link zur Trailer Seite:**  
Mit freundlicher Genehmigung  
<http://www.imdb.com/title/tt0240772/trailers>

**DVD:**  
[http://www.amazon.de/Oceans-Eleven-George-Clooney-Brad/dp/B00005V961/sr=8-1/qid=1169374059/ref=pd\\_ka\\_1/303-0593455-6217029?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Oceans-Eleven-George-Clooney-Brad/dp/B00005V961/sr=8-1/qid=1169374059/ref=pd_ka_1/303-0593455-6217029?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Ein tiefer Fall

**Bild:**



Scan der DVD-Hülle von Oceans Eleven

**Zeitintervall:**  
01:17:34 – 01:20:57

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Freier Fall, Licht, Kraft, Magnetismus

**Beschreibung der Szene:**

Danny Ocean und Rusty sind mit 9 Komplizen im Begriff, den Tresorraum eines großen Casinos in Las Vegas auszurauben. Der Tresorraum befindet sich 70 Meter unter der Erde. An einem dünnen Stahlseil, welches mittels Permanentmagneten an einem Träger über dem Fahrstuhlschacht befestigt ist, seilen sich die beiden Einbrecher in Sekundenschnelle ab. Das Seil, mit dem sich die beiden abseilen, ist jedoch etwas zu kurz, und die beiden werden unvermittelt abgebremst. Daraufhin schneiden sie das Seil durch, und fallen die restlichen Meter zu Boden.

Der Liftschacht ist mit quer verlaufenden Laserstrahlen gesichert; diese Sicherheitssperre wird umgangen, indem der Strom in der ganzen Stadt durch ein Gerät namens „Pinch“ kurzfristig ausgeschaltet wird.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

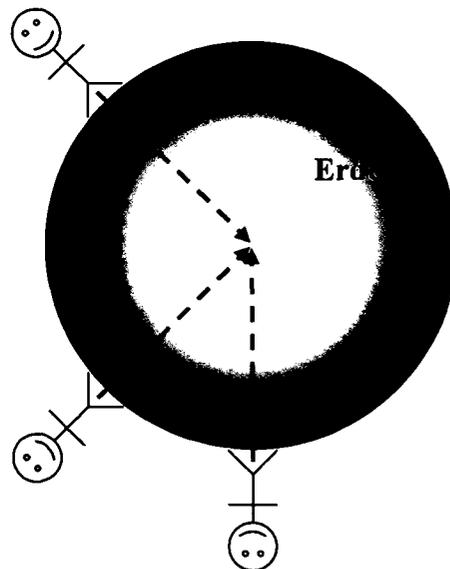
**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

### Einführende Beschreibung

Hebt man auf der Erde einen Körper in die Höhe und lässt ihn anschließend aus, fällt dieser geradlinig nach unten. Geradlinig bedeutet in Richtung des Erdmittelpunktes. Verantwortlich für dieses Verhalten ist die Tatsache, dass sich zwei Massen gegenseitig anziehen: Der Körper, den man fallen lässt, auf der einen Seite, und die Erde auf der anderen Seite. Da die Erde viel, viel schwerer ist als ein Stein, zum Beispiel, sagt man „Die Erde zieht den Stein an.“ Daher „fällt“ der Stein nach unten.

Dieselbe Kraft lässt übrigens auch uns Menschen fest am Erdboden stehen – egal ob in Europa oder am „Antiboden“ Australien. Die Kraft wirkt immer in Richtung des Erdmittelpunktes.



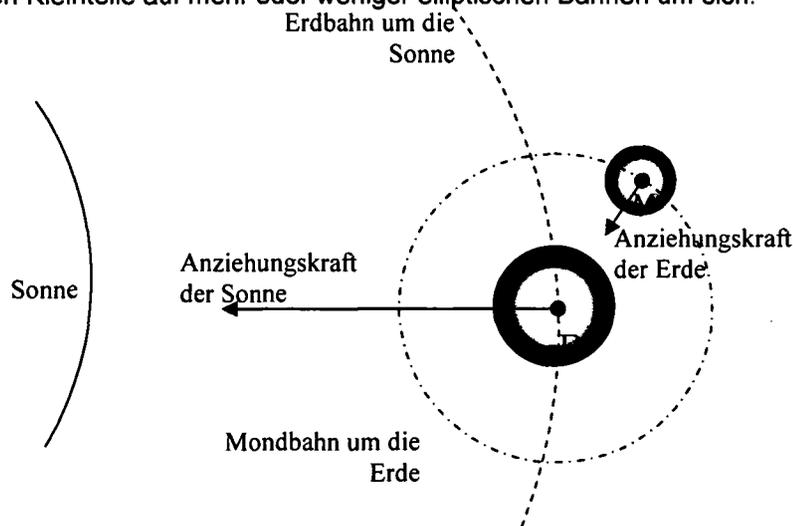
**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

### Weiterführende Beschreibung

Die Anziehungskraft, mit der die Erde jeden Körper auf ihrer Oberfläche anzieht, wird Erdanziehungskraft genannt. Diese Anziehungskraft existiert nicht nur auf der Erde, sondern allgemein zwischen allen Massen. Die Kraft ist sehr klein, weswegen sie nur bei sehr großen Massen – wie z. B. bei der Erde – auch Wirkung zeigt. Nicht nur wir Menschen und andere Körper auf der Erde werden davon angezogen, auch der Mond wird durch die gegenseitige Anziehungskraft auf seiner Bahn um die Erde gehalten.

In der Sonne sind über 99,9% der Masse unseres gesamten Sonnensystems vereint. Die große Anziehungskraft, die die Sonne daher ausübt, hält die acht Planeten sowie Asteroiden, Kometen und alle anderen Kleinteile auf mehr oder weniger elliptischen Bahnen um sich.



Legende:  
E ... Erde  
M ... Mond  
(nicht maßstabsgetreu!)

Licht sieht man nur, wenn man

- direkt in die Quelle blickt (z.B. Glühlampe, Sonne, ...), oder
- einen Körper ansieht, der das Licht reflektiert (alles, was man sieht, jedoch keine Lichtquelle ist), oder
- wenn Licht an kleinen Teilchen in der Luft reflektiert wird (z.B. durch Nebel oder Schmutz)

Die elektromagnetische Schockwelle, die durch die Zündung des „Pinches“ ausgelöst wird, legt in der ganzen Stadt die elektrische Versorgung für 30 Sekunden lahm. Hinterher funktioniert wieder alles.

Bei der Zündung einer Atombombe breitet sich ebenfalls eine elektromagnetische Schockwelle aus. Hinterher „funktioniert jedoch nicht mehr alles“.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

### Wissenschaftliche Beschreibung

Vernachlässigt man den Luftwiderstand beim Fall sowie die (aufgrund der Masse eher) geringe Bremswirkung beim Abrollen des Stahlseils, kann man von einem Freien Fall ausgehen. Aufgrund der an einer früheren Stelle im Film genannten Schachttiefe von 70 Meter errechnet sich eine Endgeschwindigkeit von rund 133 km/h, wenn man von der Schachttiefe noch 5 Meter abzieht, da das Seil zu kurz ist.

Bei dieser Geschwindigkeit wird der Fall plötzlich abgebremst. Nimmt man für diese „plötzliche“ Zeitspanne eine Zeit von 0,1 s an, und macht sich schlau, dass Danny Ocean stolze 95,7 kg auf die Waage bringt, erfährt er beim Abbremsen eine Kraft von 35463 N! Das entspricht umgerechnet dem 37,8fachen der Erdbeschleunigung. Der Weltrekord im Überleben einer derart großen Beschleunigung liegt beim 43fachen der Erdbeschleunigung. Colonel John Paul Stapp trug dabei jedoch schwere innere Verletzungen an seinen Augen davon. Danny Ocean und sein Kumpel überstehen das unfreiwillige Bremsmanöver jedoch unbeschadet.

Umgekehrt folgt daraus, dass das Seil dieser enormen Kraft standhalten muss – im nächsten Augenblick jedoch wird es von den beiden Helden einfach durchgeschnitten. Außerdem muss die Aufhängung – die aus zwei Scheibenmagneten besteht – dieser Kraft ebenfalls gewachsen sein. Im wahrsten Sinne des Wortes erschwerend für die Magneten kommt hinzu, dass die Kraft nicht senkrecht, sondern in einem Winkel von 90° angreift.

Man kann diese Szene auch mithilfe der Energiebetrachtung analysieren: Die potentielle Energie  $mgh$  muss aufgrund der Energieerhaltung gleich  $Fs$  sein. Nimmt man für den Bremsweg bei der plötzlichen Abbremsung einen aus der Filmszene geschätzten Wert von maximal 1 m an, erhält man jedoch eine Kraft von 61000 N.

Errechnet man auf umgekehrtem Wege aus der oben erhaltenen Bremskraft den Bremsweg, erhält man einen Wert von über 5 m. Damit müsste das Stahlseil äußerst elastisch sein, und die beiden Helden hätten beim Abbremsen den Schachtboden berührt.

## 9.1.2 Oceans Eleven – (Un-)Sichtbares Licht

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Optik

**Film / Jahr:**

Oceans Eleven – Deutsch / 2001

**Filmproduzent:**

Warner Bros. Pictures

**Regisseur:**

Jerry Weintraub

**Besetzung:**

George Clooney, Matt Damon, Andy Garcia, Brad Pitt, Julia Roberts

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://oceans11.warnerbros.com/cmp/main.html>

<http://www.imdb.com/title/tt0240772/>

**Beschreibung des Films:**

Kaum aus dem Gefängnis entlassen, plant der elegante Gauner Danny Ocean in Las Vegas den Coup seines Lebens: Er will die drei größten Casinos der Stadt gleichzeitig ausnehmen. Dazu engagiert er die elf besten und coolsten Spezialisten der Branche, wie den Falschspieler Rusty und den Taschendieb Linus. Ihr raffinierter Plan scheint perfekt. Doch Danny hat mit dem skrupellosen Besitzer der Casinos Terry Benedict noch eine ganz private Rechnung offen. Denn Terry ist der neue Freund von Dannys Ex-Frau Tess. Und um sie zurückzuerobern, riskiert Danny alles.

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung

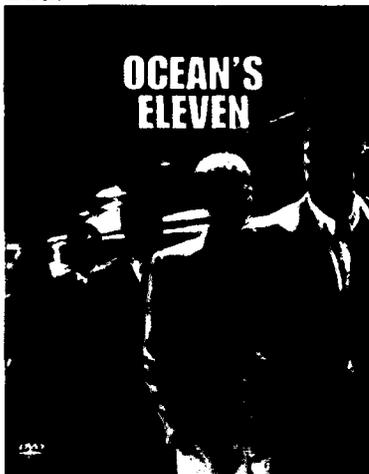
<http://www.imdb.com/title/tt0240772/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Oceans-Eleven-George-Clooney-Brad/dp/B00005V961/sr=8-1/qid=1169374059/ref=pd\\_ka\\_1/303-0593455-6217029?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Oceans-Eleven-George-Clooney-Brad/dp/B00005V961/sr=8-1/qid=1169374059/ref=pd_ka_1/303-0593455-6217029?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
(Un-)Sichtbares Licht

**Bild:**



Scan der DVD-Hülle von Oceans Eleven

**Zeitintervall:**  
01:17:34 – 01:20:57

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]  
Übersetzung: Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]  
Übersetzung: Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Licht, Laserlicht

**Beschreibung der Szene:**

Danny Ocean und Rusty sind mit 9 Komplizen im Begriff, den Tresorraum eines großen Casinos in Las Vegas auszurauben. Der Tresorraum befindet sich 70 Meter unter der Erde. An einem dünnen Stahlseil, welches mittels Permanentmagneten an einem Träger über dem Fahrstuhlschacht befestigt ist, seilen sich die beiden Einbrecher in Sekundenschnelle ab. Das Seil, mit dem sich die beiden abseilen, ist jedoch etwas zu kurz, und die beiden werden unvermittelt abgebremst. Daraufhin schneiden sie das Seil durch, und fallen die restlichen Meter zu Boden.

Der Liftschacht ist mit quer verlaufenden Laserstrahlen gesichert; diese Sicherheitssperre wird umgangen, indem der Strom in der ganzen Stadt durch ein Gerät namens „Pinch“ kurzfristig ausgeschaltet wird.

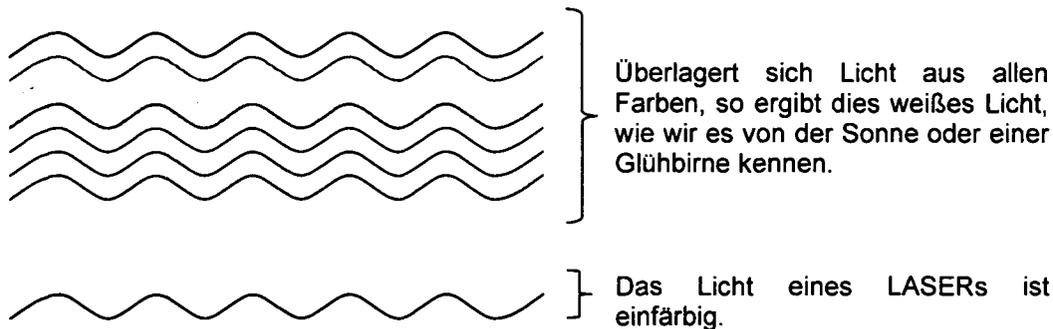
**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

Licht breitet sich geradlinig in alle Richtungen gleich schnell aus. Weißes Licht, so wie wir es von der Sonne oder einer Glühlampe kennen, folgt diesen drei Eigenschaften.

Licht, das von einem LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ausgesandt wird, breitet sich ebenso geradlinig gleich schnell aus, jedoch meistens in nur eine Richtung. Grund dafür ist, dass das Licht bei der Erzeugung im LASER vorerst zwischen zwei parallelen Spiegeln „gefangen“ ist, bevor es diesen durch ein kleines Loch in nur eine Richtung verlässt.

Das Licht eines LASERs besitzt noch eine zweite Eigenschaft, das es vom normalen weißen Licht einer Glühlampe unterscheidet: Es besitzt eine ganz bestimmte Farbe. Während das weiße Licht eigentlich eine Überlagerung aller Farben ist (siehe Skizze), besteht Laserlicht nur aus einer einzigen Farbe.

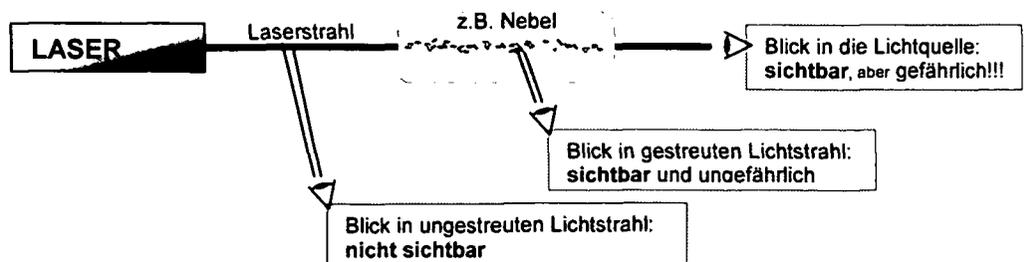


Jeder kennt einen Regenbogen – hier wird durch das physikalische Phänomen der „Lichtbrechung“ das weiße Sonnenlicht in seine einzelnen Farben aufgespalten.

Egal ob weißes Licht oder eine einzelne Farbe – Licht ist bei der Ausbreitung prinzipiell nicht sichtbar. Das Sinnesorgan Auge kann Licht nur dann wahrnehmen, wenn

- wir direkt in den Lichtstrahl blicken: Das bedeutet, wir blicken in die Lichtquelle (Beispiel: Direkter Blick zur Sonne bzw. in eine Glühlampe), oder wenn
- das Licht, das von einer Lichtquelle ausgestrahlt wird, an Teilchen reflektiert wird und auf diesem Wege in unser Auge gelangt (Beispiel: Die Sonne strahlt eine Hauswand an, eine Glühlampe erhellt das Buch, indem wir lesen, ...).

Das von einem LASER ausgestrahlte Licht ist insbesondere dann sichtbar, wenn es an Teilchen gestreut wird, die in der Luft schweben – zum Beispiel Wassertröpfchen in Form von Nebel, oder Schmutzteilchen wie Kreidenstaub.



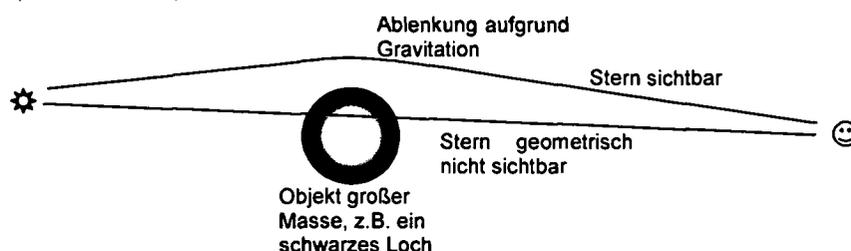
EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

Licht breitet sich geradlinig in alle Richtungen gleich schnell aus. Von dieser „Regel“ gibt es Ausnahmen:

Läuft ein Lichtstrahl an schweren Massen vorbei (z.B. wenn ein Lichtstrahl nahe der Sonne oder einem schwarzen Loch vorbeiläuft), wird dieser von der Gravitation beeinflusst (Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein im Jahre 1916 veröffentlicht). Auf diese Weise sind bei einer Sonnenfinsternis Sterne sichtbar, die sich geometrisch hinter der Sonne befinden. Auf dieselbe Weise bilden sich auch „Gravitationslinsen“ aus (siehe Skizze).



Besonders bemerkenswert hierbei sind so genannte „Einstein-Ringe“. Diese entstehen, wenn ein Stern exakt hinter einem massiven Objekt liegt. Das Licht dieses Sterns wird dann in allen Winkeln um das massive Objekt abgelenkt, sodass der Stern aus Sicht des Beobachters als Ring um das massive Objekt erscheint (Für Bilder siehe Weblink)

Unter besonderen Umständen breitet sich Licht auch nicht immer in alle Richtungen aus. Bei der Erzeugung des Lichts in einem Laser wird dieses im optischen Resonator zwischen zwei Spiegeln „gefangen“ gehalten. Beim Hin- und Herlaufen verstärkt sich Licht derselben Wellenlänge dabei. Einer der beiden Spiegel ist halbdurchlässig und lässt einen Teil des Lichts durch eine kleine Lochblende austreten. Dieses (größtenteils) monochromatische Licht divergiert nicht und stellt damit den charakteristischen Laserstrahl dar. Bekannte Typen von Lasern sind der Helium-Neon-Laser, Stickstoff-Laser (beides Gas-Laser) sowie der Nd:YAG – Laser (Neodym dotierter Yttrium-Aluminium-Granat Laser; Festkörper-Laser).

Nur von der Ausbreitungsgeschwindigkeit gibt es keine Ausnahme: Licht breitet sich (in Vakuum) immer mit derselben Geschwindigkeit von rund 300.000 km/s aus. Dabei ist insbesondere nicht von Bedeutung, ob und wie schnell sich die Lichtquelle oder der Beobachter bewegen.

#### Weblinks

Einstein-Ringe: <http://de.wikipedia.org/wiki/Einstein-Ring>,  
Einstein-Ringe (und vieles anderes): [www.hubblesite.org](http://www.hubblesite.org) → Gallery →  
Picture Album → Exotic

**Autor:** Heinz Oberhummer  
**E-mail:** heinz@oberhummer.at

**Film:** Oceans Eleven  
**Filmszene:** 01:17:34 – 01:20:57  
**Regisseur:** Jerry Weintraub  
**Filmstudio:** Warner Bros. Pictures

Übersetzt bedeutet LASER „Lichtverstärkung durch stimulierte Lichtemission“. Und dies beschreibt bereits die Funktionsweise eines Lasers.

In der Atomhülle befinden sich die Elektronen in unterschiedlichen Energieniveaus um den Atomkern. Diese können als Energiebänder dargestellt werden. Es sind dies diskrete Zustände, in denen sich die Elektronen entsprechend ihrer Energie aufhalten. Diesen Zustand nennt man Grundzustand.

Wird dem Atom Energie zugeführt, zum Beispiel in Form von elektrischem Strom, sind die Elektronen in der Lage, diese Energie zum „Aufsteigen“ in ein höheres Energieniveau zu verwenden. Das Atom befindet sich jetzt in einem angeregten Zustand; der Vorgang wird Pumpen genannt.

Bricht die Energiezufuhr ab, fallen die Elektronen wieder in den Grundzustand zurück. Dabei wird die zuvor absorbierte Energie wieder freigesetzt. Dieser Energie kann aufgrund der Beziehung

$$E = \hbar \cdot f$$

$\hbar$  ... Plancksches Wirkungsquantum

eine bestimmte Frequenz  $f$  zugeordnet werden. Liegt diese Frequenz im Bereich des sichtbaren Lichts, haben wir es mit einer Lichtquelle zu tun.

Bei einer herkömmlichen Lichtquelle, z.B. einer Glühbirne, erfolgt der Übergang vom angeregten in den Grundzustand zufällig. Man spricht hierbei von spontaner Emission. Die ausgesandten Frequenzen weisen im Allgemeinen Wellenlängen des gesamten (sichtbaren) Spektrums aus (weißes Licht bei einer Glühbirne).

Bei einem Laser hingegen fallen die Elektronen vom angeregten Zustand zuerst auf ein metastabiles Niveau. Die Bezeichnung metastabil rührt von der relativ langen Verweildauer der Elektronen auf diesem Zwischenniveau her. Hier sammeln sich so viele Elektronen an.

Durch einen Auslöser fallen schließlich alle Elektronen vom metastabilen Niveau in den Grundzustand zurück. Dabei setzen alle dieselbe Energie – und damit Licht derselben Wellenlänge – frei.

Das so freigesetzte, großteils monochromatische Licht wird zwischen zwei Spiegeln durch konstruktive Interferenz weiter verstärkt. Einer der beiden Spiegel ist halbdurchlässig, dort als Teil der freigesetzten Energie der Laserstrahl aus.

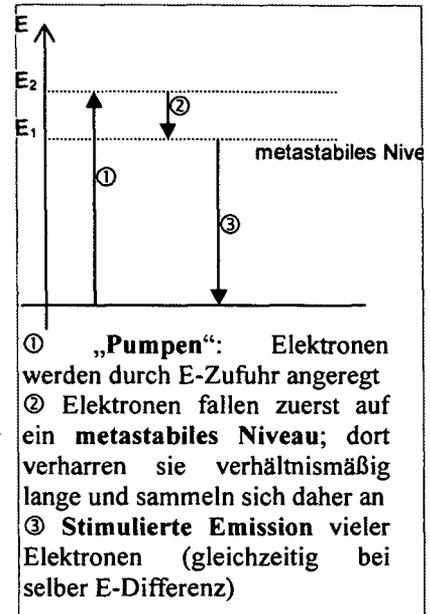
Ein Laserstrahl unterscheidet sich bei der Ausbreitung vom Licht einer Glühbirne dadurch, dass sein Licht aufgrund seiner räumlichen Kohärenz (fast) nicht divergiert.

Egal ob Laser- oder weißes Licht, beides ist für das menschliche Auge nur dann sichtbar, wenn man entweder direkt in die Lichtquelle blickt, oder aber wenn das Licht auf seinem Weg an Hindernissen gestreut bzw. reflektiert wird.

#### Weblinks

<http://de.wikipedia.org/wiki/Laser>

<http://www.puls laser.de/>



### 9.1.3 Deep Impact – Entdeckung eines Kometen

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Astronomie und Astrophysik

**Film / Jahr:**

Deep Impact / 1998

**Filmproduzent:**

DreamWorks SKG, Paramount Pictures, Zanuck/Brown Productions

**Regisseur:**

Mimi Leder

**Besetzung:**

Robert Duvall, Téa Leoni, Elijah Wood, Vanessa Redgrave, Morgan Freeman, Maximilian Schell

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung der Internet Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0120647/>

**Beschreibung des Films:**

Der junge Amateurastronom Leo Biederman entdeckt einen Kometen. Beim Versuch den Kometen zu vernichten, wird ein Raumfahrzeug gestartet um Atombomben auf dem Kometen zur Explosion zu bringen. Durch die Explosion wird der Komet in zwei Bruchstücke gespalten. Das größere Bruchstück verfehlt die Erde, das kleinere schlägt jedoch im Ozean ein, wobei es einen Mega-Tsunami erzeugt. In Voraussicht des Einschlags wurde eine Anzahl von Bürgern ausgewählt, um in speziellen Bunkern zu überleben und die Gesellschaft nach der Katastrophe wieder auf zu bauen. Diese werden in einer Lotterie zusammen mit 200000 Wissenschaftlern, Ärzten, Soldaten und anderen Offiziellen ausgewählt.

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://www.imdb.com/title/tt0120647/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/s/ref=nb\\_ss\\_d/028-6489083-](http://www.amazon.de/s/ref=nb_ss_d/028-6489083-6679739?mk_de_DE=%C3%85M%C3%85Z%C3%95%C3%91&url=search-alias%3Ddvd&field-keywords=Deep+Impact&Go.x=12&Go.y=5)

[6679739?mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85Z%C3%95%C3%91&url=search-alias%3Ddvd&field-keywords=Deep+Impact&Go.x=12&Go.y=5](http://www.amazon.de/s/ref=nb_ss_d/028-6489083-6679739?mk_de_DE=%C3%85M%C3%85Z%C3%95%C3%91&url=search-alias%3Ddvd&field-keywords=Deep+Impact&Go.x=12&Go.y=5)

**Titel der Szene:**  
Entdeckung eines Kometen

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Deep Impact)

**Zeitintervall:**  
0h 1min 0sec – 0h 6min 41sec

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Komet, Asteroid

**Beschreibung der Szene:**  
Eine Gruppe junger Hobbyastronomer betrachtet den Sternenhimmel über Richmond in Virginia. Ein Junge namens Beiderman entdeckt dabei einen neuen „Stern“. Wie sich jedoch bald herausstellt, ist dies kein Stern, sondern ein Komet, der sich auf Kollisionskurs mit der Erde befindet. Der Astronom vom Dienst am Observatorium in Tucson (Arizona) scheitert beim Alarmieren der Behörden an der fehlenden Netzwerkverbindung. So springt er ins Auto und rast auf schnellstem Weg in die nächste Stadt. Leider kommt er bei einem Unfall mit einem LKW ums Leben.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Deep Impact  
**Filmszene:** 00:01:00 – 00:06:41  
**Regisseur:** Mimi Leder  
**Filmstudio:** DreamWorks SKG, Paramount Pictures,  
Zanuck/Brown Productions

### **Einführende Beschreibung**

Durch sein Fernrohr sieht Leo Beiderman, ein junger Hobbyastronom, einen leuchtenden Himmelskörper, der ihm unbekannt erscheint. In der Abbildung rechts ist eine Fotografie von diesem Anblick zu sehen. In der Mitte oben sowie rechts Mitte sind die beiden mittleren Sterne der Deichsel des Großen Wagens zu sehen: Oben die beiden Sterne Alkor und Mizar, sowie rechts Alioth.

Alkor und Mizar sind bekannt unter ihrer Eigenschaft als „Augenprüfer“, da man die beiden mit freiem Auge als zwei getrennte Sterne wahrnehmen können sollte. Alkor selbst ist ein Doppelsternsystem (mit einem dritten, unsichtbaren Begleiter), Mizar für sich allein ist ein Vierfach-System. Insgesamt besteht der obere, in der Abbildung relativ dunkel erscheinende Stern aus sieben Einzelsternen, während hingegen Alioth ein Einzelstern ist.

Bereits auf der Fotografie ist die ungefähre Erscheinungsform des Kometen sichtbar. Wenn schon nicht der junge Leo Beiderman, zumindest der erfahrene Astronom hätte den Kometen auf den ersten Blick von anderen Sternen unterscheiden müssen können.

Als der diensthabende Astronom auf der Sternwarte die entsprechende Himmelsregion fotografiert, vergrößert er das Bild, sodass der Komet in seiner vollen Größe und Pracht erscheint. Um ein Bild in solch guter Auflösung (von der Erde durch deren störende Atmosphäre hindurch) aufnehmen zu können, muss der Komet der Erde bereits relativ nahe sein. Das wiederum wirft die Frage auf, warum dieses hell leuchtende Prachtstück noch niemand entdeckt hat. Abgesehen von Satelliten, die automatisch nach beweglichen Himmelskörpern suchen, hätten vermutlich bereits unzählige professionellen Astronomen, aber auch andere Hobbyastronomen den Kometen längst entdeckt.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Deep Impact  
**Filmszene:** 00:01:00 – 00:06:41  
**Regisseur:** Mimi Leder  
**Filmstudio:** DreamWorks SKG, Paramount Pictures,  
Zanuck/Brown Productions

### Weiterführende Beschreibung

Widmen wir uns der Berechnung der Kometenbahn: Der Astronom vom Dienst auf der Sternwarte, an den die Beobachtungsdaten von Leo Beiderman gesandt wurden, tippt die Daten in den Computer ein (Anmerkung am Rande: Betrachtet man das Eintippen der Koordinaten im Einzelbild-Modus, sieht man, dass mehrere Tasten gleichzeitig gedrückt werden). Daraufhin arbeitet der Computer für kurze Zeit und wirft einige Daten aus. Die Szene endet damit, dass der Computer ein Bild des Sonnensystems ausgibt, und dabei die berechnete Bahn des Kometen einpasst. Treffenderweise wird gleich eine „Explosion“ beim Zusammentreffen von Erde und Komet gezeichnet. Kann dies der Wahrheit entsprechen?

Man benötigt im Allgemeinen die Daten über einen längeren Beobachtungszeitraum, um die Bahn eines unbekanntes Himmelskörpers genau bestimmen zu können. Der Erfahrung nach bewegen sich Himmelskörper entweder auf Ellipsen- oder Hyperbelbahnen. Der Spezialfall der Parabelbahn liegt genau an der Grenze zwischen Ellipsen- und Hyperbelbahn. In einer ersten Schätzung wird daher bei unbekanntes Himmelskörpern von einer Parabelbahn ausgegangen. So kann eine erste, eventuell aber sehr ungenaue Schätzung über den Verlauf der Bahn erstellt werden. Nach einer weiteren Beobachtungsphase lassen sich die Bahnen entweder der Ellipsen- oder Hyperbelform zuteilen und genauer berechnen. Die Zeitspanne der Beobachtung, um die Bahn eines unbekanntes Himmelskörpers genauer bestimmen zu können, erstreckt sich über Monate, wenn nicht über Jahre – die wenigen dutzend Sekunden in der Filmszene erscheinen daher unglaublich kurz.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Deep Impact  
**Filmszene:** 00:01:00 – 00:06:41  
**Regisseur:** Mimi Leder  
**Filmstudio:** DreamWorks SKG, Paramount Pictures, Zanuck/Brown Productions

#### Analyse: Surrounding

- Natürlich funktioniert in so einem Fall das Netzwerk (Internet, Mailserver, ...) nicht, Mr. Murphy hat seine Augen und Hände überall.
- Es gibt kein „Adrian Peak Observatory“ in Tucson, sehr wohl aber gibt es ein Kitt-Peak Observatory am Gipfel des gleichnamigen Berges in der Sonora-Wüste ca. 90km südwestlich von Tucson (Arizona). Dort stehen rund 20 optische Teleskope – ist Dr. Wolf tatsächlich der einzige, der in dieser Nacht Dienst schiebt?
- Bei der Berechnung des Orbits des Kometen ist die Deklination plötzlich mit 54D 59M Nord angegeben.
- Gibt es kein Telefon, das er benutzen könnte? Hoffentlich ist das Telefon, das er im Auto benutzt, das Autotelefon... Berücksichtigt man die Zeit der Entstehung des Films (1998), so wird man feststellen, dass es zu dieser Zeit kaum noch Handys gegeben hat. Umso mehr würde man vermuten, dass der Astronom an ein Festnetztelefon im Gebäude denkt.
- Trotz der Hektik: Die Haustür der Beobachtungsstation sollte verschlossen werden. Schließlich ist auch die Zeit vorhanden, die komplette Adresse auf das Kuvert mit der Diskette zu schreiben (Carolyn Shoemaker PhD, Dept. of Planetary Sciences, University of Arizona, Tucson).
- Dass einem etwas unkonzentrierten LKW-Fahrer die Zigarette zwischen die Beine fällt, mag gar nicht so unwahrscheinlich erscheinen. Die Frage ist jedoch: Was macht ein LKW-Fahrer mitten in der Nacht auf einer Straße, die auf eine Bergspitze zu einem Observatorium führt (und dort allerhöchstwahrscheinlich auch endet, da Observatorien aufgrund des fehlenden störenden Lichts von umliegenden Städten meist sehr abgelegen liegen)?
- Kurz vor dem Unfall sieht man zuerst die Lichter des Jeeps mit Dr. Wolf – er scheint gerade aus zu sein. In der nächsten Perspektive sieht man den LKW vom Jeep aus um eine Rechtskurve kommen (siehe Abbildung 55).
- Natürlich explodiert der Jeep, Dr. Wolf kommt ums Leben – aber das Kuvert mit der Diskette übersteht den Unfall, weil es angeblich bereits vorher aus dem Auto geschleudert wurde. War das Fenster des Autos schon immer offen?

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Websites über den Film Deep Impact**

[http://de.wikipedia.org/wiki/Deep\\_Impact\\_%28Film%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Deep_Impact_%28Film%29)

<http://www.imdb.com/title/tt0120647>

**Websites über Kometen**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Komet>

<http://www.solarviews.com/germ/comet.htm>

**Websites about Oort cloud:**

[http://de.wikipedia.org/wiki/Oortsche\\_Wolke](http://de.wikipedia.org/wiki/Oortsche_Wolke)

Videoclips über Kometen (englisch)

<http://www.spacetelescope.org/bin/videos.pl?searchtype=freesearch&string=Comet>

**Websites über Sterne**

Doppelsterne:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Doppelstern>

Mizar:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mizar>

Alkor

[http://de.wikipedia.org/wiki/Alkor\\_%28Stern%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Alkor_%28Stern%29)

Sirius

<http://de.wikipedia.org/wiki/Sirius>

Alpha Centauri

[http://de.wikipedia.org/wiki/Alpha\\_centauri](http://de.wikipedia.org/wiki/Alpha_centauri)

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Deep Impact  
**Filmszene:** 00:01:00 – 00:06:41  
**Regisseur:** Mimi Leder  
**Filmstudio:** DreamWorks SKG, Paramount Pictures, Zanuck/Brown Productions

### Experiment

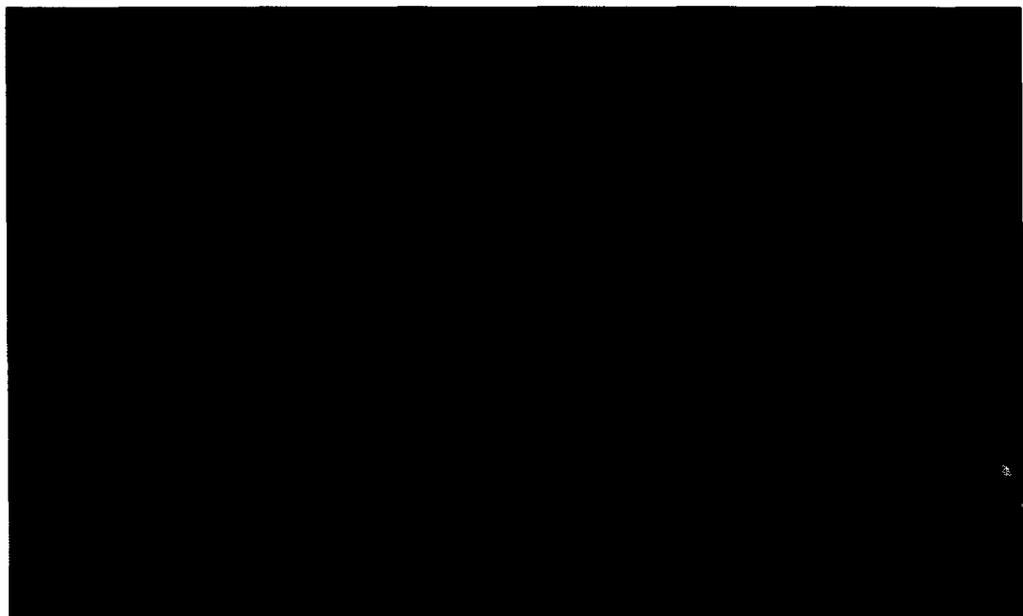
Zum Thema "Meteoriteneinschlag auf der Erde" lässt sich mit wenig Aufwand ein kleines Experiment durchführen.

**Benötigte Materialien:** Unterlage (z.B. in Form eines Backblechs)  
Mehl  
etwas Kakao  
(Tee-)Löffel  
verschieden große und verschieden schwere Kugeln (z.B. Murmeln)



**Anleitung:** Man streut eine etwa 1 cm dicke Schicht Mehl gleichmäßig auf die Unterlage. Darüber streut man mithilfe des Löffels eine dünne Schicht Kakao, sodass das weiße Mehl nicht mehr sichtbar ist. Mehl und Kakaoschicht bilden den Erdmantel und die dünne Erdkruste nach.  
Nun lässt man aus verschiedenen Höhen die unterschiedlichen Kugeln auf die "Erde" fallen. So werden die Einschläge verschieden groß und dichter Kometen nachgestellt. Schön sichtbar ist die Entstehung von Einschlagskratern.

Die Erde - nachgebildet aus Mehl und Kakao



Deutlich sichtbar: Das beim Einschlag wegspritzende Material der Erdkruste

#### 9.1.4 Evolution – Ein artiger Meteorit

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Astrophysik

**Film / Jahr:**

Evolution / 2001

**Filmproduzent:**

Ivan Reitman, Daniel Goldberg, Joe Medjuck

**Regisseur:**

Ivan Reitman

**Besetzung:**

David Duchovny, Orlando Jones, Seann William Scott, Julianne Moore

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://german.imdb.com/title/tt0251075/>

**Beschreibung des Films:**

In dieser spritzigen Komödie wird das Chaos gezeigt, das entsteht, wenn ein Meteor auf der Erde einschlägt und dabei Aliens eingeschleust werden, für die der Grundsatz gilt: „Nur die Stärksten überleben.“ Und so stehen bald vier eiserne Kämpfer zwischen den Fremdlingen und deren Herrschaft über die Welt, wie wir sie kennen und lieben...

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung

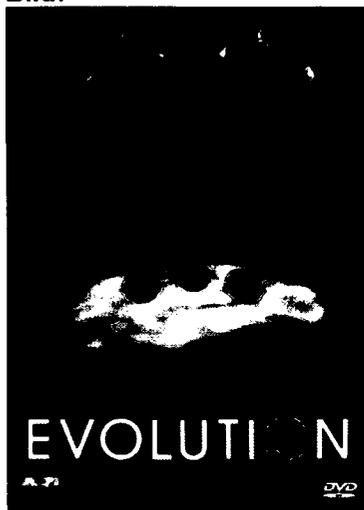
<http://www.imdb.com/title/tt0251075/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Evolution-David-Duchovny/dp/B00005QZSD/sr=8-1/qid=1170578414/ref=pd\\_ka\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Evolution-David-Duchovny/dp/B00005QZSD/sr=8-1/qid=1170578414/ref=pd_ka_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Ein artiger Meteorit

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Evolution)

**Zeitintervall:**  
00:14:30 – 00:19:47

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Asteroid, Meteorit, Meteor, Evolution

**Beschreibung der Szene:**  
Zwei Wissenschaftler entdecken in der Probe eines Meteoriten lebende Zellen. Mehr noch, diese Zellen entwickeln sich rasend schnell vom Einzelmehrzeller zu Mehrzellern. Jahrmillionen an Evolution laufen in wenigen Stunden ab. So ist es möglich, dass die beiden Wissenschaftler bei ihrer Rückkehr in die Höhle mit einer Gruppe von Studenten eine andere Welt vorfinden: Am Boden der Höhle hat sich die fremde Lebensform eine eigene Atmosphäre aus Wasserstoffsulfid, Ammoniak und Methan geschaffen, in der sie sich wohlfühlen – Sie konnten sich zu Plattwürmern weiterentwickeln und bevölkern zu Millionen den Boden der Höhle.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

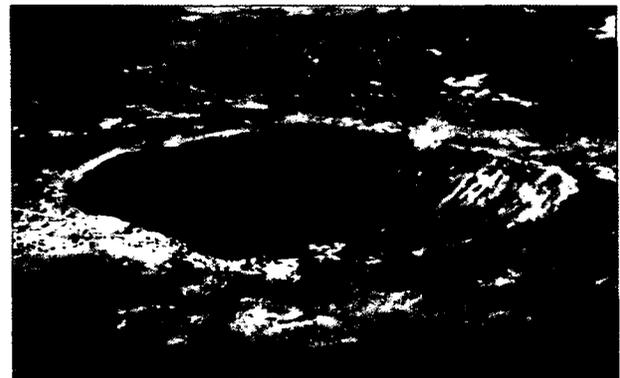
**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Evolution  
**Filmszene:** Ein artiger Komet  
**Regisseur:** Ivan Reitman  
**Filmstudio:** Columbia Pictures, Dreamworks Pictures

### Einführende Beschreibung

Trifft ein Komet auf die Erde, wird eine enorme Menge an Energie frei. Diese Energie ist für die Bildung des bekannten Einschlagkraters verantwortlich. Durch die hohe Temperatur und den hohen Druck, der beim Aufprall entsteht, verdampft das Material der Erdkruste bzw. wird weggeschleudert. Der Meteorit selbst verdampft in den meisten Fällen gänzlich.

- Im Film Evolution wird ganz zu Beginn nach dem Einschlag des Meteoriten ein solcher Krater gezeigt. In der vorliegenden Filmszene hat sich das Bild jedoch gewandelt: Der Meteorit steckt aufrecht in einer Höhle, die oben nur mehr ein kleines Loch, dafür jedoch einen seitlichen Eingang zu haben scheint. In diesem Fall müsste der Meteorit in die Erde eingedrungen sein, unterirdisch das Material soweit verdampft haben und so die entsprechend große Höhle ausbilden. Angenommen, dass der seitliche Eingang vom Menschen geschaffen wurde, erscheint unglaublich, dass nach oben hin nur eine (in dieser Filmszene nicht sichtbare) kleine Öffnung zurückbleibt.



Vermutlich der bekannteste Einschlagkrater in Arizona, USA: der Barringer-Krater (courtesy of the U.S. Geological Survey)

- Auffällig ist auch die längliche Form des Meteoriten. Im Film entsteht dieses Stück durch die Explosion eines größeren Meteoriten in den höheren Schichten der Atmosphäre. Dort spaltet sich dieser Teil ab und schafft es bis zur Erdoberfläche zu kommen, in dem er offenbar kaum weiter verglüht (obwohl er korrekterweise als leuchtend heller Punkt sichtbar ist).

- Durch das Mikroskop im Labor sieht man deutlich, wie sich Mehrzeller fortbewegen. Im Bildausschnitt rechts unten ist gar eine Teilung eines Mehrzellers zu beobachten. Unter Mehrzeller versteht man alle Arten von Lebewesen, die aus mehr als nur einer Zelle bestehen. Beispiele dafür sind die meisten Tiere und Pflanzen. Der ganze Film lebt von der unglaublichen Schnelligkeit, mit der sich die Evolution dieser Aliens fortsetzt. Die Frage, ob das prinzipiell möglich ist, kann (nach dem Prinzip „möglich ist alles“) so nicht beantwortet werden. Tatsache ist, dass wir Menschen bis dato etwas derartiges nicht kennen. Unsere eigene Evolution des Menschen fand im Laufe von Jahrmillionen statt. Da wir auch außerhalb unseres Heimatplaneten noch auf kein Leben gestoßen sind, lässt sich diese Frage nicht aus der „Praxis“ heraus beantworten.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Evolution  
**Filmszene:** Ein artiger Komet  
**Regisseur:** Ivan Reitman  
**Filmstudio:** Columbia Pictures, Dreamworks Pictures

### Weiterführende Beschreibung

• In der Höhle wird die künstliche Atmosphäre, die sich die Aliens geschaffen haben, als eine Art Nebel in Bodennähe dargestellt. Diese Atmosphäre besteht laut Aussagen im Film aus Wasserstoffsulfid (Schwefelwasserstoff), Ammoniak und Methan.

Dichte von Luft (20° C) ..... 1,204 kg / m<sup>3</sup>  
Dichte von Methan ..... 0,717 kg / m<sup>3</sup>  
Dichte von Ammoniak ..... 0,771 kg / m<sup>3</sup>  
Wasserstoffsulfid ..... 1,5392 kg / m<sup>3</sup>

Wasserstoffsulfid hat eine etwas größere Dichte als Luft, es sinkt daher auf den Boden. Doch sowohl Methan als auch Ammoniak besitzen eine wesentlich kleinere Dichte als Luft. Folglich können sich diese beiden Gase nicht am Boden zu einer Art Atmosphäre ansammeln, sondern sie verflüchtigen sich in der Luft.

Methan ist an und für sich ungiftig. Bei der Aufnahme kann es zu kurzzeitigen Störungen bei Atmung sowie Durchblutung kommen. Allerdings bildet Methan mit Luft ein hochexplosives Gemisch. Am größten ist die Gefahr, wenn das Methan einen Anteil von zwischen 5 und 15% erreicht. In Kohlebergwerken zum Beispiel sind die Grubengasexplosionen auf ein derartiges Gemisch zurück zu führen (Im Bergbau-Jargon nennt man das Methangas „Schlagwetter“, die Explosion „Schlagwetterexplosion“).

• Trifft ein Meteorit auf die Erde, wird beim Einschlag eine enorme Energiemenge frei. Diese Energie wird in thermische bzw. Verformungsenergie umgewandelt. Durch den Aufprall breitet sich eine Schockwelle kugelförmig im umliegenden Boden um, während im Krater das Material explosionsartig verdampft. Durch die Rückfederung der Schockwelle wird sowohl das umliegende feste als auch das verdampfte Material aus dem Krater geschleudert.

• Ein Vergleich zu der Frage „Existiert neben dem Menschen auf der Erde noch anderes Leben in diesem Universum?“  
Angenommen, man geht an einem Sandstrand spazieren. Der Sandstrand sei 100 m breit, und 1 m tief. Pro Kubikmillimeter sollen 10 Sandkörnchen Platz finden. Wie lang müsste der Sandstrand sein, damit so viele Sandkörnchen da sind wie es Sterne in unserem Universum gibt? Der Sandstrand müsste 10 Millionen km lang sein – er würde sich 250 Mal um den Äquator wickeln lassen.  
Nimmt man weiters an, dass nur 1% aller Sterne Planeten besitzt, und wieder nur 1% einen einzigen Planeten besitzt, der der Erde ähnlich ist, und nur auf 1% dieser Planeten herrschten lebensfreundliche

Bedingungen, dann verblieben immer noch 10 Milliarden Kandidaten als Lebensträger.

Es gibt eine mathematische Formel, die zur Abschätzung der Anzahl der technischen und intelligenten Zivilisationen in unserer Galaxie Milchstraße dient. Es ist dies die „Drake-Gleichung“, auch bekannt unter dem Namen „Green-Bank-Gleichung“. Sie wurde von Prof. Dr. Frank Drake<sup>59</sup> entwickelt und im November 1960 auf einer Konferenz in Green Bank in den USA präsentiert.

Die Anzahl der technischen, intelligenten Zivilisationen in unserer Galaxie berechnet sich dabei aus folgenden Komponenten:

- Mittlere Sternentstehungsrate pro Jahr
- Anteil der Sterne mit Planetensystemen
- Anzahl der Planeten in der Ökosphäre (Bereich im Planetensystem, indem Leben nicht von vorne herein auszuschließen ist, wie z.B. zu tiefe Temperaturen etc.)
- Planeten mit Leben
- Planeten mit intelligentem Leben
- Interstellare Kommunikation
- Lebensdauer einer technischen Zivilisation

Wie man sieht, sind vor allem die letzten vier Punkte mehr als nur unsicher.

Es gibt drei Modelle zur Lösung der Drake-Gleichung. Das gemäßigte Modell errechnet eine einzige Zivilisation in unserer Galaxie, nämlich unsere. Das optimistische Modell geht von 100 Zivilisationen aus, wobei der mittlere Abstand zwischen zwei Zivilisationen 5000 Lichtjahre beträgt. Eine Kontaktaufnahme zweier Zivilisationen ist dabei beinahe ausgeschlossen, da ein losgeschicktes Signal 5000 Jahre zum Ziel brauchen würde. Das enthusiastische Modell schließlich konstatiert 4 Millionen Zivilisationen in unserer Milchstraße. Zwei benachbarte wären dabei 150 Millionen Lichtjahre im Mittel voneinander entfernt.

Weitere Auffälligkeiten:

- „Die Schutzhandschuhe bleiben die ganze Zeit lang an, verstanden?“ – Wieso hat keiner der Studenten Handschuhe an?
- „Ich will jetzt nicht zickig sein, aber ich glaube, da bewegt sich was zwischen meinen Zehen“ – Lauf, junge Dame, lauf!

<sup>59</sup> Geboren am 28. Mai 1930, Chicago, Astronom, Astrophysiker, Pionier bei der Suche nach extraterrestrischem Leben; seit 1984 Präsident des SETI-Instituts; auf ihn geht unter anderem das Projekt SETI@home zurück.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com)

---

**Film:** Evolution  
**Filmszene:** Ein artiger Komet  
**Regisseur:** Ivan Reitman  
**Filmstudio:** Columbia Pictures, Dreamworks Pictures

### Wissenschaftliche Beschreibung

**Meteorit**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Meteorit>

**Meteor**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Meteor>

**Evolution**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Evolution>

**Evolutionsbiologie**  
<http://www.vobs.at/bio/vobs-e.php>

**Einzeller**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Einzeller>

**Mehrzeller**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Mehrzeller>

**Experiment:** Siehe Content Unit zu Deep Impact

### 9.1.5 Herrschaft des Feuers – Eigenwilliges Feuer

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Plasmaphysik

**Film / Jahr:**

Herrschaft des Feuers / 2002

**Filmproduzent:**

Rob Bowman

**Regisseur:**

Rob Bowman

**Besetzung:**

Matthew McConaughey, Christian Bale

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

**Beschreibung des Films:**

Der Kampf um die Erde hat begonnen! Durch Zufall wird bei Bauarbeiten in London eine uralte Höhle freigelegt. Als der Junge Quinn sie betritt, weckt er damit eine mystische Kreatur des Schreckens aus ihrem ewigen Schlaf: Ein gigantischer Drache breitet seine Schwingen aus und überzieht die Erde mit Feuer und Vernichtung. In nur wenigen Jahren hat die Brut der Kreatur nahezu die ganze Menschheit ausgerottet. Wo früher die stolzen Hauptstädte dieser Welt standen, weht jetzt nur noch Asche durch qualmende Ruinen.

Jahrzehnte nach der Apokalypse beherrschen die geflügelten Ungeheuer die Erde und die letzten Menschen kämpfen in kleinen Gruppen verzweifelt um ihr Überleben. Unter ihnen ist auch Quinn, der sich mit einigen Männern in einer alten Burg verschanzt hat. In dieser verzweifelten Situation, in der es kaum noch Hoffnung für die Menschheit gibt, taucht ein fremder Kämpfer an der Spitze einer Truppe von Drachentöttern auf. Sie haben sich geschworen, Feuer mit Feuer zu bekämpfen und treten den hochintelligenten Urzeitwesen mit Helikoptern, Panzern und ihrem nacktem Leben entgegen. Zusammen mit den Burgbewohnern starten sie den entscheidenden Kampf gegen den Ahn aller Drachen... Eine gewaltige Schlacht entbrennt, an deren Ende nur eine Spezies überleben kann!

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung  
<http://www.imdb.com/title/tt0253556/>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Die-Herrschaft-Feuers-Matthew-McConaughey/dp/B000088NSM/sr=8-1/qid=1170618797/ref=pd\\_ka\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Die-Herrschaft-Feuers-Matthew-McConaughey/dp/B000088NSM/sr=8-1/qid=1170618797/ref=pd_ka_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Eigenwilliges Feuer

**Bild:**



Scan der DVD-Hülle von Die Herrschaft des Feuers

**Zeitintervall:**  
00:17:40 – 00:22:56

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Feuer, Flammpunkt

**Beschreibung der Szene:**

Ein Drache, der bei Bergbauarbeiten geweckt worden ist, hat die Herrschaft über die Welt übernommen. Es gibt nur mehr wenige Menschen, die sich unter höchster Gefahr in dunklen Festungen verstecken. Nicht alle Personen halten das aus, vor allem wenn die Früchte auf den Feldern vor der Festung langsam reif werden.

Statt sich an die vorgegebenen Regeln zu halten, fahren einige Männer verbotenerweise und unter höchster Gefahr vor Drachenangriffen nachts auf das Feld. Und tatsächlich startet ein Drache kurz darauf einen Angriff. Die Früchte sind vergessen, alles was jetzt zählt ist die Rettung. Bereits beim ersten Angriff verschlingt der Drache einen der Menschen. Die restlichen überleben nur, weil Quinn und einige mutige Männer sie retten kommen.

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Einführende Beschreibung

#### Drachen

Ein Drache ist ein meist Feuer speiendes Mischwesen aus Schlange, Krokodil und Löwe. Manche Mythenforscher sehen Drachen als Erinnerung an die Dinosaurier, obwohl Menschen und Dinosaurier nicht gleichzeitig gelebt haben.

Der Kampf von Mensch gegen Drachen ist begleitet vom Kampf von „Gut“ gegen „Böse“. Dies spiegelt sich zum Beispiel bei Siegfried gegen Fafnir (Nibelungenlied) wider.

Die Menschen im Film „Herrschaft des Feuers“ verbringen bereits viele Jahre eingesperrt auf engstem Raum in einer alten Festung. Es ist verständlich, dass sich viele dabei beengt fühlen. Doch um so überleben zu können, bleiben zu viele Fragen ungeklärt. Wo kommt zum Beispiel das Wasser zum Überleben her? Oder Lebensmittel: Die Früchte am Feld mögen heiß begehrt sein, aber dies können nicht alle Lebensmittel sein. Die vielen Menschen müssen zumindest mit dem Mindesten versorgt sein, um bis jetzt mehrere Jahre lang überlebt haben zu können.

#### Brennbarkeit von Materialien

Nach dem ersten Angriff des Drachens stehen bereits weite Teile des Feldes unter Flammen. Damit ein Körper „Feuer fängt“, also zu brennen beginnt, muss seine Temperatur (zumindest lokal) über seinen Flammpunkt steigen. Da die Bäume mit den Früchten gut wachsen, sind sie ausreichend mit Wasser versorgt – überdies ist die Szenerie mit teils dichtem Nebel begleitet. Die Energie des Feuers des Drachens muss vor dem In-Brand-setzen erst die Energie zum Trocknen der Materialien aufbringen. Erst wenn das Holz (wiederum zumindest lokal) getrocknet ist, und die Temperatur an der Stelle über den Flammpunkt steigt, kann sich das Holz entzünden.

In der Szene überfliegt der Drache zwar mit einem gewaltigen Feuerstoß das Feld, dieser ist jedoch relativ kurz.



**Der Lindwurm in Klagenfurt**  
 ([http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Klagenfurt\\_Lindwurm.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Klagenfurt_Lindwurm.jpg))

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Weiterführende Beschreibung

Um einen Körper zu entzünden, muss die Temperatur des betreffenden Körpers über seine Entzündungstemperatur (Flammpunkt) steigen. Der Flammpunkt von Holz liegt bei ca. 250 Grad Celsius. Ist das Holz feucht, muss zusätzlich die Energie zum Trocknen aufgebracht werden. Nur so kann das Holz auch nachhaltig brennen. Es erscheint schon etwas unwahrscheinlich, dass ein einziger Feuerstoß des Drachens das feuchte Holz trocknet und flächenweit soweit erhitzt, dass es weiter brennt. Was jedoch auf keinen Fall der Wahrheit entsprechen kann, ist die Tatsache, dass einen Augenblick später ein Fahrzeug bereits völlig ausgebrannt ist. Selbst wenn der Feuerstoß des Drachens so heiß war, dass er nicht nur feuchtes Holz, sondern auch Fahrzeuge anzünden vermag, es braucht eine gewisse Zeit, bis ein Fahrzeug ausgebrannt ist.

### Experiment

Man kann den Drachenflug im PH-Saal einfach nachstellen. Man benötigt dazu einen Bunsenbrenner sowie verschiedene Materialien wie Holz, Papier, Haare, Stoff, Blätter, usw. Außerdem ist eine feuerfeste Unterlage (und als Vorsichtsmaßnahme ein Feuerlöscher) vonnöten. Nach der Reihe legt man eines der Materialien auf die feuerfeste Unterlage. Man entzündet den Bunsenbrenner, und bewegt diesen mit einer gleichmäßigen Bewegung (entspricht dem Flug des Drachens) über das Material. Welches beginnt zu brennen, welches nicht?



"Drachenflug" über Papier (links), Haare (oben) und Holz (unten) – im Experiment fing einzig das Papier etwas zu glimmen an.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

Die Szene enthält weitere Unstimmigkeiten:

- Der Drache hat es – auch laut Informationen vor dieser ausgewählten Szene – ausschließlich auf die Menschen abgesehen. Wie schaffen es die Retter dann unbeschadet zum Feld?
- Warum greift der Drache beim zweiten Angriff nicht die Personen an, sondern speit das Feuer über das Feld?
- Beim dritten Angriff fährt die Feuerfront sichtlich über die Personen hinweg.
- Obwohl es Stoffkuten sind, die vermutlich auch noch trocken sind, fangen diese kein Feuer.
- Außer den wenigen Bewohnern der Festung scheint im näheren Umkreis kein Mensch mehr am Leben zu sein. Woher kommt die elektrische Energie, die die anfangs gezeigten Lampen erhellen lässt?

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com)

---

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Wissenschaftliche Beschreibung

**Drachen**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Drache\\_%28Mythologie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Drache_%28Mythologie%29)

**Feuer**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Feuer>

**Flammpunkt**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Flammpunkt>

## 9.1.6 Herrschaft des Feuers – Eine heiße Türe

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Thermodynamik

**Film / Jahr:**

Herrschaft des Feuers / 2002

**Filmproduzent:**

Rob Bowman

**Regisseur:**

Rob Bowman

**Besetzung:**

Matthew McConaughey, Christian Bale

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

**Beschreibung des Films:**

Der Kampf um die Erde hat begonnen! Durch Zufall wird bei Bauarbeiten in London eine uralte Höhle freigelegt. Als der Junge Quinn sie betritt, weckt er damit eine mystische Kreatur des Schreckens aus ihrem ewigen Schlaf: Ein gigantischer Drache breitet seine Schwingen aus und überzieht die Erde mit Feuer und Vernichtung. In nur wenigen Jahren hat die Brut der Kreatur nahezu die ganze Menschheit ausgerottet. Wo früher die stolzen Hauptstädte dieser Welt standen, weht jetzt nur noch Asche durch qualmende Ruinen.

Jahrzehnte nach der Apokalypse beherrschen die geflügelten Ungeheuer die Erde und die letzten Menschen kämpfen in kleinen Gruppen verzweifelt um ihr Überleben. Unter ihnen ist auch Quinn, der sich mit einigen Männern in einer alten Burg verschanzt hat. In dieser verzweifelten Situation, in der es kaum noch Hoffnung für die Menschheit gibt, taucht ein fremder Kämpfer an der Spitze einer Truppe von Drachentöttern auf. Sie haben sich geschworen, Feuer mit Feuer zu bekämpfen und treten den hochintelligenten Urzeitwesen mit Helikoptern, Panzern und ihrem nacktem Leben entgegen. Zusammen mit den Burgbewohnern starten sie den entscheidenden Kampf gegen den Ahn aller Drachen... Eine gewaltige Schlacht entbrennt, an deren Ende nur eine Spezies überleben kann!

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://www.imdb.com/title/tt0253556/>

**DVD:**

<http://www.amazon.de/Die-Herrschaft-Feuers-Matthew-McConaughey/dp/B000088NSM/sr=8->

[1/qid=1170618797/ref=pd\\_ka\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Die-Herrschaft-Feuers-Matthew-McConaughey/dp/B000088NSM/sr=8-1/qid=1170618797/ref=pd_ka_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Eine heiße Tür

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Die Herrschaft des Feuers)

**Zeitintervall:**  
01:08:56 – 01:12:30

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Feuer, Wärmeleitung

**Beschreibung der Szene:**

Der einzige männliche Drache ist mit Abstand der größte und mächtigste Drache. Seine Feuergewalt ist mächtig. Dementsprechend erschrocken sind die Bewohner der Burg, in welche sich wenige der bis jetzt Überlebenden zurückgezogen haben, als dieser Drache die Burg angreift. Nach einem ersten Angriff retten sich alle Kinder in die tief unten gelegenen Schutzbunker. Hauptdarsteller Quinn befindet sich gerade auf einem Ausritt außerhalb der Burg, als er von der Ferne diesen ersten Angriff sieht. Voller Entsetzen reitet er zurück. In der Burg rettet er zuerst zwei kleine Kinder, die sich aus Angst weigern, die Schutzbunker aufzusuchen. Unten angekommen, dreht er die Wasserlöschanlage auf. Sein Kumpel Greedy teilt ihm mit, dass sich weitere 65 Menschen in der Burg befinden. Zuerst will Quinn nach oben gehen, aber Greedy überzeugt ihn, dass dies zu gefährlich für ihn sei. Just in dem Moment als Greedy, von Quinn noch ausgestattet mit einem Feuerlöscher, nach oben stürmt, startet der männliche Riesendrake seinen zweiten Angriff. Die Schutztür zum Bunker wird zugeschleudert, und Greedy wird ausgesperrt. Verzweifelt lehnt Quinn sich gegen die Stahltür.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Einführende Beschreibung

Das Phänomen kennt jeder: In der Früh füllt man heißen Tee/Kakao/Kaffee in eine kalte Tasse, und wenige Minuten später lassen sich die Finger daran wärmen. Was ist passiert?

Nach den Gesetzen der Thermodynamik wandert Energie immer von Orten höheren Temperaturen zu Orten niedrigeren Temperaturen – im Fall der Tasse also von innen nach außen. Abhängig vom Stoff (Porzellan, Metall, ...) geschieht dies unterschiedlich schnell – man spricht von guten bzw. schlechten Wärmeleitern.

So ist es nachvollziehbar, dass auch bei einer Stahltüre die Wärme von einer Seite zur anderen wandert, wenn sich hinter einer Seite ein Feuer befindet. Stahl bzw. Eisen sind gute Wärmeleiter, daher kann sich die Wärmeenergie rasch ausbreiten.

Im Film trennt eine Stahltür Quinn und eine Menschenmenge vom todbringenden Feuer des Drachens. Verzweifelt lehnt sich Quinn dagegen, weil sein Freund in diesem Feuer getötet wurde. Aber müsste die Türe nicht langsam heiß werden?

Schön zu sehen im Film ist auch, dass die Stahltüre feucht bzw. nass ist von der Löschanlage. Man sieht aber kein Dampfen oder ähnliches, obwohl die Türe aufgrund des sehr heftigen Feuerstoßes des Drachens schon heiß werden müsste.

Zu Beginn der Szene sieht man den ersten Angriff des Drachens auf die Burg. Der Feuerstoß ist von relativ langer Zeitdauer, sodass sich das Feuer hier sehr wohl ausbreiten kann.

Siehe dazu Unterlagen zu „Herrschaft des Feuers – Eigenwilliges Feuer“. Weitere Unstimmigkeiten:

- Der Drache hatte es in den Jahrzehnten davor ausschließlich auf die Menschen (bzw. Lebewesen) abgesehen – wieso kann Quinn fast ungestört zur Burg zurückreiten, und der Drache fliegt knapp über seinem Kopf hinweg?
- Der Feuerstoß des Drachens ist enorm – sowohl „viel“ Feuer als auch von langer Zeitdauer. Beim ersten Blick danach in das Innere der Burg brennt viel Holz lichterloh, und dazwischen laufen viele Menschen in Panik herum. Wenn das Feuer so lange in diesen Räumen war, sodass das Holz entzündet werden konnte, wieso kamen dabei nicht auch Menschen ums Leben?
- Feuer zusammen mit sehr feuchtem Klima, wie es in der Szenerie vorherrscht, müsste eine unglaubliche Rauchentwicklung ergeben. Auch verbrennendes Holz u.a. lässt Rauch entstehen. Doch trotz des vielen Feuers in der Burg besteht offenbar in keinster Weise die Gefahr einer Rauchvergiftung.
- Wieso kommt erst Quinn auf die Idee, die Löschanlage aufzudrehen, obwohl die ganze Burg bereits in lodernden Flammen steht?
- Für die Größe des Drachens sind seine Burg-umspannenden Flügel sehr dünn – man sieht das Feuer durchscheinen!

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Weiterführende Beschreibung

Nach dem Fourierschen Gesetz wird die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung im Falle eines Festkörpers mit zwei parallelen Flächen wie folgt beschrieben:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \cdot A}{d} (T_1 - T_2)$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{d} (T_1 - T_2)$$

wobei  $\lambda = 50 \frac{W}{m \cdot K}$  der Wärmeleitkoeffizient für unlegierten Stahl ist,  $d$  die Dicke der Tür,  $A$  die Querschnittsfläche sowie  $T_1$  und  $T_2$  die Temperaturen an den beiden Flächen.

Aus den beiden obigen Gleichungen ist ersichtlich, dass der Wärmefluss je größer ist, je größer der Temperaturunterschied zwischen außen ( $T_1$ ) und innen ( $T_2$ ) ist. Wir wissen zwar nicht, wie heiß der feurige Atem eines Drachens ist, aber einige hunderte Grad Celsius sind bei Feuer schon anzunehmen. Nehmen wir als einfache Näherung eine Temperatur von  $500^\circ \text{C}$  an, eine Dicke der Stahltür von 5 cm sowie eine Innentemperatur von  $25^\circ \text{C}$ , erhalten wir einen Wärmefluss pro Quadratmeter von

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{50 \frac{W}{m \cdot K}}{0,05m} (773,15K - 298,15K)$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = 475000 \frac{W}{m^2} \hat{=} 475 \frac{kW}{m^2}$$

Der Wert mit  $475 \text{ kW/m}^2$  ist relativ groß, daraus folgt eine schnelle Erhitzung der Innenseite der Stahltüre. Damit würde sich der Protagonist des Films ordentlich seine Finger verbrennen.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Herrschaft des Feuers  
**Filmszene:** Eigenwilliges Feuer  
**Regisseur:** Rob Bowman  
**Filmstudio:** Touchstone Pictures, Spyglass Entertainment

### Wissenschaftliche Beschreibung

**Drachen**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Drache\\_%28Mythologie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Drache_%28Mythologie%29)

**Feuer**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Feuer>

**Wärmeleitung (Fouriersches Gesetz)**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitung>

**Wärmeübertragung**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rme%C3%BCbertragung>

### 9.1.7 Virus - Lebensenergie

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Energie

**Film / Jahr:**

Virus / 1999

**Filmproduzent:**

Gale Ann Hurd

**Regisseur:**

John Bruno

**Besetzung:**

Jamie Lee Curtis, William Baldwin, Donald Sutherland

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://www.imdb.com/title/tt0120458/>

**Beschreibung des Films:**

Eine außerirdische Lebensform hat die Kontrolle über ein russisches Forschungsschiff an sich gerissen. Doch bevor sie ihre Besiedelungspläne durchführen kann, muss sie einen Virus auslöschen. Das Virus heißt Mensch. Nur eine Handvoll Glücksritter kann das Alien stoppen: Captain Everton (Donald Sutherland), seine Navigatorin Kit (Jamie Lee Curtis), der Ingenieur Steve (William Baldwin) und der Rest der Crew fliehen auf hoher See vor einem Taifun. Doch ihre Flucht endet in Terror und Todesangst – die außerirdische Macht will die „menschlichen Viren“ vernichten...

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database IMDb

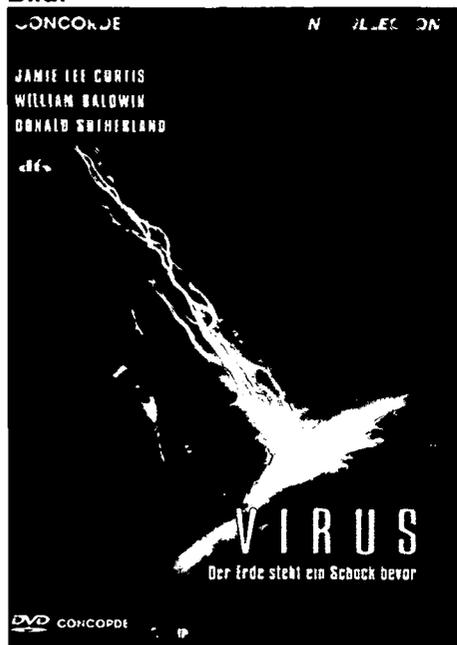
<http://www.imdb.com/title/tt0120458/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Virus-Jamie-Lee-Curtis/dp/B00004S5RZ/sr=8-1/qid=1170674502/ref=pd\\_ka\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Virus-Jamie-Lee-Curtis/dp/B00004S5RZ/sr=8-1/qid=1170674502/ref=pd_ka_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Lebensenergie

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Virus)

**Zeitintervall:**  
00:46:57 – 00:50:01

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Energie

**Beschreibung der Szene:**

Nachdem die Besatzung der Seastar das russische Forschungsschiff besetzt hat, erkunden einige Männer das Schiff und durchsuchen es nach Überlebenden. Dabei finden sie nicht nur die letzte Überlebende Russin, sondern auch „Dinge“, die halb Mensch, halb Roboter sind. Einer davon kann überwältigt und auf die Brücke gebracht werden, wo bereits die russische Wissenschaftlerin verhört wird. Sie erzählt die ganze Geschichte, wie es zu diesem Unglück kam, und identifiziert den menschlichen Roboter als ihren Ex-Kapitän. Doch dieser ist nicht tot, der Computer in seinem Gehirn funktioniert immer noch...

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Virus  
**Filmszene:** Lebensenergie  
**Regisseur:** John Bruno  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Mutual Film Company

### Einführende Beschreibung

In der Physik dreht sich (fast) alles um den Begriff Energie – auch in diesem Film basiert die außerirdische Lebensform auf Energie. Diese Energie schafft eine neue Lebensform, indem es aus den Bestandteilen von Mensch und Maschine neue Gestalten baut.

Kann Leben auf der Grundlage von Energie basieren? Unser menschliches Leben basiert auf Kohlenstoff, der in Roten Riesen beim Tripel-Alpha-Prozess gebildet wird. Nur aufgrund der Tatsache, dass in den Sonnen der Tripel-Alpha-Prozess über eine Resonanz verläuft, wird genügend Kohlenstoff gebildet. Es lassen sich kaum vernünftige Aussagen treffen, ob Leben auf der Basis von Energie möglich ist. Man kann jedoch das Energie-Äquivalent eines Menschen mit einer bestimmten Masse berechnen. Ein Mensch mit einer Masse von 80 kg besitzt ein Masseäquivalent von  $7,19 \cdot 10^{18} J$ . Das entspräche (bei einem Wirkungsgrad von 100%) rund 145000 Hiroshima-Bomben.

Energie wäre also genug vorhanden, die Frage bleibt, ob diese Energie auch logisch denken kann.

Im der Filmszene ist von einer Feuerlöschanlage die Rede, die durch das dabei auftretende Halongas bei 67 Männern tödliche Vergiftungen hervorrief. Halon ist ein chemisches Löschmittel. Diese löschen ein Feuer aufgrund von Wärmeentzug. Anders als herkömmliche Feuerlöscher, die die Sauerstoffzufuhr des Feuers unterbinden sollen, sind chemische Löschmittel ungefährlicher. Halone sind organische Halogenkohlenwasserstoffe, in denen mindestens ein Wasserstoff durch ein schweres Halogen (z.B. Brom) ersetzt wurde. Halone enthalten neben Brom in der Regel auch Fluor bzw. Chlor, wodurch diese die Ozonschicht erheblich angreifen. Aus diesem Grund ist die Produktion von Halonen mittlerweile verboten. Der Nachfolger des Halon-Löschmittels ist NOVEC 1230, welches innerhalb weniger Tage von der Atmosphäre wieder abgebaut wird. NOVEC 1230 besitzt unter anderem die angenehme Eigenschaft, elektrisch nicht leitend zu sein. Es kann daher auch bei elektrischen Anlagen wie Serverräumen etc. eingesetzt werden.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Virus  
**Filmszene:** Lebensenergie  
**Regisseur:** John Bruno  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Mutual Film Company

### Weiterführende Beschreibung

Berechnen wir die Energieäquivalenz eines Menschen:  
Energie ist eine physikalische Zustandsgröße. Sie kann weder erzeugt noch verbraucht werden – Energie kann nur umgewandelt werden. In Summe bleibt der Wert der Energie immer konstant (Energieerhaltung). Nach Albert Einstein ist Energie unzertrennlich mit Masse, also Materie verknüpft. Für die kinetische Energie  $E$  gilt

$$E = \gamma mc^2$$

mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

mit der Relativgeschwindigkeit  $v$ .  
Befindet sich ein Körper in Ruhe, ergibt sich daraus Einsteins berühmte Formel für die Ruheenergie eines Körpers:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{0}{c}\right)^2}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - 0}} = \frac{mc^2}{1} = mc^2$$

Die Energie  $E$  eines ruhenden Körpers entspricht also seiner Masse  $m$  multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , deren Wert

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

beträgt und von Olaf Christensen Römer (Ole Rømer) als erstes gemessen werden konnte.

Wendet man Einsteins Formel für die Ruheenergie auf einen „Menschen in Ruhe“ an, erhält man für eine Person von  $m = 80 \text{ kg}$  eine Ruheenergie von

$$E = 80 \text{ kg} \cdot c^2 = 7.190.041.429.894.541.120 \text{ J} \approx 7,19 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

Das entspricht (bei einem Wirkungsgrad von 100%) der Energie von rund 145000 Hiroshima-Bomben.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com)

---

**Film:** Virus  
**Filmszene:** Lebensenergie  
**Regisseur:** John Bruno  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Mutual Film Company

### Wissenschaftliche Beschreibung

#### Energie

<http://de.wikipedia.org/wiki/Energie>

#### Roboter

<http://de.wikipedia.org/wiki/Roboter>

#### MIR

[http://de.wikipedia.org/wiki/Mir\\_%28Raumstation%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Mir_%28Raumstation%29)

#### ISS

<http://de.wikipedia.org/wiki/ISS>

#### Chemische Löschanlage/Halonverbot

[http://de.wikipedia.org/wiki/Chemische\\_L%C3%B6schanlage](http://de.wikipedia.org/wiki/Chemische_L%C3%B6schanlage)

### 9.1.8 Titanic – „Iceberg right ahead!“

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Thermodynamik, Mechanik

**Film / Jahr:**

Titanic / 1997

**Filmproduzent:**

James Cameron

**Regisseur:**

James Cameron

**Besetzung:**

Leonardo DiCaprio, Kate Winselt, Billy Zane, Kathy Bates, Frances Fisher, Bernard Hill, Jonathan Hyde, Danny Nucci, Gloria Stuart, David Warner, Vivtor Garber, Bill Paxton

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung

<http://www.titanicmovie.com>

<http://www.imdb.com/title/tt0120338/>

**Beschreibung des Films:**

Am 10. April 1912 geht in Southampton, England, die Titanic auf ihre Jungferreise. An Bord befinden sich unter anderem Rose DeWitt Bukater sowie Jack Dawson. Rose ist mit einem viel älteren Mann unglücklich verlobt und will sich das Leben nehmen, indem sie vom Schiff springt. Jack kann sie von ihrem Vorhaben abbringen, und die beiden verlieben sich unsterblich. Doch plötzlich taucht

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database IMDb

<http://www.imdb.com/title/tt0120338/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Titanic-Leonardo-](http://www.amazon.de/Titanic-Leonardo-DiCaprio/dp/B00004RYQW/sr=1-3/qid=1170683929/ref=pd_bowtega_3/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

[DiCaprio/dp/B00004RYQW/sr=1-](http://www.amazon.de/Titanic-Leonardo-DiCaprio/dp/B00004RYQW/sr=1-3/qid=1170683929/ref=pd_bowtega_3/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

[3/qid=1170683929/ref=pd\\_bowtega\\_3/303-0617376-](http://www.amazon.de/Titanic-Leonardo-DiCaprio/dp/B00004RYQW/sr=1-3/qid=1170683929/ref=pd_bowtega_3/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

[6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Titanic-Leonardo-DiCaprio/dp/B00004RYQW/sr=1-3/qid=1170683929/ref=pd_bowtega_3/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
„Iceberg right ahead!“

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Titanic)

**Zeitintervall:**  
01:33:00 – 01:37:58

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Anomalie des Wassers, Pivotpunkt

**Beschreibung der Szene:**

Während der Nacht entdeckt der Ausguck plötzlich einen Eisberg direkt vor der Titanic. Die Titanic ist mit voller Geschwindigkeit unterwegs, und ein so großes Schiff hat einen sehr großen Wendekreis-Radius. Ein Ausweichen scheint daher unmöglich. Das Schiff weicht so schnell nach links aus wie nur möglich, doch der vordere, rechte Teil des Schiffs rammt den Eisberg. Als das Schiff den Pivotpunkt erreicht, gibt der Kapitän Befehl nach rechts zu drehen. Auf diese Weise verhindert der Kapitän, dass der Eisberg die gesamte Steuerbugseite aufreißt. Dennoch läuft das Schiff nach und nach mit Wasser voll.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Titanic  
**Filmszene:** „Iceberg right ahead!“  
**Regisseur:** James Cameron  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox, Paramount Pictures

### Einführende Beschreibung

„Wasser ist nicht normal“ lernt man in der Schule, und tatsächlich verhält sich Wasser etwas anders. Wasser ist das einzige Element, das natürlich in allen drei Aggregatzuständen auftritt: Wasserdampf – Wasser – Eis.

Das Besondere ist, dass Wasser unter Normaldruck (101325Pa) bei einer Temperatur von 3,98°C seine größte Dichte mit 0,999972 g/cm<sup>3</sup> annimmt. Das bedeutet, dass 1kg Wasser unter diesen Bedingungen das kleinste Volumen annimmt<sup>60</sup>.

Daraus ergeben sich gravierende Folgen, wobei einige für die Existenz von Leben auf unserem Planeten Erde von entscheidender Bedeutung sind:

- Füllt man ein Gefäß komplett mit Wasser, verschließt es und lässt das Wasser gefrieren, zerreißt das Gefäß (oder dehnt sich zumindest aus). Der Grund liegt darin, dass sich Wasser beim Gefrieren zu Eis wieder ausdehnt. Aufgrund der Anomalie besitzt Wasser die größte Dichte – und damit das kleinste Volumen – bei etwa 4°C. Dies hat zum Beispiel in der Bauwirtschaft Folgen: An einem sonnigen Wintertag schmilzt etwas Schnee bzw. Eis aufgrund der Sonneneinwirkung und dringt in den Asphalt der Straße ein. In der Nacht gefriert dieses Wasser jedoch wieder, da die Temperatur absinkt. Das Eis dehnt sich dabei aus, und sprengt den Straßenbelag auf. Derselbe Vorgang findet sich bei der Sprengung von Felsen auf Bergen wieder, oder in der Wüste. Dort sind die Tag-/Nacht-Unterschiede der Temperatur besonders groß. Man nennt diesen Vorgang auch „physikalische Verwitterung“.
- Der Feststoff Eis ist leichter als die Flüssigkeit Wasser. Daraus ergibt sich die für uns typische Situation, dass Eis auf dem Wasser schwimmt.

Aus der Tatsache, dass Wasser bei 4°C die größte Dichte besitzt und daher am schwersten ist, ergibt sich auch die Tatsache, dass 4°C kaltes Wasser immer auf den Grund eines Gewässers absinkt. Wenn es nicht erwärmt wird, bleibt es dort. Daraus folgt, dass ein Gewässer nie vom Boden her zufriert. Tatsächlich friert Gewässer bei entsprechend kalter Umgebungstemperatur von der Oberfläche aus zu. Aus diesem Grund sterben die Bewohner von Gewässern wie Fische und andere im Winter nicht ab (und damit aus).

<sup>60</sup> Prof. Martin Chaplin von der London South Bank University findet insgesamt sogar 63 Anomalien von Wasser.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Titanic  
**Filmszene:** „Iceberg right ahead!“  
**Regisseur:** James Cameron  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox, Paramount Pictures

### Weiterführende Beschreibung

Für diesen Videoclip betrachten wir die Dichte etwas genauer. Die Dichte von Eis bei 0°C beträgt 917kg/m<sup>3</sup>, die Dichte von Meerwasser liegt bei 1025 kg/m<sup>3</sup>.

Führen wir eine vereinfachte Rechnung durch: Nehmen wir an, der Eisberg sei ein Quader mit der Seitenlänge x. In der Höhe setzt sich x zusammen aus a (die Höhe über dem Wasser) und x-a (die verbleibende Höhe unter dem Wasser).

- Dichte des Wassers d<sub>w</sub>:

$$d_w = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Dichte des Eisbergs d<sub>E</sub>:

$$d_E = 917 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Erdbeschleunigung g:

$$g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Das Volumen V<sub>E</sub> des Körpers berechnet sich zu V<sub>E</sub>:

$$V_E = x^3$$

- Die Masse m<sub>E</sub> des Eisbergs beträgt demnach m<sub>E</sub>:

$$m_E = V_E \cdot d_E = x^3 \cdot d_E$$

- Die Gewichtskraft des Eisbergs beträgt demnach G<sub>E</sub> = V<sub>E</sub> · d<sub>E</sub> · g = x<sup>3</sup> · d<sub>E</sub> · g.

$$G_E = V_E \cdot d_E \cdot g = x^3 \cdot d_E \cdot g$$

- Die Auftriebskraft ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. In unserem Fall ist dies das Volumen V<sub>A</sub>:

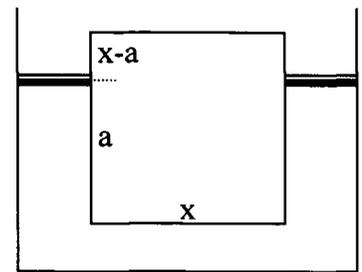
$$V_A = x^2 \cdot a$$

- Die Masse m<sub>A</sub> der verdrängten Flüssigkeit beträgt demnach

$$m_A = V_A \cdot d_w = x^2 \cdot a \cdot d_w$$

- Die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit beträgt demnach

$$G_A = x^2 \cdot a \cdot d_w \cdot g$$



Skizze zur Rechnung

- Wir wollen nun die Eintauchtiefe  $a$  bestimmen, die für diesen Körper gilt. Dies ist an dem Punkt erreicht, wenn  $G_E$  und  $G_A$  ein Gleichgewicht erreichen:

$$G_E = G_A$$

$$x^3 \cdot d_E \cdot g = x^2 \cdot a \cdot d_W \cdot g$$

$$x \cdot d_E = a \cdot d_W$$

$$\frac{x}{a} = \frac{d_W}{d_E}$$

Eingesetzt ergibt sich folgendes Verhältnis:

$$x : a = 1,12 : 1$$

- Berechnet man die Verhältnisse zwischen dem Gesamtvolumen und dem eingetauchten Teil, erhält man unter der Verwendung von

$$x = 1,12 \cdot a$$

$$\frac{V_E}{V_A} = \frac{1,12^3 \cdot a^3}{1,12^2 \cdot a^3 \cdot a} = 1,12$$

dass nur 12% des Gesamtvolumens sichtbar über Wasser liegen. Die restlichen 88% liegen unter Wasser und sind daher nicht sichtbar.

Auch wenn der Titanic bereits der sichtbare Teil des Eisbergs schwere Schäden zufügte, liegt die eigentliche Gefahr unter der Wasseroberfläche. Verborgен vor den menschlichen Augen liegt dort der Großteil der Masse eines Eisbergs gut konserviert im kalten Wasser.

Wenden wir uns einem zweiten Aspekt der Filmszene zu, dem Steuern von Schiffen. Wenn ein Schiff im Wasser schwimmt, erfährt es keine Reibung mehr – im Gegensatz zu einem Auto zum Beispiel, das mit den Reifen fest am Boden steht. Die Steuerung eines Schiffs kann sich daher nicht so gestalten wie bei einem Auto.

Eine zentrale Rolle bei der Schiffssteuerung spielt der so genannte Pivotpunkt. Darunter versteht man den Drehpunkt eines Schiffes. Lenkt ein Schiff mithilfe seines Ruders in einer Kurve ein, wird das Schiff um den Pivotpunkt gedreht.

Im einfachsten Fall steht das Schiff still, und am hintersten Punkt wird eine normal zur Schiffs-Längsachse ausgerichtete Kraft – zum Beispiel durch ein Querruder – ausgeübt. Im Idealfall (Reibung, ...) dreht sich das Schiff um seinen Pivot-Punkt.

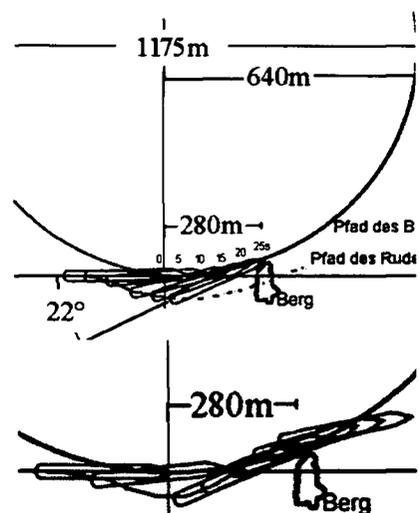
Bei symmetrischen Figuren fällt der Pivot-Punkt mit dem Schwerpunkt zusammen, anders hingegen bei asymmetrischen Körpern.

Bei der Titanic lag der Pivot-Punkt im Bereich des vorderen Schornsteins, also im vorderen Drittel des Schiffs. Das Schiff „scherte“ daher relativ weit aus. Hätte Murdoch kein Kommando zum Gegendrehen gegeben, wäre die Titanic mit der ganzen Steuerbordseite gegen den Eisblock gefahren. Aber so wich das Heck dem Eisberg aus und verhinderte so größeren Schaden.

Eine kleine Anmerkung am Rande: In allen bekannten Beschreibungen und Verfilmungen wird das Ausweichmanöver in Richtung links, also backbord gezeigt. Doch im Filmclip von „Titanic“ lautet das Kommando nicht backbord, sondern „Hart steuerbord!“ . Der daraufhin gezeigte Steuermann dreht das Ruder jedoch bereits backbord.



Im Unterschied zu Wasser: links: festes Kerzenwachs, mitte: halb verflüssigt, rechts: gänzlich verflüssigt



Skizze des Ausweichmanövers der Titanic (<http://de.wikipedia.org/wiki/Titanic>)

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Titanic  
**Filmszene:** „Iceberg right ahead!“  
**Regisseur:** James Cameron  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox, Paramount Pictures

### Wissenschaftliche Beschreibung

#### Titanic

<http://titanic.deep-ice.com/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Titanic>

#### Titanic (Film)

[www.titanicmovie.com](http://www.titanicmovie.com)

<http://www.imdb.com/title/tt0120338/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Titanic\\_%281997%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Titanic_%281997%29)

#### Wasser (Anomalie des Wassers)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasser>

#### Pivotpunkt

<http://de.wikipedia.org/wiki/Pivotpunkt>

### 9.1.9 Speed – Der fliegende Bus

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Mechanik

**Film / Jahr:**

Speed / 1994

**Filmproduzent:**

Mark Gordon

**Regisseur:**

Jan de Bont

**Besetzung:**

Keanu Reeves, Dennis Hopper, Sandra Bullock

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0111257/>**Beschreibung des Films:**

Er ist ein Cop aus der Anti-Terror-Einheit von Los Angeles. Und so ist der Alarm für Jack Traven nichts Ungewöhnliches: Ein Terrorist will drei Millionen Dollar erpressen, oder die zufälligen Geiseln in einem Aufzug fallen 35 Stockwerke in die Tiefe. Doch Jack schafft das Unmögliche – die Geiseln werden gerettet und der Terrorist stirbt an seiner eigenen Bombe. Doch schon wenig später steht Jack dem Bombenexperten Payne erneut gegenüber. Diesmal hat sich der Erpresser eine ganz perfide Mordwaffe ausgedacht: Er platziert eine Bombe in einem öffentlichen Bus. Der Mechanismus der Sprengladung schaltet sich automatisch ein, sobald der Bus schneller als 50 Meilen in der Stunde fährt und detoniert sofort, sobald die Geschwindigkeit sinkt. Plötzlich wird für eine Handvoll ahnungsloser Durchschnittsbürger der Weg zur Arbeit zum Höllentrip – und nur Jack hat ihr Leben in der Hand. Als der Busfahrer verletzt wird, übernimmt Fahrgast Annie das Steuer. Doch wohin mit einem Bus, der nicht bremsen kann in der Stadt der Staus? Doch es kommt noch schlimmer: Payne will jetzt nicht nur „seine“ drei Millionen Dollar. Er will Jack. Um jeden Preis.

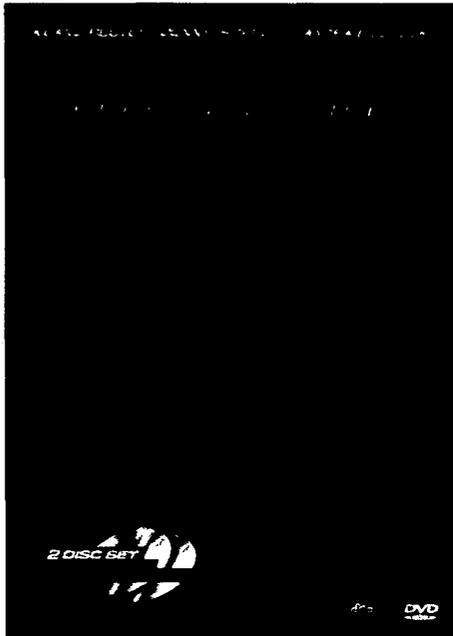
**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0111257/trailers>**DVD:**[http://www.amazon.de/Speed-Keanu-Reeves/dp/B0002RRQZ8/sr=1-1/qid=1170709190/ref=pd\\_bowtega\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Speed-Keanu-Reeves/dp/B0002RRQZ8/sr=1-1/qid=1170709190/ref=pd_bowtega_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Der fliegende Bus

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle des Films Speed)

**Zeitintervall:**  
00:59:45 – 01:04:01

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Mechanik, Wurfparabel, Kraftwirkung

**Beschreibung der Szene:**

Die Helikoptereinheit muss zum Entsetzen aller feststellen, dass die Autobahn noch nicht fertig gestellt ist. Auf einer Brücke fehlt ein Stück von ca. 15 Metern. Da der Bus bei einer Geschwindigkeit von unter 50 Meilen pro Stunde in die Luft fliegen würde, beschließt Jack, das Gefährliche zu wagen: Er lässt den Bus voll beschleunigen und so über das fehlende Teilstück fliegen zu lassen. Die Rechnung geht auf, und die Geschwindigkeit ist nach dem Flug immer noch knapp über 50 Meilen pro Stunde.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Speed  
**Filmszene:** Der fliegende Bus  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox

### Einführende Beschreibung

Man kann den „Busflug“ leicht nachstellen – ein (nicht zerbrechlicher) Stift und ein ebener Tisch reichen bereits: Lässt man den Stift über die Kante sausen, erkennt man, dass die Flugbahn des Stifts in keinsten Weise nach oben, sondern immer nach unten führt.

Erst wenn man den Tisch mit etwas Aufwand schräg stellt, und den Stift wiederum über die Kante sausen lässt, bewegt sich dieser vor der Abwärtsbewegung zuerst etwas nach oben.

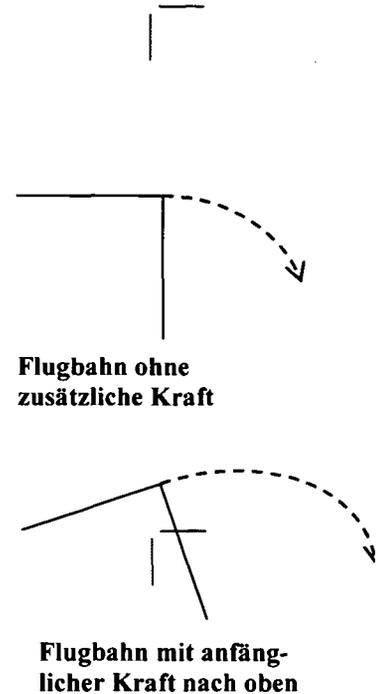
Die Kraft, die überall zu jedem Zeitpunkt auf den Stift wirkt, ist die Schwerkraft. Die Ursache dafür ist die unglaublich große Masse der Erde. Bereits Isaac Newton erkannte, dass diese Kraft sowohl alle Gegenstände auf der Erde „nach unten fallen“ lasse, als auch den Mond auf seiner Umlaufbahn um die Erde halte.

Erst wenn eine zusätzliche Kraft nach oben wirkt, wie das bei dem schräg gestellten Tisch der Fall ist, ist es dem Stift möglich, sich vorerst nach oben zu bewegen. Doch die Kraft nach oben wirkt nur beim „Absprung“, die Schwerkraft nach unten jedoch immer und überall. So fällt der Stift auch in dieser Situation nach unten.

Betrachtet man den Flug des Busses etwas genauer, stellt man fest, dass vor allem der vordere Teil des Busses regelrecht in die Höhe geschleudert wird. Der hintere Teil hingegen fliegt relativ flach über das fehlende Teilstück hinweg.

Diese Tatsache schließt die zeitlich konstante Wirkung einer zusätzlichen Kraft, wie sie zum Beispiel durch eine Abschussrampe verursacht werden könnte, aus. Es müsste eine Kraft sein, die zwar stark auf den vorderen Teil, nicht so stark jedoch auf den hinteren Teil des Busses wirkt. Diese Kraft muss erst einmal gefunden werden.

Noch eine Tatsache kommt hinzu: Das fehlende Teilstück befindet sich in einer Kurve. Aus den Newtonschen Gesetzen ist bekannt, dass ein Körper in Ruhe bzw. geradliniger, gleichförmiger Geschwindigkeit verharrt, solange keine Kraft auf ihn wirkt. Dies gilt insbesondere für Kreisbewegungen. Damit ein Körper eine Kreisbewegung beschreibt, muss zu jedem Zeitpunkt eine Kraft in Richtung des Kreismittelpunktes wirken. Diese Kraft nennt man Zentripetalkraft. Solange sich der Bus mit zumindest einem Rad auf der Straße befindet, kann diese Kraft aufrecht erhalten bleiben, doch sobald er durch die Luft fliegt, müsste er nach den Newtonschen Gesetzen geradlinig weiterfliegen.

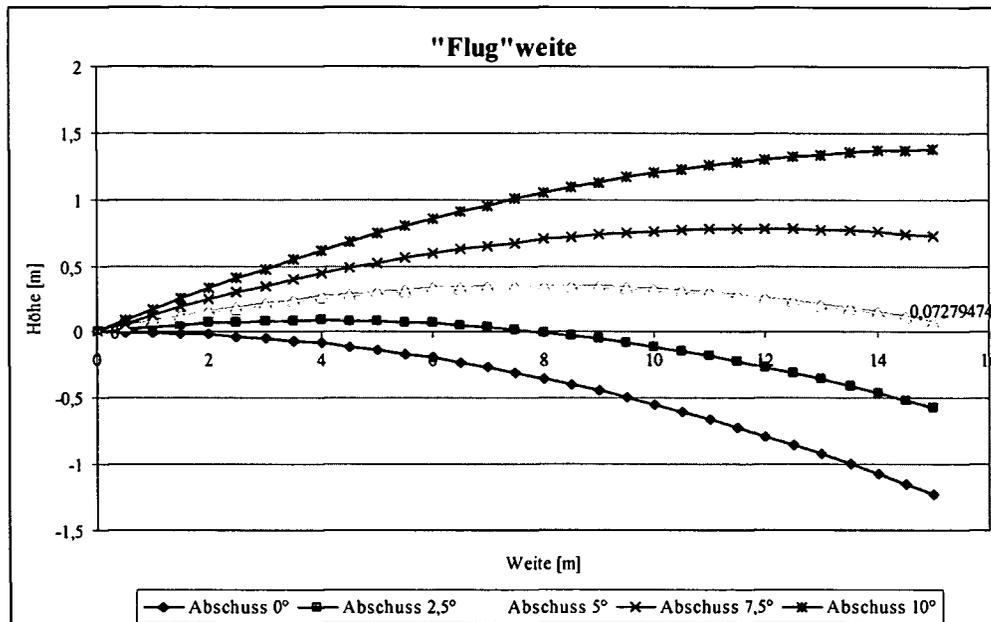


**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Speed  
**Filmszene:** Der fliegende Bus  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox

### Weiterführende Beschreibung

Kennt man die Gesetzmäßigkeiten zur Wurfparabel etwas genauer, weiß man, dass man mit einem bestimmten Abschusswinkel größere Weiten erzielen kann. Die Geschwindigkeit des Busses vor dem Abflug beträgt rund 108 km/h (67 mph). Führt man die Rechnung für verschiedene Abschusswinkel durch, sieht man, dass bereits ein Winkel von 5° genügt, um den Bus heil über die Brücke zu fliegen. Das folgende Diagramm gibt die Flugkurven unter verschiedenen Abschusswinkeln wieder:



Die gelbe Kurve entspricht einem Abschusswinkel von 5°. Der Wert rechts gibt die Flughöhe bei einer Entfernung von 15 m an.

Der Luftwiderstand spielt bei der großen Masse des Busses keine wesentliche Rolle.

Weitere Auffälligkeiten:

- Von der Autobahn, auf der der Bus und die Begleitfahrzeuge unterwegs sind, ist offenbar noch nicht fertig gestellt. Die große, lang gezogene Rampe links ist vor der Auffahrt abgesperrt. Die Fahrbahn gerade aus ist mithilfe von Fahrzeugen versperrt. Aber wenn man genau hinsieht, erkennt man auf der Rampe, die zum fehlenden Teilstück führt, noch eine Teilung der Fahrbahn. Leider versperrt ein Überkopf-Verkehrsschild die Sicht etwas, aber ein fehlendes Teilstück hier müsste trotzdem ersichtlich sein (ansonsten wäre es zumindest viel kürzer als das auf dem rechten Ast). Da es den Helden im Film lediglich darum geht, den Bus auf einer

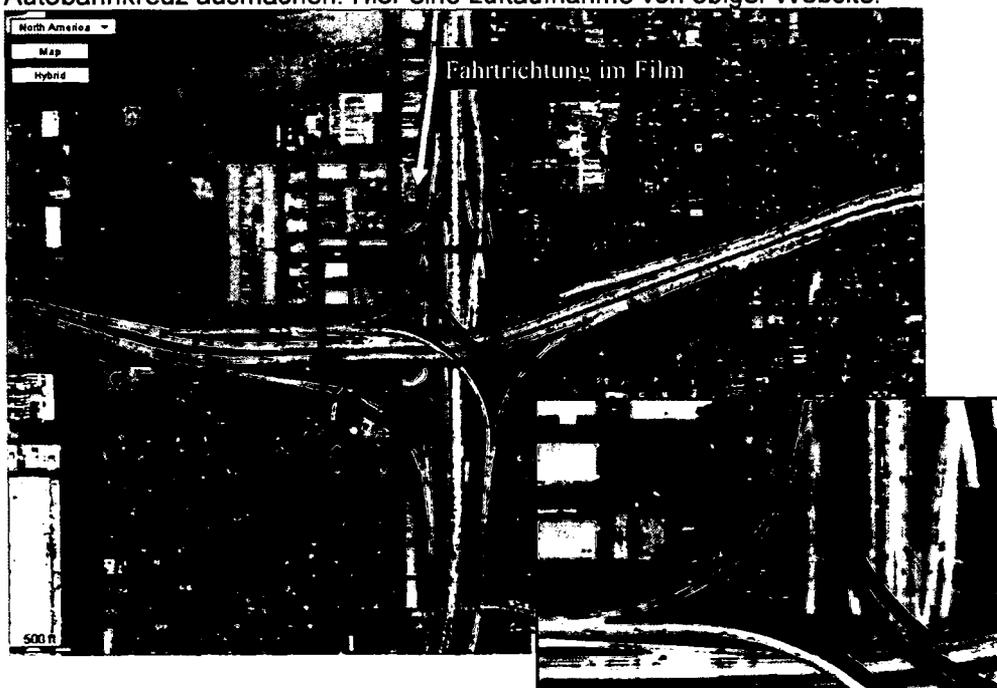
EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

konstanten Geschwindigkeit über 50 Meilen pro Stunde zu halten, drängt sich die Frage auf, warum man lieber über ein fehlendes Teilstück springt, als ein paar weiche Plastikhütchen-Absperrungen zu überfahren und dafür eine fertig gestellte Autobahn zu befahren...

- In der englischen Version ist von einem fehlenden Stück von „15 feet“ die Rede, was rund 4,572 Metern entspricht (1ft entspricht 0,3048m). Da kommt die Größe des Teilstücks in der deutschen Version bedeutend näher an die gezeigte Wirklichkeit.

Mit ein wenig Recherchearbeit lässt sich der Ort der Geschehnisse in dieser Filmszene auch in der Wirklichkeit erforschen. Auch wenn man noch nie in Los Angeles war, und obwohl es auf den ersten Blick wie eine Suche nach einer bestimmten Nadel aussieht, lässt sich das Autobahnkreuz in Los Angeles ausmachen. Und zwar macht man sich eine Szene zunutze, die kurz nach der jetzt analysierten Szene liegt: Gleich nach der glücklichen Landung verlässt der Bus auf Jacks Anordnung den Highway und biegt auf das Flughafengelände ab. Man sieht ein Überkopf-Verkehrsschild, das teilweise mit Holz verschlagen ist: „...ial Hwy“, sowie „LAX, Air Cargo, Terminals“.

Sucht man unter [www.us.map24.com](http://www.us.map24.com) nach „Los Angeles Airport“, wird man sofort fündig: Es gibt tatsächlich einen Highway neben dem Airport, und der Name passt zu dem abgeschnittenen Schild „Imperial Highway“. Kurz vor der Ausfahrt zum Highway lässt sich schließlich das diskutierte Autobahnkreuz ausmachen. Hier eine Luftaufnahme von obiger Website:



Satellitenkarte von [www.us.map24.com](http://www.us.map24.com) von der vermutlichen Kreuzung; in der Vergrößerung ist die wahrscheinliche Stelle des fehlenden Straßenstücks gekennzeichnet

Auf den ersten Blick sieht es tatsächlich danach aus, als ob dies das gesuchte Autobahnkreuz ist. Doch betrachtet man die Situation etwas genauer, stellt man fest, dass einige kleine Details fehlen bzw. nicht übereinstimmen:

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

- Die Hauptstrecke der Fahrbahn geht in obiger Abbildung gerade durch das Hauptkreuz, in der Szene ist jedoch eine lang gezogene Linkskurve zu sehen.
- Der lang gezogene Ast, der zuoberst über das Autobahnkreuz führt, dreht sich in die andere Richtung: In obiger Abbildung verläuft die Kurve (aus Sicht des Autofahrers) nach links, während hingegen in der Szene die Straße eine Rechtskurve macht.

Auch die umliegenden sieben Autobahnkreuze in der Nähe des Los Angeles Airports weisen nicht dieselbe Topologie wie das im Film gezeigte Autobahnkreuz auf.

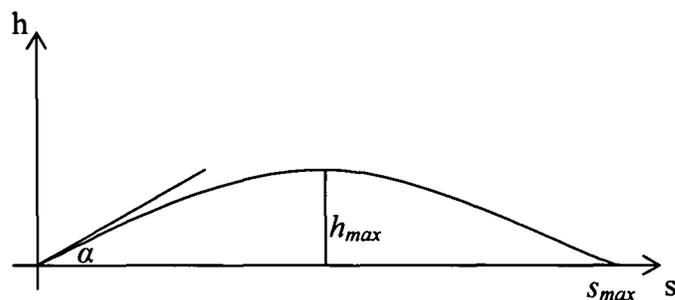


**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Speed  
**Filmszene:** Der fliegende Bus  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Twentieth Century Fox

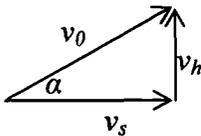
### Wissenschaftliche Beschreibung

Von einem „schiefen Wurf“ spricht man in der Physik immer dann, wenn ein Körper mit einer bestimmten Geschwindigkeit in einem gewissen Winkel weggeworfen wird. Die Anfangsgeschwindigkeit wird meist mit  $v_0$ , der Abschusswinkel meist mit  $\alpha$  bezeichnet.



Skizze eines schiefen Wurfes (Wurfparabel)

Zeichnet man sich zur besseren Übersicht das „Startdreieck“ groß heraus, so erhält man Gleichungen für  $s$  und  $h$ :



Skizze der Vergrößerung des Abwurf-Dreiecks

In  $s$ -Richtung wirkt nur der Anfangsimpuls (bei vernachlässigtem Luftwiderstand), in  $h$ -Richtung wirkt entgegen dem Anfangsimpuls zu jedem Zeitpunkt die Erdbeschleunigung  $g$ . Man erhält somit:

$$\sin \alpha = \frac{v_h}{v_0} \Rightarrow v_h = v_0 \sin \alpha \Rightarrow v_h = v_0 \sin \alpha - gt$$

$$\cos \alpha = \frac{v_s}{v_0} \Rightarrow v_s = v_0 \cos \alpha$$

EXPLANATION

Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio
-------	----------	------------	-------	------------	----------	-------------

Die Höhe  $h$  und den zurückgelegten Weg  $s$  erhält man durch Integration über die Zeit  $t$ :

$$h(t) = \int v_h dt = \int v_0 \sin \alpha - g t dt = -\frac{g}{2} t^2 + v_0 t \sin \alpha + h_0$$

$$s(t) = \int v_s dt = \int v_0 \cos \alpha dt = v_0 t \cos \alpha + s_0$$

$h_0$  und  $s_0$  sind dabei die Werte der Anfangsbedingungen der Höhe und der Wurfweite. Mit den obigen beiden Gleichungen besitzt man zwei nach der Zeit parametrisierte Formeln für die Wurfhöhe und die Wurfweite. Durch

$$s(t) = s = v_0 t \cos \alpha + s_0$$

$$\Rightarrow t = \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha}$$

lässt sich der (Zeit-)Parameter  $t$  eliminieren, sodass sich die Wurfhöhe  $h$  in Abhängigkeit der Wurfweite  $s$  ergibt:

$$h(s) = -\frac{g}{2} \left( \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \frac{s - s_0}{v_0 \cos \alpha} \sin \alpha + h_0$$

$$h(s) = -\frac{g}{2} \frac{(s - s_0)^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + (s - s_0) \tan \alpha + h_0$$

Maximale Wurfweite: Durch Null-Setzen der obigen Gleichung lässt sich die Wurfweite bei gegebenen Anfangsbedingungen  $v_0$ ,  $s_0$ ,  $h_0$  und  $\alpha$  errechnen:

$$h(s) = 0 = -\frac{g}{2} \frac{(s - s_0)^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + (s - s_0) \tan \alpha + h_0$$

$$0 = -g(s - s_0)^2 + (s - s_0) 2v_0^2 \tan \alpha \cos^2 \alpha + 2h_0 v_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$0 = \underbrace{-g}_{a} (s - s_0)^2 + \underbrace{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}_{b} (s - s_0) + \underbrace{2h_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}_{c}$$

$$(s - s_0)_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$(s - s_0)_1 = \frac{-2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + \sqrt{4v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 8gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{-2g}$$

$$(s - s_0)_2 = \frac{-2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha - \sqrt{4v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 8gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{-2g}$$

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

$$s_1 = s_0 - \frac{-v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + \sqrt{v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{g}$$

$$s_2 = s_0 + \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + \sqrt{v_0^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2gh_0 v_0^2 \cos^2 \alpha}}{g}$$

Für den häufig auftretenden Spezialfall  $s_0 = h_0 = 0$  vereinfachen sich die beiden Beziehungen für  $s_1$  und  $s_2$  zu

$$s_1 = 0$$

$$s_2 = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Maximale Wurfhöhe: Demzufolge lohnt es sich, bei der Berechnung eines schiefen Wurfs den Koordinatenursprung dergestalt zu legen, sodass  $s_0$  und  $h_0$  beide Null zu setzen sind.

Für diesen Fall vereinfacht sich die Gleichung für  $h(s)$  zu

$$h(s) = \frac{-g}{2} \frac{s^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + s \tan \alpha$$

Aus dieser Gleichung lässt sich die maximale Wurfhöhe als eine einfache Extremwertaufgabe ermitteln

$$h(s) \rightarrow \min.$$

$$\frac{dh(s)}{ds} = 0$$

$$\frac{-gs}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha = 0$$

$$g \cdot s = v_0^2 \cos^2 \alpha \tan \alpha$$

$$g \cdot s = v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$s = s_{\max H} = \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Wie zu sehen ist, beträgt die Weite der maximalen Wurfhöhe genau die Hälfte der maximalen Wurfweite. Dies ist ein vernünftiges Ergebnis ob der Symmetrie einer Parabel.

Die maximale Wurfhöhe erhält man nach Einsetzen von  $s_{\max H}$  in  $h(s)$ :

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

$$h(s_{maxH}) = \frac{-g}{2} \left( \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \right)^2 \frac{1}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \tan \alpha$$

$$h(s_{maxH}) = \frac{-v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$$

$$h(s_{maxH}) = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Die (Tangential-)Geschwindigkeit eines Körpers, der sich auf der Bahn eines schiefen Wurfes befindet, lässt sich zu jedem Zeitpunkt als Resultierende der Geschwindigkeitskomponenten  $v_h$  und  $v_s$  angeben:

$$v = \sqrt{v_h^2 + v_s^2}$$

$$v = \sqrt{(v_0 \sin \alpha - gt)^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gtv_0 \sin \alpha + g^2 t^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2gtv_0 \sin \alpha + g^2 t^2}$$

$$v(t) = \sqrt{(\vec{v}_0 - \vec{g}t)^2}$$

**Website zum Film**

<http://www.imdb.com/title/tt0111257/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Speed\\_%28Film%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Speed_%28Film%29)

**Wurfparabel, schiefer Wurf**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wurfparabel>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Parabelflug>

[http://www.ecn.purdue.edu/HIRL/projects/nasa2003\\_iflyvomitcomet/vomit-comet-videos.htm](http://www.ecn.purdue.edu/HIRL/projects/nasa2003_iflyvomitcomet/vomit-comet-videos.htm)

**Erdbeschleunigung**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Erdbeschleunigung>

### 9.1.10 Apollo 13 – Falscher Auffahrunfall

**Wissenschaftliches Gebiet:**  
Mechanik

**Film / Jahr:**  
Apollo 13 / 1995

**Filmproduzent:**  
Brian Grazer

**Regisseur:**  
Ron Howard

**Besetzung:**  
Tom Hanks, Kevin Bacon, Bill Paxton, Gary Sinise, Ed Harris

**Webseite des Films:**  
Mit freundlicher Genehmigung der Internationa Movie Database  
<http://www.imdb.com/title/tt0112384/>

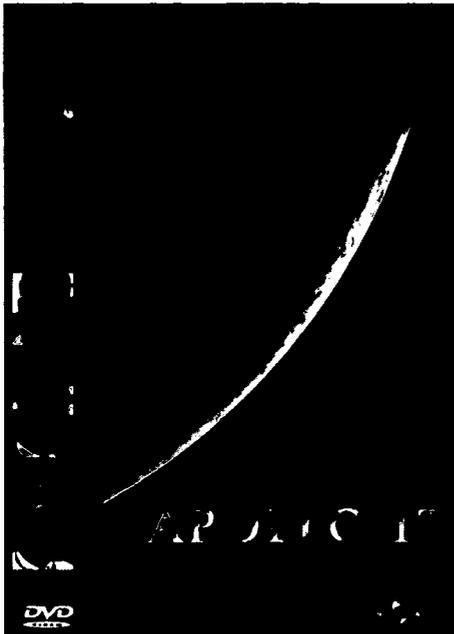
**Beschreibung des Films:**  
Weniger als ein Jahr ist vergangen, seitdem der Mensch zum ersten Mal den Mond betreten hat. So stellt die Apollo 13-Mission lediglich einen Routineflug dar – bis die Bodenstation folgende Worte aus der unendlichen Weite des All empfängt: „Houston, wir haben ein Problem.“

**Link zur Trailer Seite:**  
Mit freundlicher Genehmigung  
<http://www.imdb.com/title/tt0112384/trailers>

**DVD:**  
[http://www.amazon.de/Apollo-13-Tom-Hanks/dp/B00067R3E8/sr=8-2/qid=1170751986/ref=pd\\_ka\\_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Apollo-13-Tom-Hanks/dp/B00067R3E8/sr=8-2/qid=1170751986/ref=pd_ka_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Falscher Auffahrunfall

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Apollo 13)

**Zeitintervall:**  
00:27:55 – 00:35:12

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Impuls, Kraftwirkung, Inertialsystem

**Beschreibung der Szene:**

Die letzten Vorbereitungen für den Start von Apollo 13 werden getroffen. Die Raumfahranzüge werden angezogen, die Systeme werden kontrolliert und die Zuschauer postieren sich. Schließlich erhebt sich die Saturn-V Rakete majestätisch in die Lüfte. Nach wenigen Sekunden ist der Schub der ersten Antriebsstufe vorbei und sie wird abgesprengt. Dabei entsteht ein Impuls, der auch auf die Astronauten im Cockpit wirkt.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Apollo 13  
**Filmszene:** Falscher Auffahrunfall  
**Regisseur:** Ron Howard  
**Filmstudio:** Imagine Entertainment

### Einführende Beschreibung

Die aus physikalischer Sicht interessante Stelle befindet sich bei der Abspaltung der ersten Stufe, nachdem der Brennstoff verbraucht ist. Es wird eine relativ starke Explosion gezeigt. Daraufhin werden die drei Astronauten nach vorne geschleudert.

Betrachten wir zum einfacheren Verständnis die Situation bei einer still stehenden Rakete. Wird eine Stufe abgesprengt, wird der eine Teil nach hinten, der andere Teil mit den Astronauten nach vorne geschleudert.

Die Situation ist also vergleichbar mit einem Auffahrunfall: Ein Auto (das mit den Astronauten) steht an einer roten Ampel, während ein zweites Auto hinten auffährt. Dabei wird das stehende Auto nach vorne beschleunigt. Aber was passiert mit den Insassen?

Aus den Newtonschen Gesetzen ist bekannt, dass Körper mit Masse in Ruhe oder gleichförmiger, geradliniger Bewegung verharren, wenn keine äußere Kraft auf sie wirkt. Auf die Insassen wirkt nur die Reibungskraft, die über die Sitze übertragen wird. Die Kraft beim Auffahrunfall wirkt sehr kurz, man spricht auch von einem Kraftstoß bzw. einem Impuls. Vernachlässigen wir für einen Augenblick die Reibungskraft, wird das Auto unter den Insassen nach vorne geschleudert, die Insassen werden daher nach hinten in die Sitze gedrückt.

Aufgrund der wirkenden Reibungskraft bewegt sich der untere Teil des Körpers noch etwas mit, daher werden vor allem Oberkörper und Kopf nach hinten in die Sitze gedrückt. Man erkennt die lebenswichtige Funktion der Kopfstütze.

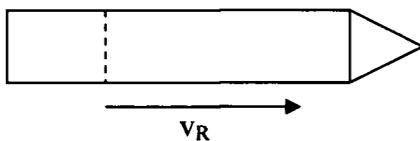
Dasselbe müsste den drei Astronauten geschehen: Die schlussendlich wirkende Kraft sollte die Astronauten nach hinten drücken, und nicht wie gezeigt nach vorne schleudern lassen.

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Apollo 13  
**Filmszene:** Falscher Auffahrunfall  
**Regisseur:** Ron Howard  
**Filmstudio:** Imagine Entertainment

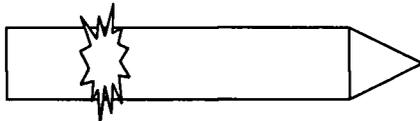
### Weiterführende Beschreibung

Betrachten wir die Situation nun etwas genauer.



**Skizze der fliegenden Rakete; die erste Stufe ist links gekennzeichnet**

Die hintere Stufe soll abgesprengt werden, während sich die Rakete vorwärts bewegt.



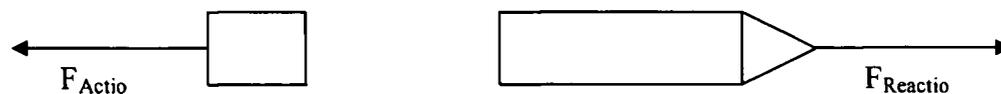
**Skizze der Rakete: Die erste Stufe wird abgesprengt**

Bei der Sprengung tritt eine Kraft auf. Die Stufe wird nach hinten abgesprengt.



**Skizze der Rakete: Kraft bei der Absprengung**

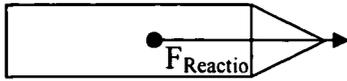
Aus dem dritten Newtonschen Gesetz folgt, dass eine Reaktionskraft desselben Betrags in umgekehrter Richtung auf die Raumkapsel wirkt.



**Skizze der Rakete: Gegenkraft beim Absprengung**

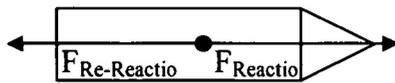
Die Raumkapsel wird in diesem Bild also nach vorne geschleudert, da die Kraft  $F_{\text{Reactio}}$  nach vorne zeigt.

Jetzt wechseln wir das Bezugssystem und begeben uns ins Innere der Raumkapsel. Dort wirkt die Kraft – wie soeben besprochen – nach vorne:



Skizze der Rakete: Kraft auf Pilotenkapsel

Da es sich bei der Raumkapsel um ein abgeschlossenes System handelt, gilt im Inneren der Impulserhaltungssatz. Die Summe aller auftretenden Impulse ist konstant. Um den Impuls auszugleichen, muss auf die Körper im Inneren der Kapsel eine Kraft in entgegengesetzter Richtung wirken.



Skizze der Rakete: Kraft und Gegenkraft bei der Absprengung in der Pilotenkapsel

Summa summarum: Die Astronauten müssten nach hinten geschleudert werden, und nicht wie im Film gezeigt nach vorne.

Man kann die Situation vergleichen mit Insassen eines Autos. Ein Fahrzeug mit Insassen steht an einer Kreuzung an einer roten Ampel, als plötzlich ein unachtsamer Autolenker von hinten auffährt. Das stehende Auto wird plötzlich nach vorne beschleunigt ( $F_{\text{Reactio}}$  nach obiger Beschriftung). Da die Insassen (mehr oder weniger) Masse aufweisen, verharren sie nach dem Trägheitsprinzip (Newtonsches Gesetz) und werden so nach hinten in die Sitze gepresst (welche sich natürlich mit dem Auto nach vorne bewegen). Genau diesem Fall kann eine Kopfstütze lebensrettend sein.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com)

---

**Film:** Apollo 13  
**Filmszene:** Falscher Auffahrunfall  
**Regisseur:** Ron Howard  
**Filmstudio:** Imagine Entertainment

### Wissenschaftliche Beschreibung

**Saturn – Rakete**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Saturn\\_V](http://de.wikipedia.org/wiki/Saturn_V)

**Apollo 13**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_13](http://de.wikipedia.org/wiki/Apollo_13)

**Apollo 13 (Film)**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_13\\_%28Film%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Apollo_13_%28Film%29)

**Kraft, Kraftstoß**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kraft>  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftsto%C3%9F>

**Impuls**  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Impuls\\_%28Physik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Impuls_%28Physik%29)

**Inertialsystem**  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Inertialsystem>

### 9.1.11 Twister – Ein Tornado zum Angreifen

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Thermodynamik

**Film / Jahr:**

Twister / 1996

**Filmproduzent:**

Kathleen Kennedy, Ian Bryce, Michael Crichton

**Regisseur:**

Jan de Bont

**Besetzung:**

Helen Hunt, Bill Paxton

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0117998/>

**Beschreibung des Films:**

Helen Hunt und Bill Paxton spielen in diesem temporeichen Tornado-Thriller mit atemberaubenden Spezialeffekten zwei Wissenschaftler, die den zerstörerischsten Wirbelsturm der letzten 50 Jahre durch die berühmte amerikanische „Tornado Alley“ verfolgen. Ihr Ziel: elektronische Sensoren in das Zentrum des Orkans zu schleusen. Auf diese Weise hoffen sie, Messwerte für ein zuverlässiges Frühwarnsystem zu gewinnen. Doch dazu müssen sie sich dem gigantischen Tornado selbst in den Weg stellen... Eine tödliche Jagd beginnt!

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

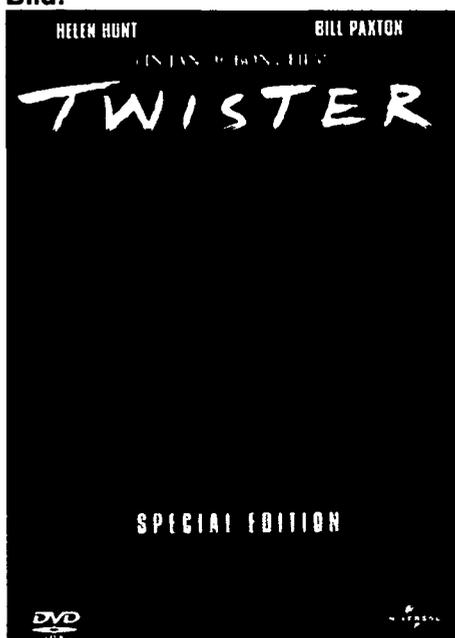
<http://www.imdb.com/title/tt0117998/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Twister-Helen-Hunt/dp/B00004RYNF/sr=1-2/qid=1170776043/ref=pd\\_bowtega\\_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Twister-Helen-Hunt/dp/B00004RYNF/sr=1-2/qid=1170776043/ref=pd_bowtega_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Ein Tornado zum Angreifen

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Twister)

**Zeitintervall:**  
00:25:37 – 00:32:46

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Tornado, Wirbelsturm, Kraft

**Beschreibung der Szene:**

Nach einer brandneuen Tornadowarnung nimmt die Crew um Harding die Verfolgung auf. Dabei biegen sie unter quietschenden Reifen in einen Feldweg ein und hinterlassen deutlich sichtbare Gummispuren am Asphalt. Die nachfolgende Konkurrenz sieht die Schleifspuren vor sich und fährt der ersten Gruppe nach.

Die Fahrt geht rasant weiter – Hardings Nocht-Ehefrau veranlasst ihn, in einen Feldweg einzubiegen, der sie näher zum Tornado bringen soll. Der Feldweg entpuppt sich jedoch bald zur Falle und alle Versuche, ihn zu verlassen und wieder zurück auf die Straße zu fahren scheitern. Schließlich kracht das Auto gegen einen Brückenpfeiler, der über diesen Graben führt, die beiden Helden des Films warten an einen Brückenpfeiler geklammert ab, bis der Tornado direkt über sie hinweg gezogen ist. Im Vorüberflug nimmt er sowohl ihr Auto als auch einen Traktor, der auf der Brücke gestanden hat, mit und schleudert sie weit durch die Luft.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Twister  
**Filmszene:** Ein Tornado zum Angreifen  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Warner Bros

### Einführende Beschreibung

- **Bremsspuren:** Als die Verfolgergruppe die Bremsspuren sieht, befinden sie sich noch relativ weit von der entsprechenden Kreuzung entfernt. Kann man Bremsspuren auf diese Entfernung erkennen, wenn man unter einem derart flachen Winkel hinsieht?

Angenommen, dies wäre möglich, so stellt sich eine weitere Frage: Beide Crews sind sehr schnell unterwegs, um dem Tornado so nahe wie möglich zu kommen. Nach der ersten Sichtung der Bremsspuren durch die Verfolgergruppe vergehen geschlagene 9 Sekunden.

Nehmen wir eine (absolut minimal geschätzte) Geschwindigkeit von 50 km/h für den Verfolgertrupp an, so fahren sie in dieser Zeit 450 Meter. Lassen sich auf eine solche Entfernung die Bremsspuren tatsächlich erkennen?

- **Fahrt durch den Graben:** Hardings Frau veranlasst ihn, von der Straße in einen Graben zu fahren. Schon beim Einfahren in diesen sieht man, dass der Graben ziemlich genau parallel zur asphaltierten Straße verläuft, wo sie wesentlich schneller unterwegs gewesen wären.

Die Tachonadel zeigt eine Geschwindigkeit von umgerechnet rund 120km/h, als sie in den Graben einbiegen. Obwohl der Graben anfangs schön flach und ohne Wasser zu sein scheint, erscheinen 120 km/h sehr unglaubwürdig.

Die rasante Fahrt endet schließlich mit einem Crash gegen einen Brückenpfeiler über diesen besagten Graben. Obwohl die Geschwindigkeit immer noch relativ hoch erscheint, geschieht den beiden Helden nichts, auch der hölzerne Brückenpfeiler bleibt intakt.

- **Tornado:** Die beiden Protagonisten des Films klammern sich an den zweiten Brückenpfeiler, während der Tornado mit seiner ganzen Wucht über sie hinweg zieht. Er nimmt sowohl ihren Truck mit als auch einen Traktor, der oben auf der Brücke steht. Schätzt man vorsichtig, muss in diesen Momenten eine Sogkraft von 30.000 Newton wirken. Nimmt man für Harding eine Masse von 80 kg an, so wirkt in diesen Momenten auf ihn das rund 28fache der Erdbeschleunigung.

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Twister  
**Filmszene:** Ein Tornado zum Angreifen  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Warner Bros

### Weiterführende Beschreibung

• **Bremsspuren:** Eine kleine Rechnung: Beide Teams rasen dem Tornado nur so nach. Die Geschwindigkeit würde man wahrscheinlich mit mindestens 80km/h schätzen. Doch die Geschwindigkeit lässt sich (annäherungsweise) auch aus dem Film selbst gewinnen, und zwar wie folgt: Als die Kameraperspektive den Verfolgungstrupp zeigt, kann man in der Mitte der Straße eine keilförmig zulaufende Schwärzung erkennen. Zählt man die Frames des Films, die dieser schwarze Keil von der Hinterachse des ersten bis zur Vorderachse des zweiten Autos braucht, so kommt man auf 15 Frames. Der Film ist mit einer Bildwiederholfrequenz von 25 Frames per Second (fps) erstellt. Für 15 Frames vergehen also dabei

$$\frac{15 \text{ Frames}}{25 \frac{\text{Frames}}{\text{s}}} = 0,6 \text{ s}$$

0,6 Sekunden. Jetzt muss man noch den Abstand der beiden Radachsen ermitteln: Der Anhänger des ersten Wagens hat eine Länge von ca. 3 Metern (aus einem späteren Shot ersichtlich), den Abstand Anhänger – zweiter Van schätzt man auf zusätzliche fünf Meter. Dies ergibt eine Strecke von 8 Metern. Daraus lässt sich eine Geschwindigkeit von 13,3 Metern pro Sekunde bzw. ca. 50 km/h errechnen. (Diese Rechnung ist das Ergebnis sehr ungenauer Ermittlungsmethoden – aber sie dürfte noch deutlich unter der im Film dargestellten, „gefühlsmäßigen“ Geschwindigkeit liegen.)  
Nach

$$s = v \cdot t$$

legen sie in neun Sekunden eine Strecke von 450 Metern zurück. Versuchen Sie das nächsten Mal beim Autofahren, in einer Entfernung von 450 Metern Gummispuren am Asphalt zu erkennen – ebenso stimmt die Perspektive im Film nicht, als man die Reifenspuren vom Vordersitz des ersten Verfolgerwagens sieht. Wären die Verfolger tatsächlich so nahe an den Schleifspuren, sodass diese sichtbar wären, wären sie in der zwischenzeitlichen Diskussion über ihre Route längst an der besagten Kreuzung vorbeigefahren. An dieser Stelle wird ein völlig falsches Gefühl von Zeit und Geschwindigkeit vermittelt.

• **Tornado:** Tornados werden aufgrund ihrer Zerstörungskraft in verschiedene Klassen eingeteilt. Nach der F-Skala muss es sich dabei um Kategorie F5 (Zerstörung von Holzhäusern) handeln. Das impliziert Geschwindigkeiten von mindestens 116,5 m/s bzw. 419 km/h.

EXPLANATION						
Basic	<b>Advanced</b>	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

Man sieht bereits an den fliegenden Fahrzeugen, dass hier enorme Kräfte am Werk sind. Blickt man etwas genauer auf die Brücke, so werden hier sogar einzelne Nägel aus deren Verankerung gerissen. Es erscheint absolut unglaublich, dass sich die beiden Protagonisten durch bloßes Anhalten das Leben retten. Darüber hinaus bleibt einem bei derartigen Windgeschwindigkeiten buchstäblich der Atem weg.



EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

---

**Film:** Twister  
**Filmszene:** Ein Tornado zum Angreifen  
**Regisseur:** Jan de Bont  
**Filmstudio:** Universal Pictures, Warner Bros

## Wissenschaftliche Beschreibung

### Tornado

Die Voraussetzungen und grundlegenden Entstehungsmechanismen von Tornados sind heutzutage großteils bekannt. Unter entsprechenden Bedingungen können sie sich das ganze Jahr über überall auf der Erde bilden. Klimatisch bedingt gibt es jedoch sowohl räumliche als auch zeitliche Schwerpunkte.

Tornados werden überall dort beobachtet, wo auch Gewitter auftreten. Nach Häufigkeit an erster Stelle steht der Mittlere Westen der USA, wo die klimatischen Bedingungen aufgrund der weiten Ebenen östlich der Rocky Mountains bzw. nördlich des tropischen Meeres vom Golf von Mexiko sehr günstig für die Entstehung sind. Weitere Tornadogebiete sind unter anderem Japan, Australien, aber auch Europa.

Ein Tornado entsteht dann, wenn eine trockene, kühle Luftschicht von einer feuchten, warmen Luftschicht unterspült wird. Aufgrund der Sonneneinstrahlung bzw. der Frontenbewegung steigt die warme, feuchte Luft auf. Beim Aufsteigen und der damit verbundenen Kondensation werden erhebliche Energiemengen freigesetzt. Erst diese zusätzliche Energie ermöglicht ein hinreichend hohes Aufsteigen der Luftmassen.

Es kommt zu einem rotierenden Aufwind, so genannten Superzellen. Diese zeichnen sich durch eine Langlebigkeit von mehreren Stunden und heftigen Begleiterscheinungen wie Hagel und Gewitterwinde mit Geschwindigkeiten von bis zu 200 km/h aus.

„Nicht-mesozyklonale Tornados“ entstehen dadurch, dass mehrere bodennahe Wirbel in einzelne Wirbel mit vertikaler Achse zerfallen. Befindet sich darüber ein Aufwind z.B. einer Gewitterwolke, werden die Wirbel verstärkt. Zu diesen Typen zählen auch die meisten Wasserhosen.

Im Anfangsstadium ist ein Tornado quasi unsichtbar. Erst wenn im Inneren des Tornadoschlauchs aufgrund des großen Druckabfalls und der damit einhergehenden Auskühlung Wasserdampf kondensiert, oder wenn Staub etc. hochgewirbelt wird, erscheint ein Tornado in seinem bekannten Bild. Für einen Tornado ist vor allem der Kontakt mit dem Boden (manchmal als „Touchdown“ bezeichnet) entscheidend. Die Gestalt eines Tornados kann von dünnen Schläuchen bis hin zu Durchmessern von mehr als einem Kilometer reichen. Bei solch extrem großen Tornados können mehrere kleinere Wirbel auftreten, die dann gemeinsam um ein Zentrum kreisen. Eine derartige Konstellation bezeichnet man als Multivortex-Tornado.

Tornados werden nach der Fujita-Skala klassifiziert. Diese definiert die Windgeschwindigkeiten, die in einem Tornado auftreten. Die F-Klasse ist eine 12 Stufen umfassende mathematische Interpolation zwischen der

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

Beaufort-Skala und der Schallgeschwindigkeit. Zwischen der F-Klasse und der Beaufort-Windstärke besteht folgender empirischer Zusammenhang:

$$F \approx 0,2601 \cdot B - 2 \text{ bzw. } B \approx 3,845 \cdot (F + 2)$$

Die Windgeschwindigkeit  $v$  kann als Funktion des Skalenwertes  $F$  dargestellt werden:

$$v = 6,3 \cdot \sqrt{(F + 2)^3} \quad (v \text{ in m/s})$$

Da bislang die Windstärke innerhalb eines Tornados noch nie tatsächlich gemessen werden konnte, ist die Klassifizierung aufgrund der Windstärke eher theoretischer Natur. Aufgrund dessen werden Tornados mehr anhand der angerichteten Schäden beurteilt.

Die Einteilung der Schäden gilt vorwiegend für den nordamerikanischen Raum. Eine Übertragung auf Europa ist aufgrund der unterschiedlichen Bauweise schwierig.

Einteilung nach der Fujita-Skala:

Bezeichnung	Geschwindigkeiten		Auswirkungen
F 0	< 32,5 m/s	< 117 km/h	Leichte Schäden, abgebrochene Äste und Baumkronen, Entwurzelung flachwurzeliger Bäume, umgeworfene Plakatwände
F 1	32,5 – 50 m/s	117 - 180 km/h	Abgehobene Wellbleche bzw. Dachziegel, Wohnmobile werden umgeworfen, fahrende PKW werden verschoben
F 2	50 – 70 m/s	180 - 252 km/h	Dächer ganz abgedeckt, Wohnmobile zerstört, große Bäume entwurzelt, leichte Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen
F 3	70 – 92,5 m/s	252 – 333 km/h	Dächer und leichte Wände werden abgetragen, Züge entgleisen, Wald wird großteils entwurzelt, LKW werden verschoben bzw. umgeworfen
F 4	92,5 – 116,5 m/s	333 – 419 km/h	Holzhäuser mit schwacher Verankerung werden verschoben, PKW werden umgeworfen, schwer Gegenstände werden zu gefährlichen Projektilen
F 5	116,5 – 142,6 m/s	419 – 513 km/h	Holzhäuser werden von ihren Fundamenten gerissen, weit verschoben und zerlegt, Teerstraßen können vom Boden gesaugt werden
F 6	142,6 – 170,1 m/s	513 – 612 km/h	Theoretischer Wert, der bisher

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

						wahrscheinlich nicht beobachtet wurde (Einige offiziell als F5 eingestufte Tornados könnten Spekulierungen ob einer F6-Klasse offen lassen)
F 7	170,1 – 199,2 m/s		612 – 717 km/h			Theoretischer Wert, der bisher nicht beobachtet wurde.
F 8	199,2 – 229,8 m/s		717 – 827 km/h			
F 9	229,8 – 261,9 m/s		827 – 943 km/h			
F 10	261,9 – 295,3 m/s		943 – 1063 km/h			
F 11	295,3 – 330,0 m/s		1063 – 1188 km/h			
F 12	> 330,0 m/s		> 1188 km/h			Physikalisch nicht überschreitbare Grenze (Schallgeschwindigkeit)

Für Europa hat das TorDACH (Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in der DACH-Region) die TORRO-Skala entwickelt. Die T-Skala umfasst die Kategorien T0 bis T12. Diese Skala unterscheidet sich von der Fujita-Skala dadurch, dass alleine die Windgeschwindigkeiten zur Klassifizierung herangezogen werden, und keine phänomenologischen Merkmale wie das Ausmaß der Zerstörung. Der stärkste bisher klassifizierte Tornado wurde mit T8 eingestuft. Der stärkste amerikanische Tornado würde auf der T-Skala auf T11 eingestuft werden.

Die Lebensdauer eines Tornados beträgt zwischen wenigen Sekunden bis über einer Stunde. Der Durchschnitt liegt unter 10 Minuten. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit bewegt sich zwischen 50 km/h und 100 km/h, je nach Geschwindigkeit der Mutterwolke. Die Rotationsgeschwindigkeit ist meist wesentlich schneller als die Fortbewegungsgeschwindigkeit. Die höchste bis dato registrierte Windgeschwindigkeit wurde mit  $496 \pm 33$  km/h gemessen und lag damit am oberen Ende der F5 – Klasse. Dies ist gleichzeitig die höchste bisher auf der Erde gemessene Windgeschwindigkeit. Nur Jetstreams (schmale Windbänder, meist innerhalb der Troposphäre mit Windgeschwindigkeiten bis zu 540 km/h) können oberhalb der Erdoberfläche noch höhere Windgeschwindigkeiten erreichen.

### Websites

#### Twister (Film)

<http://www.imdb.com/title/tt0117998/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Twister\\_%28Film%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Twister_%28Film%29)

#### Tornado

<http://de.wikipedia.org/wiki/Tornado>

#### Fujita-Skala

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fujita-Tornado-Skala>

#### TORRO-Skala

<http://de.wikipedia.org/wiki/TORRO-Skala>

#### TorDACH

[http://www.tordach.org/FT\\_scales.htm](http://www.tordach.org/FT_scales.htm)

## 9.1.12 Contact – Entdeckung außerirdischen Lebens

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Astrophysik

**Film / Jahr:**

Contact / 1997

**Filmproduzent:**

Robert Zemeckis, Steve Starkey

**Regisseur:**

Robert Zemeckis

**Besetzung:**

Jodie Foster, Matthew McConaughey

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0118884/>

**Beschreibung des Films:**

Die Wissenschaftlerin Ellie Arroway ist besessen von der Idee, die Existenz außerirdischer Intelligenz zu beweisen. Eines Tages gelingt es ihr tatsächlich, eine Nachricht aus dem All aufzuzeichnen: Eine fremde Lebensform macht ein verschlüsseltes Angebot zur Kontaktaufnahme!

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0118884/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Contact-Special-Jodie-Foster/dp/B00004RYCX/sr=8-2/qid=1170839482/ref=pd\\_ka\\_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Contact-Special-Jodie-Foster/dp/B00004RYCX/sr=8-2/qid=1170839482/ref=pd_ka_2/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Entdeckung außerirdischen Lebens

**Bild:**



(Scan der DVD-Hülle von Contact)

**Zeitintervall:**  
00:34:06 – 00:41:58

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Außerirdisches Leben, Wellen

**Beschreibung der Szene:**

Die Wissenschaftlerin Elli Arroway ist überzeugt, dass die Erde nicht der einzige Planet ist, der intelligentes Leben hervorgebracht hat. Ergebnislos suchte sie ihr ganzes Leben bereits nach außerirdischem Leben. Nach vielen, teils sehr enttäuschenden Rückschlägen scheint sie jedoch an einem Sommerabend plötzlich das große Los gezogen zu haben: Bei einem Scan am Very Large Array im Bereich Wega im Sternbild Leier empfängt sie unerwartet ein Signal. Außer sich vor Freude, dass sie endlich gefunden hat, wonach sie immer gesucht hat, rast sie ins Kontrollzentrum zu ihren beiden Mitarbeitern. Diese verfolgen das Signal mithilfe der Satelliten. Das Signal ist bereits laut und deutlich aus großen Lautsprechern zu hören, als es plötzlich verschwindet. Nach einem Moment maßloser Enttäuschung beginnt das Signal wieder von vorne – und zwar zu zählen: poch – poch, poch – poch, poch, poch – poch, poch, poch, poch, poch usw. Rasch erkennen die Wissenschaftler die Zahlen als Primzahlen. Ebenso entdecken sie ein zweites Signal, dass offenbar Informationen übermittelt.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

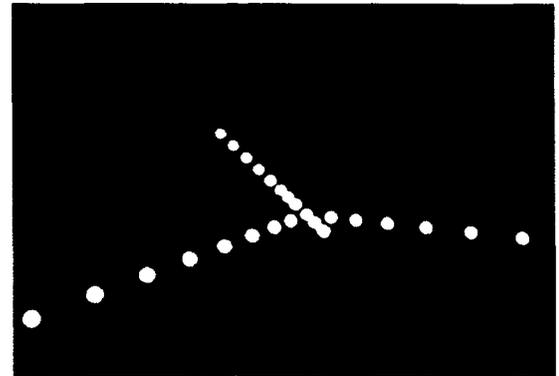
**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Contact  
**Filmszene:** Entdeckung außerirdischen Lebens  
**Regisseur:** Robert Zemeckis  
**Filmstudio:** Warner Bros.

### Einführende Beschreibung

#### VLA

Das Very Large Array ist ein Zusammenschluss von 27 einzelnen Radioteleskopen von je 25 m Durchmesser. Es befindet sich in New Mexico, USA. Die 25 Antennen sind Y-förmig angeordnet. Das VLA arbeitet bei Wellenlängen von 0,7 – 400 cm, das entspricht einem Frequenzbereich von 0,75 – 43 GHz. Die im Film bestätigte Frequenz von 4,4623 GHz liegt korrekterweise innerhalb des Arbeitsbereiches.



**Das VLA in New Mexico**  
([http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/album/dsn67\\_med.j](http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/images/album/dsn67_med.j))

#### Wega

Wega ist der Hauptstern im Sternbild Leier. Der Stern leuchtete sehr hell (scheinbare Helligkeit 0,04 mag), und ist nach neuesten Erkenntnissen mit rund 500 Millionen Jahren ein verhältnismäßig junger Stern. Wega rotiert innerhalb von 12,5 Stunden einmal um seine eigene Achse (das entspricht 93% der Geschwindigkeit, bei dem es den Stern zerreißen würde). Als Konsequenz sind die beiden Pole mit 10150K um 2500K heißer als der Äquator. Wega war der erste Stern außerhalb unseres Sonnensystems, von dem im Jahre 1850 ein Foto gemacht wurde.

- Als Elli das Signal entdeckt, packt sie sofort ihren Laptop zusammen, ohne noch einen weiteren Blick darauf zu werfen. Während sie alles in ihr Auto wirft und losfährt, ruft sie laufend die Daten der Rektaszension und Deklination durch das Funkgerät. Woher hat sie die exakten Daten, wenn sie nicht einmal einen Blick auf ihren Laptop geworfen hat? Die Rektaszension, die Elli über Funk durchgibt, weicht um 0,1 Bogensekunde von der tatsächlichen Position der Wega ab, die Deklination hat in der Szene den richtigen Wert.

- Stichwort „Teilmodularisierte, wandernde Pulse! Amplitudenmoduliert!“. Der Begriff Amplitudenmodulation lässt sich leicht erklären, es ist dies ein Modulationsverfahren, bei dem die Amplitude einer hochfrequenten Trägerwelle in Abhängigkeit vom zu übertragenden Signal verändert wird (im Gegensatz zur Frequenzmodulation, wo die Frequenz und nicht die Amplitude verändert wird, wie der Name sagt). Aber der Begriff „teilmodularisiert“ – noch dazu im gleichen Atemzug wie amplitudenmoduliert – ist wohl die Notwendigkeit, in möglichst kurzer Zeit mit möglichst vielen gut klingenden Fremdwörtern herum zu werfen. Ein vordergründiger Sinn ergibt sich dadurch nicht, egal ob die Pulse wandern oder nicht.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

- Bei jedem Shot auf die Antennen bewegen sich diese relativ schnell. Können sich Antennen, die auf das Genaueste justiert werden müssen, wirklich so schnell bewegen?

- Was haben Spionage-Satelliten üblicherweise an sich? Richtig – man sieht sie nicht.

„Wie steht's mit den Spionen? Na, wo steckt ihr alle Jungs, wo schwirrt ihr rum? Na also...“

Und auch kein Computerprogramm spürt alle Spione auf. Trotzdem wird innerhalb kürzester Zeit eine dreidimensionale Karte mit allen Spionagesatelliten in ihrer jeweiligen Position angezeigt. Und angenommen, die Daten wären tatsächlich verfügbar, so könnte man aus dieser Darstellung eine Interferenz mit einem Satelliten nicht sofort ausschließen.

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Contact  
**Filmszene:** Entdeckung außerirdischen Lebens  
**Regisseur:** Robert Zemeckis  
**Filmstudio:** Warner Bros.

### Weiterführende Beschreibung

#### Außerirdisches Leben

Bislang kennt man nur einen einzigen Planeten in unserem Universum, auf dem Leben existiert: die Erde. Obwohl viele Wissenschaftler fest davon überzeugt sind, dass Leben auch außerhalb unseres Planeten existiert, hat man es bislang noch nicht gefunden.

#### Aliens und ihre UFOs

„Alien“ ist ein Sammelbegriff für Außerirdische, die weder auf der Erde leben noch von ihr abstammen. Nachdem bis dato keine beobachtet wurden, gibt es über ihren Entwicklungsstatus und ihr Aussehen wilde Spekulationen. Ebenso über ihr Transportmittel – UFOs.

UFO ist eine Abkürzung für „Unidentified Flying Object“ bzw. „Unidentifiziertes Flugobjekt“. Es bezeichnet im weitesten Sinne ein Flugobjekt, das dem Betrachter unbekannt ist. Umgangssprachlich wird es für das Transportmittel von Außerirdischen verwendet. Es gibt zahlreiche Berichte von UFO-Sichtungen. Einige haben es dabei zu beachtlichem Ruhm gebracht:

- **Area 51:** Area 51 ist ein militärisches Sperrgebiet im Süden von Nevada, USA. Innerhalb dieses Geländes befand sich eine zusätzlich gesicherte militärische Anlage, deren Existenz bis vor kurzem geheim gehalten wurde. Die Air Force testete dort neue Flugzeugtypen. Aufgrund der extremen Geheimhaltung und die Verbindung zur Entwicklung neuer Flugzeuge, gepaart mit Berichten über anormale Phänomene ist dieses Gebiet wider Gerüchte: Am lagere und untersuche abgestürzte Raumschiffe, bzw. die beim Absturz ums Leben gekommenen Aliens; es fänden Treffen und geheime Gespräche mit Aliens statt; geheime Filmstudios, in denen z.B. die Bilder von den Apollo-Landungen auf dem Mond gedreht worden sein sollen.

- **Roswell:** Laut verschiedener Pressemeldungen soll Mitte Juni 1947 in der Nähe des US-Luftwaffenstützpunktes bei Roswell ein UFO abgestürzt sein. Die Luftwaffe selbst meldete eine „fliegende Untertasse“ in ihrem Besitz, wiederruft jedoch kurz darauf und deklariert das gefundene Objekt als Wetterballon. 30 Jahre später trat der damals mit dem Vorfall beauftragte Offizier mit der Meldung in die Öffentlichkeit, es habe sich damals tatsächlich um ein UFO gehandelt. Angeblich wurden bei der Bergung auch Alien-Leichen gefunden – die Behauptungen konnten jedoch nie bewiesen werden. Sowohl die Wrack-Teile als auch die Alien-Leichen sollen übrigens in der Area 51 untersucht worden sein.



Photo taken by Hajor, April 2004;  
 released under gfdl/cc.by.sa;  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Greg\\_Alien.Roswell.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Greg_Alien.Roswell.jpg)

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

### Informationsausbreitung

Information breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Lichtgeschwindigkeit ist mit 299.792.458 m/s bzw. rund 300.000 km/s eine der fundamentalsten Größen in der Physik. Sie ist eine Grenzggeschwindigkeit und kann nicht überschritten werden. Zusammen mit der Tatsache, dass dieser Wert in allen Inertialsystemen derselbe ist, bildet die Lichtgeschwindigkeit die Grundlage für die Spezielle Relativitätstheorie von Albert Einstein, die er im Jahre 1905 veröffentlichte (siehe wissenschaftliche Beschreibung).

Angenommen, von der Sonne wird ein Signal ausgeschildt, so benötigt es rund 8 Minuten, bis es auf der Erde ankommt. Die Entfernung Erde-Sonne wird daher auch mit „8 Lichtminuten“ angegeben. Bekannter als Lichtminuten ist der Begriff Lichtjahr.

Es handelt sich dabei nicht um ein Zeitmaß, sondern um eine Entfernung – es ist diejenige Entfernung, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Das entspricht ca. 9,45 Billionen m bzw.  $9,45 \cdot 10^{15}$  m bzw.  $9,45 \cdot 10^{12}$  km.

Die Entfernung Erde-Mond entspricht in etwa 1,3 Lichtsekunden.

- Der Stern Wega, der Hauptstern des Sternbildes Leier, befindet sich 25,3 Lichtjahre von uns entfernt. Nimmt ein Signal Kurs auf die Wega, benötigt es daher 25,3 Jahre, bis es dort aufgefangen werden kann. Angenommen, jemand fängt das Signal auf Wega tatsächlich auf und schickt es wieder zurück, würde es erneut 25,3 Jahre unterwegs sein. Insgesamt ergibt sich so eine Laufzeit von 50,6 Lichtjahren. Wenn das Signal, sowie im Film genannt, von der Eröffnungsrede der olympischen Spielen im Jahre 1936 stammt, müsste dieses Signal etwa im Jahre 1987 wieder zur Erde zurückgekehrt sein (wenn man den Wega-Einwohnern auch noch etwas Zeit gibt...). Wir befinden uns jedoch rund um das Jahr 1997. Was machten die Wega-Einwohner 10 Jahre lang mit dem Nachrichtensignal? Es könnte möglich sein, dass sie so lange brauchen, um das Signal ihrerseits zu entschlüsseln.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

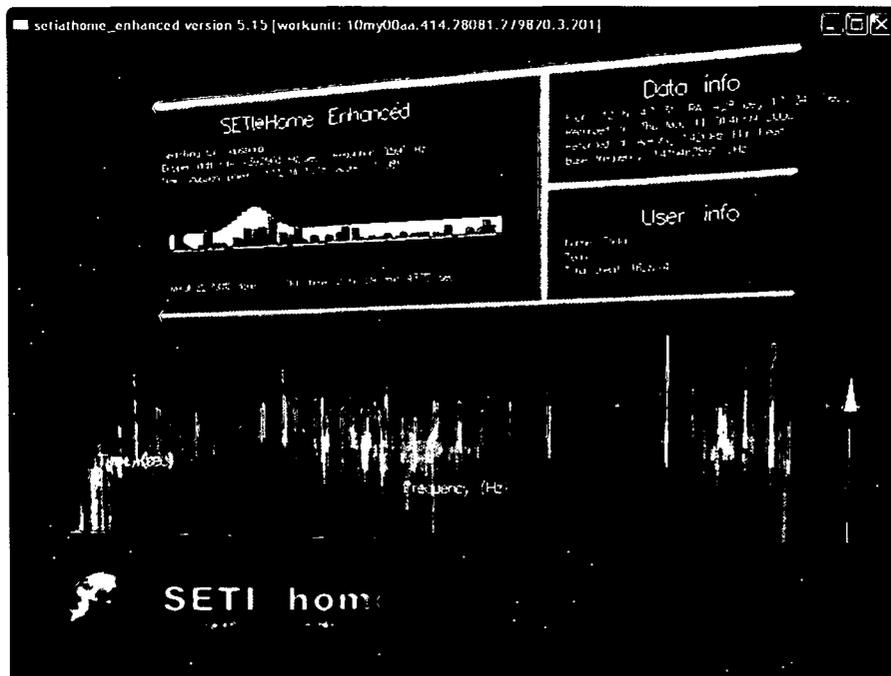
**Film:** Contact  
**Filmszene:** Entdeckung außerirdischen Lebens  
**Regisseur:** Robert Zemeckis  
**Filmstudio:** Warner Bros.

### Wissenschaftliche Beschreibung

Das SETI-Programm ist ein Versuch, außerirdisches Leben aufzuspüren. SETI ist ein Akronym für „Search for Extraterrestrial Intelligence“ bzw. Suche nach außerirdischer Intelligenz. Dabei wird der Weltraum mittels Radioteleskopen erforscht. Man hofft, so auf Übertragungen von Zivilisationen von fernen Planeten zu empfangen.

SETI hat keine leichte Aufgabe vor sich. Allein unsere Milchstraße beinhaltet rund 300 Milliarden Sterne. Über die Schwierigkeiten bei der Suche nach solchen Signalen ist unter dem unten genannten Link nachzulesen.

Mit dem Programm SETI@home wird versucht, die Last an zu verarbeitenden Daten unter freiwilligen Usern aus der ganzen Welt aufzuteilen. Dazu muss ein kleines Programm heruntergeladen und installiert werden. Daraufhin meldet man sich für ein oder mehrere Programme wie SETI@home an. Danach übernimmt diese kleine Software alles weitere: Daten werden automatisch heruntergeladen, und wenn der PC Rechenleistung frei hat, beginnt das Programm zu arbeiten. Zusätzlich kann man sich einen informativen Bildschirmschoner einstellen:



Screenshot des Programms "BOINC", das die Verarbeitung der SETI@home - Daten überwacht und managed.

EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

**Facsimile der Veröffentlichung der Speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein im Rahmen der Veröffentlichung "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" in den Annalen der Physik und Chemie, 17/1905, S. 891 - 921**

[http://www.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/1905\\_17\\_891-921.pdf](http://www.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/1905_17_891-921.pdf)

**Verly Large Array VLA**

[http://de.wikipedia.org/wiki/Very\\_Large\\_Array](http://de.wikipedia.org/wiki/Very_Large_Array)

**Exobiologie (Außerirdisches Leben)**

[http://de.wikipedia.org/wiki/Au%C3%9Ferirdisches\\_Leben](http://de.wikipedia.org/wiki/Au%C3%9Ferirdisches_Leben)

**UFOs**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ufo>

**SETI**

<http://www.seti.org/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Seti>

<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

### 9.1.13 Schlimmer geht's immer – Gefangen im Licht

**Wissenschaftliches Gebiet:**

Optik

**Film / Jahr:**

Schlimmer geht's immer / 2001

**Filmproduzent:**

Lawrence Turman, David Hoberman, Ashok Amritraj Wendy Dytman

**Regisseur:**

Sam Weisman

**Besetzung:**

Martin Lawrence, Danny DeVito

**Webseite des Films:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0161083/>

**Beschreibung des Films:**

Multimillionär Max Fairbanks trifft in seiner Strandvilla auf unerwarteten Besuch: Profi-Einbrecher Kevin Caffrey macht sich an seinem Eigentum zu schaffen! Rache ist süß – und so ruft der gerissene Max nicht nur die Polizei, sondern dreht auch noch kurzerhand den Spieß um. Er nimmt Kevin das ab, woran er am meisten hängt: seinen Glücksring. Jetzt versucht Kevin mit allen Mitteln, seinen Talisman zurückzuerobern. Ein verrückter Wettkampf beginnt: Wer ist der größere Schurke?

**Link zur Trailer Seite:**

Mit freundlicher Genehmigung der International Movie Database

<http://www.imdb.com/title/tt0161083/trailers>

**DVD:**

[http://www.amazon.de/Schlimmer-gehts-immer-Martin-Lawrence/dp/B00016POXG/sr=8-1/qid=1170853120/ref=sr\\_1\\_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd](http://www.amazon.de/Schlimmer-gehts-immer-Martin-Lawrence/dp/B00016POXG/sr=8-1/qid=1170853120/ref=sr_1_1/303-0617376-6763469?ie=UTF8&s=dvd)

**Titel der Szene:**  
Gefangen im Licht

**Bild:**  
**martin lawrence**                      **danny devito**



(Scan der DVD-Hülle von Schlimmer geht's immer)

**Zeitintervall:**  
00:37:20 – 00:42:40

**Autor:**  
Stefan Krejci [dissertation@skrejci.com]

**Editor:**  
Heinz Oberhummer [heinz@oberhummer.at]

**Wissenschaftliche Schlagwörter:**  
Licht, Laser

**Beschreibung der Szene:**  
Auf der Suche nach dem gestohlenen Ring brechen der Protagonist Kevin und sein Kumpel in einer der Villen des reichen Max Fairbanks ein. Im Handumdrehen wird die Alarmanlage außer Betrieb gesetzt und die beiden betreten das Haus. Wenige Augenblicke später kommen der Hausbesitzer und seine Frau ebenfalls ins Haus. Als diese das Haus wieder verlassen, aktivieren sie die Alarmanlage wieder. Kevin und sein Kumpel sehen sich zwischen vielen Laserstrahlen, die das Haus kreuz und quer durchlaufen, gefangen. Erst ein befreundetes Ehepaar, die ebenfalls als Einbrecher arbeiten, können die beiden befreien.

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

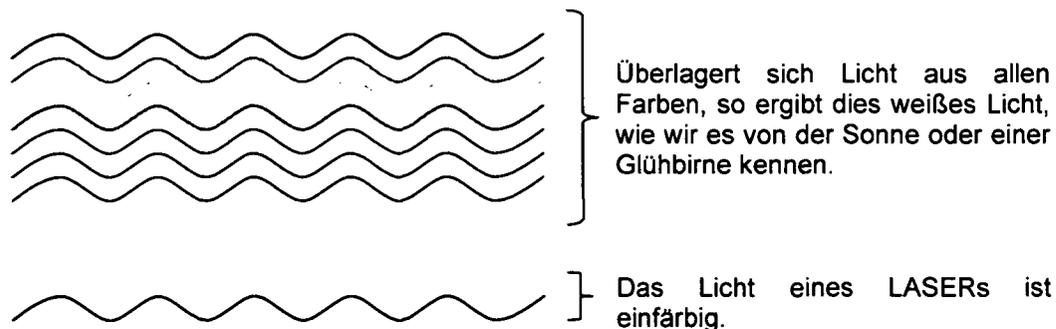
**Film:** Schlimmer geht's immer  
**Filmszene:** Gefangen im Licht  
**Regisseur:** Sam Weisman  
**Filmstudio:** Metro-Goldwyn-Mayer-Pictures

### Einführende Beschreibung

Licht breitet sich geradlinig in alle Richtungen gleich schnell aus. Weißes Licht, so wie wir es von der Sonne oder einer Glühlampe kennen, folgt diesen drei Eigenschaften.

Licht, das von einem LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ausgesandt wird, breitet sich ebenso geradlinig gleich schnell aus, jedoch meistens in nur eine Richtung. Grund dafür ist, dass das Licht bei der Erzeugung im LASER vorerst zwischen zwei parallelen Spiegeln „gefangen“ ist, bevor es diesen durch ein kleines Loch in nur eine Richtung verlässt.

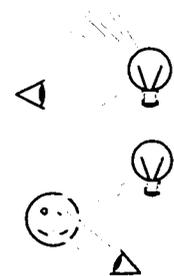
Das Licht eines LASERs besitzt noch eine zweite Eigenschaft, das es vom normalen weißen Licht einer Glühbirne unterscheidet: Es besitzt eine ganz bestimmte Farbe. Während das weiße Licht eigentlich eine Überlagerung aller Farben ist (siehe Skizze), besteht Laserlicht nur aus einer einzigen Farbe.



Jeder kennt einen Regenbogen – hier wird durch das physikalische Phänomen der „Lichtbrechung“ das weiße Sonnenlicht in seine einzelnen Farben aufgespalten.

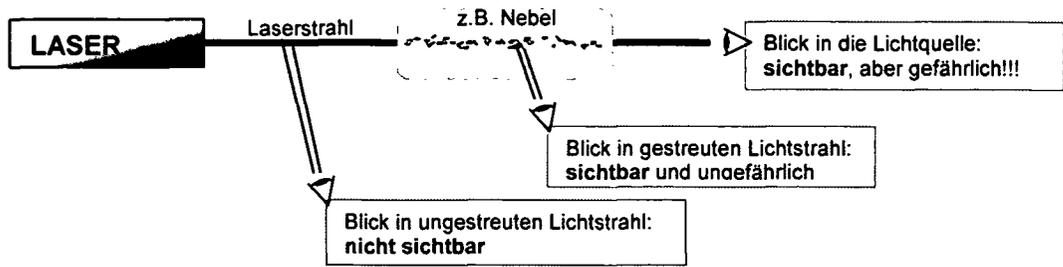
Egal ob weißes Licht oder eine einzelne Farbe – Licht ist bei der Ausbreitung prinzipiell nicht sichtbar. Das Sinnesorgan Auge kann Licht nur dann wahrnehmen, wenn

- wir direkt in den Lichtstrahl blicken: Das bedeutet, wir blicken in die Lichtquelle (Beispiel: Direkter Blick zur Sonne bzw. in eine Glühlampe), oder wenn
- das Licht, das von einer Lichtquelle ausgestrahlt wird, an Teilchen reflektiert wird und auf diesem Wege in unser Auge gelangt (Beispiel: Die Sonne strahlt eine Hauswand an, eine Glühlampe erhellt das Buch, indem wir lesen, ...).



EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

Das von einem LASER ausgestrahlte Licht ist insbesondere dann sichtbar, wenn es an Teilchen gestreut wird, die in der Luft schweben – zum Beispiel Wassertröpfchen in Form von Nebel, oder Schmutzteilchen wie Kreidenstaub.



**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** dissertation@skrejci.com

**Film:** Schlimmer geht's immer  
**Filmszene:** Gefangen im Licht  
**Regisseur:** Sam Weisman  
**Filmstudio:** Metro-Goldwyn-Mayer-Pictures

**Weiterführende Beschreibung**

Übersetzt bedeutet LASER „Lichtverstärkung durch stimulierte Lichtemission“. Und dies beschreibt bereits die Funktionsweise eines Lasers. In der Atomhülle befinden sich die Elektronen in unterschiedlichen Energieniveaus um den Atomkern. Diese können als Energiebänder dargestellt werden. Es sind dies diskrete Zustände, in denen sich die Elektronen entsprechend ihrer Energie aufhalten. Diesen Zustand nennt man Grundzustand.

Wird dem Atom Energie zugeführt, zum Beispiel in Form von elektrischem Strom, sind die Elektronen in der Lage, diese Energie zum „Aufsteigen“ in ein höheres Energieniveau zu verwenden. Das Atom befindet sich jetzt in einem angeregten Zustand; der Vorgang wird Pumpen genannt.

Bricht die Energiezufuhr ab, fallen die Elektronen wieder in den Grundzustand zurück. Dabei wird die zuvor absorbierte Energie wieder freigesetzt. Dieser Energie kann aufgrund der Beziehung

$$E = \hbar \cdot f$$

$\hbar$  ... Plancksches Wirkungsquantum

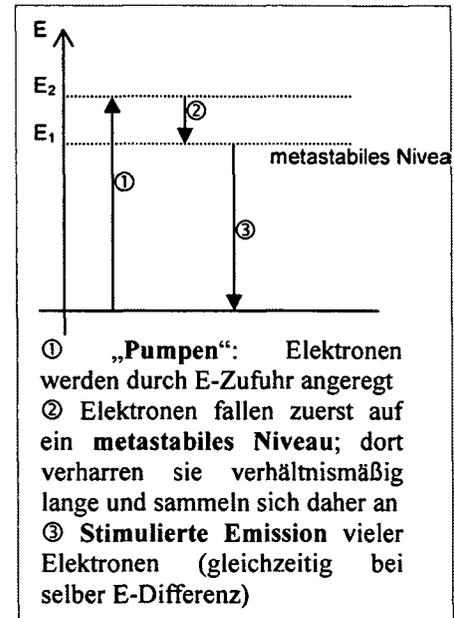
eine bestimmte Frequenz  $f$  zugeordnet werden. Liegt diese Frequenz im Bereich des sichtbaren Lichts, haben wir es mit einer Lichtquelle zu tun.

Bei einer herkömmlichen Lichtquelle, z.B. einer Glühbirne, erfolgt der Übergang vom angeregten in den Grundzustand zufällig. Man spricht hierbei von spontaner Emission. Die ausgesandten Frequenzen weisen im Allgemeinen Wellenlängen des gesamten (sichtbaren) Spektrums aus (weißes Licht bei einer Glühbirne). Bei einem Laser hingegen fallen die Elektronen vom angeregten Zustand zuerst auf ein metastabiles Niveau. Die Bezeichnung metastabil rührt von der relativ langen Verweildauer der Elektronen auf diesem Zwischenniveau her. Hier sammeln sich so viele Elektronen an.

Durch einen Auslöser fallen schließlich alle Elektronen vom metastabilen Niveau in den Grundzustand zurück. Dabei setzen alle dieselbe Energie – und damit Licht derselben Wellenlänge – frei. Das so freigesetzte, großteils monochromatische Licht wird zwischen zwei Spiegeln durch konstruktive Interferenz weiter verstärkt. Einer der beiden Spiegel ist halbdurchlässig, dort als Teil der freigesetzten Energie der Laserstrahl aus.

Ein Laserstrahl unterscheidet sich bei der Ausbreitung vom Licht einer Glühbirne dadurch, dass sein Licht aufgrund seiner räumlichen Kohärenz (fast) nicht divergiert.

Egal ob Laser- oder weißes Licht, beides ist für das menschliche Auge nur dann sichtbar, wenn man entweder direkt in die Lichtquelle blickt, oder aber wenn das Licht auf seinem Weg an Hindernissen gestreut bzw. reflektiert wird.



EXPLANATION						
Basic	Advanced	Scientific	Movie Clip	Director	Film Studio	

**Autor:** Stefan Krejci  
**E-mail:** [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com)

**Film:** Schlimmer geht's immer  
**Filmszene:** Gefangen im Licht  
**Regisseur:** Sam Weisman  
**Filmstudio:** Metro-Goldwyn-Mayer-Pictures

### Wissenschaftliche Beschreibung

#### LASER

<http://de.wikipedia.org/wiki/Laser>

<http://www.pulslaser.de/>

#### LASER im Eigenbau

<http://www.experimentalchemie.de/versuch-047.htm>

#### Experiment:

##### Laserlicht/weißes Licht sichtbar machen

**Ziel:** Sichtbarmachen von Lichtstrahlen, Aufzeigen in der Natur

**Voraussetzung:** Filmszene, (am eindruckvollsten mit kompletter) Verdunkelung, sehr staubiges (Tafel-) Tuch, eventuell zusätzlichen Kreidenstaub bereithalten

**Dauer:** ca. 10 Minuten

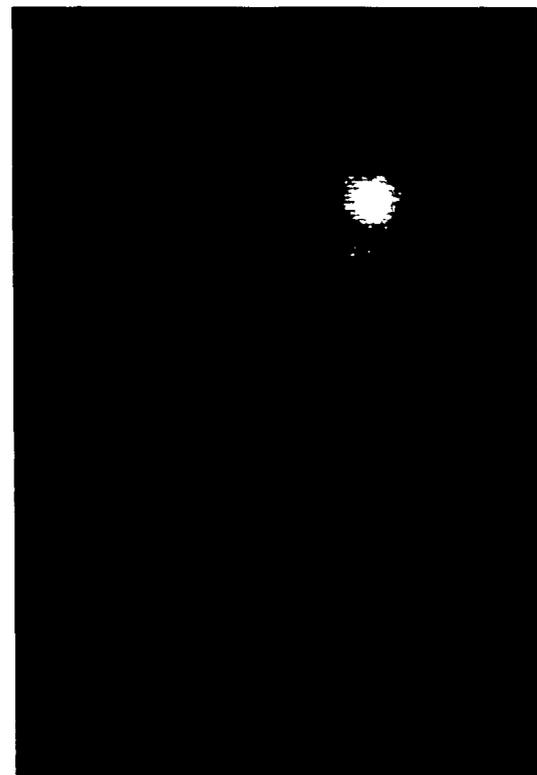
**Hinweis:** im Anschluss Klassenraum gut lüften, es staubt!

Der Lehrer postiert einen Laser so, dass der Lichtstrahl durch einen möglichst großen, freien Bereich laufen kann, ohne dass ein Schüler in Gefahr läuft, direkt in den Laserstrahl zu blicken.

Man sieht nur den Punkt der Reflexion an der Wand, wo der Laserstrahl auftrifft. Nach der Verdunkelung des Klassenraumes ist weiterhin ausschließlich der Punkt an der Wand zu sehen. Der Lehrer postiert sich nun in der Mitte des freien Raumes, wo der Laserstrahl durchgeht, und schüttelt oberhalb des (noch unsichtbaren) Strahlenganges das Tuch aus. Plötzlich wird in diesem Bereich der Strahl sichtbar. Er scheint aus dem Nichts aufzutauchen und wieder in Nichts zu verschwinden – bis er erneut an der Wand reflektiert wird, wo er nach wie vor als Punkt zu sehen ist.

Den SchülerInnen ist verständlich zu machen, dass Lichtstrahlen allein nicht sichtbar sind. Erst wenn diese Lichtstrahlen an Körpern, sei es die Wand oder wie in diesem Fall auch an winzig kleinen, aber dafür sehr vielen Staubkörnchen, reflektiert werden, sind sie auch für das menschliche Auge sichtbar.

Erfahrungsgemäß sind viele SchülerInnen der Ansicht, dies sei eine Eigenschaft von Laserlicht, und dass es bei „gewöhnlichem“, weißem Licht einer Glühlampe



Ein Laserstrahl mithilfe von Kreidestaub sichtbar gemacht

EXPLANATION						
Basic	<b>Advanced</b>	Scientific	Movie	Movie Clip	Director	Film Studio

beispielsweise anders sei.

Der Aufwand, um dieses Experiment mit weißem Licht durchzuführen, ist nicht wesentlich größer, für viele SchülerInnen jedoch fast noch eindrucksvoller. Bei der Durchführung mit weißem Licht muss man darauf achten, dass die Reflexionsfläche an der Wand nicht zu hell erstrahlt. Man kann dies z.B. dadurch erreichen, dass man als „Projektionsfläche“ die Tafel wählt. Die dunkelgrüne Schicht absorbiert den Großteil des Lichtes. Mit einer Sammellinse wird ein breiter, paralleler Lichtstrahl erzeugt, sodass an der Wand ein kreisrunder weißer Fleck sichtbar wird. Der Lichtstrahl selbst ist bei reiner Luft nicht sichtbar. Schüttelt man oberhalb ein staubiges Tuch aus, wird der weiße, breite Lichtstrahl deutlich sichtbar.



**Reflexion von weißem Licht: Links ist die Lichtquelle mit der Sammellinse zu sehen; oberhalb des sichtbaren Lichtstrahl wird das staubige Tafeltuch geschüttelt**

## 9.2 Anhang B: Transskription der Interviews

### 9.2.1 Erstes Interview (I-1)

(I ... Interviewer; M ... Interviewte/r Lehrer/in)

I 6. Klasse Physik, Realgymnasium, oder?

M Ohne Schularbeit, haben Sprachen, Gymnasium

I Wie viel Stunden? Zwei Stunden?

M 3 Stunden, haben in der fünften Klasse nix, haben in der sechsten Klasse 3 Stunden. Die Schule ist so, dass sie in der Unterstufe auch nur mehr zweite und dritte Klasse, in der vierten Klasse gibt's kein Physik. Warum? Weil sonst hätten sie in der vierten eine Stunde. Das ist ungeschickt. Jetzt haben sie in der dritten drei. Und genauso ist es zusammengelegt – in der fünften ist auch nichts mehr, dafür in der sechsten Klasse dreistündig.

I Ihr habt das in der Unterstufe auch gemacht? Ist eh nicht ungeschickt...

M Zweite, dritte Klasse – zweite sind zwei Stunden, dritte sind drei Stunden, und in der sechsten sind drei Stunden. Problem gibt es auch natürlich, vierte, fünfte ist kein Physik.

I Sind zwei Jahre Pause dazwischen.

M Im Gymnasium, das Realgymnasium hat in der fünften schon, die haben eine Stunde mehr.

I Wie ist die Klasse, wenn man sie einschätzen müsste?

M Die Klasse ist eine kleine Klasse, nur 19 Schüler drinnen, relativ klein. An sich sind sie zwei drei sind schwach, würde ich sagen. Wobei einer nur faul ist, nicht nur schwach. Also faul und schwach, und zwei sind einfach schwach. Aber der Rest ist ganz gut. Also der Rest ist eher recht gut. Jetzt in der sechsten sind sie wieder ein bisschen... Fünfte, sechste haben sie ein bisschen einen Durchhänger gehabt, sag ich einmal sicher, weil mein Betreuungslehrer hat sie in der Unterstufe gehabt, und der hat sie als irrsinnig motivierte, gute Klasse in Erinnerung, und war heuer teilweise von den Leistungen eher negativ überrascht. Das sie soviel nicht mehr wissen in der Art.

I Wie schaut dein Physikunterricht generell aus?

M Vom...

I Ganz generell... Genauso auf die Motivationsfrage: Wie motivierst du deine Schüler?

M Ich hab jetzt viele Kapitel mit Versuche angefangen, Einstiegsversuche für die Schüler. Das ich ihnen quasi Einstiegsversuche gib, wo sie einfach zu einem Kapitel eine Arbeitsanweisung von mir bekommen, und sie müssen einfach selber durchprobieren. Wie man das beim Meyer (Anm.: Seminar für Unterrichtspraktikanten, Vortragender) gemacht haben. Das hab ich recht gut gefunden. Den Strom zum Beispiel, Elektrizität ist in der sechsten drinnen im Lehrplan. Das haben wir so im Prinzip angefangen wie er es gemacht hat, mit den vier, fünf Experimenten, das hab ich recht gut gefunden. Ich hab versucht, bei anderen Kapiteln auch teilweise so anzufangen. Oder eben, dass ich ihnen vom Internet bzw. Büchern Texte rauskopiert habe, weil sie an sich eher eine sprachliche Klasse sind, dass sie einen Text bearbeitet haben. Dass sie zu einem Kapitel über einen geschichtlichen Text Entwicklung... wo war denn das drinnen, im Herbst... hab ich das zur Mechanik gemacht gehabt? Jetzt weiß ich nicht mehr genau wo, auf jeden Fall habe ich ihnen zwei, drei verschiedene Texte rausgesucht, hab sie in Gruppen zusammensetzen lassen, den Text bearbeiten lassen, machts einmal eine Geschichte draus. So in die Richtung auch. Das ist in dieser Klasse recht gut angekommen. Von Geschichten her Textentwicklung... Entwicklung der Dampfmaschine war z.B. ein Text drinnen. Da haben sie einfach Geschichten... ich hab ein paar Punkte gehabt zu den wesentlichen Sachen, eine Stunde haben wir drüber diskutiert und ie den Text bearbeitet, und haben sie dann gleich – das hat sie ein bisschen überrascht – eine Stunde später im Zuge eines kleinen Referats vorgetragen, die Gruppen. Das hat sie ein wenig verwirrt gehabt, fast, sie haben ja keine Vorbereitung gehabt, aber wir haben eine Stunde – oder haben wir sogar zwei Stunden – den Text gemacht quasi, und danach präsentiert es, fünf, zehn Minuten, was ist da drinnen gestanden. Im Time Magazine habe ich ein paar Artikel heraus gehabt, Spektrum der Wissenschaft, alles mögliche.

I Okay, das haben sie dann präsentieren müssen, und dann...

M Dann haben wir einfach einen Einstieg gehabt, und dann mit irgendwas angefangen. Und halt wenig Mathematik, wenig. Berechnet haben wir irrsinnig wenig an sich. Das waren Krisen...

I Also ich rechne mit meinen Drittklassen extrem gern. Also sie nicht wahrscheinlich, aber ich... Aber sie gewöhnen es mittlerweile...

M Ja, es würde auch gehen, für den Test ist es natürlich optimal, wenn man ein paar Übungsbeispiele gemacht hat, dann kann man ihnen sagen, konkret quasi ein Beispiel, rechnet dass durch. Zum Schluss hatten wir das schon, beim Gasgesetz. Es war zwar ein Beispiel, aber rechnen mussten sie es dann eh nicht. Einfach anhand des Beispiels erklären. Was ist, wenn der Druck konstant ist, . Und wie zeichnet man das, konkrete Beispiele sind ja wichtig. Sonst wird das wischi-waschi...

I Also Anwendungsbeispiele...

M Ja genau, viel Versuche!

I Und auf das springen die Kinder an?

M Eigentlich schon, ja. Recht gut.

I Und wie ist es mit Theorieblöcken dann dazwischen? Gibt's natürlich auch...?

M Ja sicher, natürlich hat man dann wieder Stunden... es ist komplett unterschiedlich. Das hängt wirklich von der Tagsverfassung ab, von da Motivation ab. Das war komplett unterschiedlich. Teilweise war's okay, klass, rennt super, und haben mitgearbeitet, überlegt, stimmt das jetzt, gehört das dort hin... Man fängt an an der Tafel, erklärt ihnen etwas, lässt sie einen Teil selber machen, also das hat oft schon funktioniert. Ein anderes Mal hängen sie alle drinnen, geistig abwesend, und du musst halt dann... ja... kommt's, es sind ja eh nur zwei Stunden, also drei Stunden. Zwei drei Stunden braucht man einfach Theorie. Da gibt's keine Versuche, da gibt's keine... ja, Vorteil ist, Physiksaal, der ist komplett neu, und Beamer, Laptop fix drinnen, hängt im Internet auch... ich hab dort viel mit Powerpoint gemacht. Ich Dass ich ein paar Folien zusammengestellt habe, und da gibt's auch was im Internet – klick -, und dass wir uns dann irgendeine Animation angeschaut haben.

I Das ist super...

M Das ist auch recht gut angekommen

I Und du bist alle drei Stunden im Physiksaal?

M Nein, leider nur eine. Es ist nur ein Physik-Saal quasi. Das ist natürlich wenig.

I Wie viele Klassen gibt es parallel?

M An sich ist es relativ klein. Um die 70 Lehrer sind es, 65, 70 Lehrer.

I Also a, b, c?

M Ja, maximal. Es sind siebte, achte, nur mehr a, b, sind nur mehr zwei. Unterstufe sind teilweise vier Klassen. Aber dann halt... also erste, zweite sind glaub ich vier, dann sind es aber nur mehr drei. Siebte, achte sind es nur mehr zwei.

I Dann ist es vergleichbar mit unserer Schule, wir haben a, b, c in der Unterstufe, und dann zwei Klassen in der Oberstufe. Wir haben nämlich auch nur einen Physiksaal. Und von vier Physikstunden bin ich eine im Saal. Wir haben zwar zum Glück in der dritten Klasse ein Praktikum, da bin ich natürlich im Saal. Wobei das auch nicht „natürlich“ ist, weil manche Kollegen müssen mit dem Wagerl auswärts fahren.

M Eigentlich war es möglich im Laufe des Jahres, dass man sagt, nächste oder übernächste Stunde würde ich eigentlich auch ganz gern im Saal sein, können wir nicht irgendwie tauschen? Das war eigentlich schon möglich. Also ich hab jetzt ein

Experiment... eben die Versuche vom Mayer, die hab ich auf zwei Stunden, da war gscheit, beide Stunden hintereinander... oder das hab ich gar nicht gemacht, wär vielleicht auch gegangen, dass man eine Doppelstunde bekommt in einer Woche. Dass man wirklich so tauscht. Das hab ich mir dann nicht angetan.

I Sind die drei Stunden alle einzeln? Oder ist eine Doppelstunde?

M Nein, es sind alle drei einzeln. Mittwoch, Donnerstag, Samstag. Das ist also ungeschickt.

I Naja, eine Doppelstunde ist zwar schwieriger zum Vorbereiten, aber zum Unterrichten hab ich angenehm empfunden. Ich hab vor zwei Jahren das einmal gehabt...

M Für Versuche ist das optimal, meistens ist eine Stunde zu knapp für einen Versuch. Vor allem, wenn man sagt, man macht zu erst Theorie, einen Theorieblock, und dann macht man daraus quasi noch einen Versuch dazu, des geht sich in einer Stunde fast nicht aus. Entweder muss man die Theorie so aufdehnen, dass man eine Stunde Theorie macht und eine Stunde Versuche dazu, also meistens das fast zu fad. Also Doppelstunden sind schon besser.

I Und wenn man nicht im Physiksaal ist, ist es noch schwieriger, dann muss man die Materialien mitschleppen auch noch.

M Ja, durch's halbe Schulhaus, Macht man ja ab und zu. Das hab ich auch schon öfters gemacht. Weil wennst jetzt am Mittwoch hätte ich gerne den Versuch gemacht, dann zeige ich vielleicht zuerst einen Versuch, damit sie dann am Donnerstag selber irgendetwas dazu selber machen können. Da nehm ich halt am Mittwoch die Trümmer mit in die Klasse. Oder ich lass die Schüler holen.

I Unmotivierte Schüler hast du?

M Ja, teilweise schon

I Und die versuchst du mit Experimenten zu motivieren?

M Ja, Experimente und Texte... Wenn, versuche ich schon so viel als möglich, ihnen was zu zeigen. Etwas auszuprobieren.

I Also viele Stunden ohne Experimente vergehen bei dir nicht?

M Oh ja, schon, es gibt ja dann auch... wo es einfach nicht geht! Da hat man oft einfach nichts dazu. Manchmal hab ich in der Schul einfach nichts, was ich hätte, wär zu aufwändig, oder ich weiß es noch nicht, das ist eher so... Dass man sich fragt, so, was könnte ich ihnen jetzt dazu zeigen. Man schaut sich die Unterlagen durch, das Buch, weißt aber nicht, ob da im Physik-Saal noch irgendwo was dazu liegt, das passen würde. Oft hätte mir noch was gefehlt, dass ich gern gemacht hätte, aber... ich hab schon

probiert, dass man viel Experimente machen, ja, wenns irgendwie geht. Geht eh nicht immer, Mechanik ist teilweise trocken. Zeigst ein paar, und dann... Feder haben wir gehabt, beim Wagen, den man irgendwie ein paar mal hin und her geschickt hat. Und irgendwann muss man sagen, so jetzt müssen wir aber was dazu rechnen! Ein Beispiel dazu machen. Die Theorie lernen, und die Formeln dazu teilweise herleiten. Woher kommt denn das? Dann sind's halt ein, zwei Wochen, wo dann nichts mehr ist.

I Hast du eher das Gefühl, ein hohes Niveau zu fahren in der Klasse? In Physik?

M Nein, das war eher kein hohes Niveau, glaub ich.

I Spielt die Klasse nicht mit?

M Ja, weil sie eben so große Probleme gehabt haben, am Anfang gleich, wir haben gestartet mit Größenordnungen, und, glaubst du die hätten es irgendwie geschafft, Zehnerpotenzen in irgendeiner Weise richtig zu schreiben, anzuschreiben, oder geschweige denn auszurechnen – das war 'ne Katastrophe, die sich da abgespielt hat. Also Rechnen mit Zehnerpotenzen, da braucht man ja keinen Taschenrechner, das is ja trivial, da brauchst ja nur bis zehn, zwanzig zählen zu können quasi. Und wenn man das rausschreibt, die riesen Milliarden Zahl irgendwas wie viel zehn hoch ist das jetzt, durch das zehn hoch kann man kürzen, und da kommt halt... Ja, die Rechnung ist dann drei durch zwei, so auf die Art, und hinten mal zehn hoch zwei, das hat Krisen verursacht teilweise. Okay, wenn das jetzt wirklich so schlimm ist, die Mathematik, dann später kommt Sinus, Cosinus irgendwann mal in der sechsten rein, was können wir verwenden – Einheitskreis, braucht man in Physik, da ist es oft mal geschickt, wenn man auf Polarkoordinaten arbeiten will, war das irgendwie schwierig und mühsam. Da hab ich das dann eher eingestellt. Weil wenn ich Mathematik nebenbei machen würde...

I Das heißt, kommt von der Mathematik da nicht irgendwie die große Hilfe?

M Nein, in dem Fall halt... sie sind mathematisch sehr schwach drauf, somit kann man in Physik auch keine großen Beispiele rechnen, wenn sie das nicht können.

I Klar, das Handwerkzeug müssen sie ja können.

M In Physik ist ja der Text, das Beispiel ja die Schwierigkeit meistens, die Rechnung selber ist dann trivial. Eben dass man weiß, welche Formel, die Formel umformen muss man halt, das ist auch schwierig natürlich, und dann haben sie die Formel und man setzt nur mehr ein. Punkt. Dann tippst am Taschenrechner. In dem Fall, weil im Kopf rechnen tut ja eh keiner. Was wie gesagt meistens einfacher wäre. Oder das einfachere wäre. Weißt eh... durch drei mal fünf... nicht, jeder vergisst auf die Klammer unten beim Taschenrechner. Oder zumindest 60 bis 70% vergisst auf die Klammer. Sagst ihnen, bitte, das ist falsch, das kann nicht rauskommen, was hast denn vergessen? Die Klammer! – Ah ja! Und dann kommt das richtige raus. Deswegen hab ich dann eher die Mathematik Mathematik sein lassen, und hab meistens dann so über die Themen gesprochen. Natürlich fehlt dann halt einiges.

I Gut, aber es ist besser wahrscheinlich, man malträtiert die Schüler nicht mit der Mathematik.

M Das hab ich mir jetzt als Unterrichtspraktikant jetzt gedacht. Also in Zukunft werde ich das sicher... werde ich das durchbringen. Aber ich hab gesehen, es interessiert sie halt einfach nicht, das muss dann halt der Lehrer nächstes Jahr machen. Der Betreuungslehrer, der sie dann wieder bekommt in der siebten, achten Klasse, der kann ja dann noch mal...

I Ich hatte in der sechsten Klasse auch meine Erfahrungen... Sinus, Cosinus, was ist denn das? Ich musste spontan eine Stunde über Einheitskreis, Sinus und Cosinus halten...

M Die griechischen Buchstaben haben bei uns Krisen ausgelöst... Aber der Einheitskreis ist ja glaub ich aus dem Lehrplan rausgeflogen, nicht mehr drinnen. Das ist ja Wahnsinn, das war das einzige, wo das noch drinnen war, da kann man alles reinpacken! Auf den kann man sich immer berufen... Was ich weiß, ist der rausgefallen... Man muss es in der Physik machen. Das ist das einzige, wo du die Zusammenhänge in einer Zeichnung erklären kannst, da braucht man sich nie was merken.

I Ja, ich musste dann das Winkelmaß einführen, da hats mich auch geschreckt... Man kann ja wirklich nichts mehr weitermachen.  
Hast du dich irgendwie vorbereitet auf die Stunden mit den Filmen?

M Ehrlich gesagt, eher nicht, weil sie haben mir thematisch schwer reingepasst. Es wäre gschickter gewesen, ich hätte sie im Herbst gehabt. Ich habe im Herbst die ganze Mechanik gemacht, ich hab den Strom jetzt noch offen gehabt. Schwingungen und Wellen zu diesem Zeitpunkt, und etwas von der Wärme noch, glaub ich. Thermodynamik. So gesehen haben sie thematisch eigentlich nicht so perfekt reingepasst. Im Herbst hätten sie besser reingepasst, weil es waren ja beide Filme aufgelegt für Mechanik.

I Was hattest du für zwei Filme?

M Das eine war Ocean's Eleven, das andere war Speed. Speed hätte sich optimal geeignet gehabt für November, Dezember, da hätte man das anhand dessen sicher angeschaut. Und vielleicht sogar auf zwei, drei mal aufgeteilt. Zuerst um zu sehen, was wäre falsch gewesen, dass die Schüler einmal schauen, was kommt ihnen denn komisch vor, dann hätte man darüber diskutieren können, das könnte dies und jenes sein, dann hätte ich wahrscheinlich die gesamte Theorie eingebaut, und hätte mit der Theorie das noch einmal gezeigt. Und dann vielleicht sogar was dazu gerechnet. Das ist dadurch natürlich jetzt gefallen. Jetzt haben wir mehr oder weniger nur – ich mein, gefallen hat es ihnen trotzdem. Klar, natürlich. Und genauso auch mit Ocean's Eleven. Das wäre gut gewesen zu Impulserhaltung, Oder potenzielle, kinetische Energie. Das haben alles

Herbst bis Weihnachten gemacht. Da hätte sich das auch angeboten, weil da, die sausen runter quasi, welche Höhendifferenz haben sie, welche Geschwindigkeit kriegt man raus, welche Energie steckt jetzt in ihnen drinnen, da hätte sich sicher viel mehr geboten, nicht wahr.

I Welcher Film wurde als erster gezeigt?

M Speed haben wir zuerst gemacht.

I Wie lief die Stunde ab? Wie hast du die Stunde aufgebaut?

M Beides war am Beginn der Stunde. Ich habe ihnen in der Früh bereits gesagt, dass ich ihnen ein Video zeigen will, zu einem bestimmten Kapitel, zu einem bestimmten Teil eben. Schauen wir uns das einfach mal an, was kommt euch denn da komisch vor, schaut es euch einfach mal an. Dann reden wir mal kurz darüber. Dann haben wir uns das mal angeschaut, und dann habe ich sie gefragt, was könnte da jetzt nicht stimmen. Wo könnten Punkte sein, die hier auftauchen? Daraufhin haben wir das detailliert noch einmal durchgeschaut, und da sind sie eigentlich dann, naja, dass das mit der Schanze, Pseudoschanze nicht ganz so sein kann, ist ja offensichtlich. Was ihnen nicht bewusst war, eigentlich zuerst, dass das ganze in einer Kurve ja auch noch ist. Das es quasi um die Kurve geht, das ist eigentlich ungeschickt, dass er in die Kurve fliegt. Und dann haben wir besprochen, wie müsste er fliegen, dass er hinkommt? Dann hat einer der Schüler auf der Tafel angefangen zu skizzieren, wie er fliegen müsste, wenn eine Schanze ist, wie müsste er fliegen, wenn keine Schanze ist. Also wenn man die Kante hin macht auf der Straße, eine Schanze drauf, und wie fliegt der Bus jetzt weg. Also dass er sich zuerst mal komplett raufbewegen muss, und dann halt irgendwann mal wieder runterkommt. Eine schöne Parabel quasi. Und wenn die Schanze nicht da ist, dann würde er irgendwie halt gleich runterfallen. Aufgrund der Wurfparabel. Ein Schüler hat mir das im Prinzip richtig hinggebracht. Ich mein, es war einer von den besseren Schülern, der das kapiert hat ungefähr. Da muss... in jeden Fall ist es parabelförmig. Und wenn eine Schanze ist, geht's zuerst natürlich nach oben, und wenn keine Schanze ist geht's gleich runter, so auf die Art. Und dass er somit dort nicht mal hinkommen kann, weil wenn man sich den Film anschaut, ist es ja auf der gleichen Höhe – mehr oder weniger gleich. Da geht sich das nie aus. Also auf das sind wir schon gekommen, das hat mir ein Schüler gemacht.

I Wie war die Stimmung in der Klasse während der Diskussion?

M Die Stimmung war an sich gut, sie haben mir nur vorgeworfen, Herr Professor, sie machen uns die ganzen Filme kaputt. Weil die Illusion quasi genommen wurde, was da nicht stimmen kann. Aber ich glaub, es taugt ihnen sicher. Also es war von mir aus ungeschickt – es gehört besser eingebaut. Es gehört auf jeden Fall besser eingebaut thematisch. Das war in diesem Fall nicht gegeben, und somit war es... Auf der anderen Seite wars ein bisschen Wiederholung. Was haben wir damals im Herbst gehabt? Was haben wir da gesagt, wie fliegt so ein Ding jetzt weg – auf einer Parabel. Was ist jetzt, wenn eine Kraft nach oben wirkt? Aber das mit der Kurve ist aber auch dann

gekommen! Ja, da müsste ja eine Kraft sein, hat irgend ein Schüler gesagt. Eine Kraft, die ihn um die Kurve zieht. Sonst würde er ja gerade aus fliegen. Das ist auch von den Schülern gekommen.

I Das heißt, die Filme sollte man ihnen nicht kaputt machen deswegen...

M Ja, das war das eine, prinzipiell hätten sie es glaub ich gerne gehabt, wenn wir das öfter gemacht hätten. Dass man ihnen Filme zeigt und anhand dessen Theorie machen.

I Wie ist es beim zweiten Film gegangen? Bei Ocean's Eleven dann? Da war ja dann bereits bekannt, wie das abläuft.

M Ja, da haben sie dann bereits gewusst, wie das abläuft, und haben viele kreative Sachen... da waren mehrere, in die Richtung... Die Leuchtstoffröhren, die Knicklichter, die sie runterschmeißen, dass an sich die... die sieht man in seinen Augen oben. Die knickt er, schmeißt sie runter, dann fallen diese schwach leuchtenden Dinger durch runter, aber trotzdem sieht man sie so stark reflektiert in den Augen. Das könnte eigentlich auch unwahrscheinlich sein. Weil die liegen ja 20, 30 Meter unten.

I 70, 80 Meter wird im Film gesagt.

M Ja, sehr weit, unwahrscheinlich, dass man die oben überhaupt sieht. Was auch von den Schülern gekommen ist, die Lichtstrahlen – warum sieht man die Lichtstrahlen so auf die Art. Das ist ja auch falsch, das kam von den Schülern. Die Haltbarkeit der Magneten hätten sie sofort geglaubt, das hat sie nicht verwundert. Dass das vielleicht nicht sein kann... eben, da hätte man was rechnen müssen, was kommt jetzt wirklich unten für Kraft raus, welche Energie wirkt da, das kann der Magnet wahrscheinlich nicht halten.

I Das ist gar nicht so einfach zu rechnen, man muss einige Annahmen treffen. Die Masse von dem Kerl zum Beispiel...

M Schwieriger ist glaub ich sogar, wie viel der Magnet haltet. Das ist schwierig auszurechnen.

I Ja, und die Kraft auszurechnen muss man zusätzlich noch die Bremszeit abschätzen. Das ist am schwierigeren. Diese Zeitspanne abzuschätzen. Da die Änderung des Impulses nach der Zeit ja die Kraft ergibt. Und genau dafür braucht man die Zeitspanne. Ich habe es ausprobiert zu rechnen mit einer Sekunde. Unrealistisch. Dann habe ich's für zehntel und hundertstel Sekunden berechnet. Da vervielfacht sich der Betrag für die Kraft natürlich sofort! Der Magnet müsste also sehr, sehr stark sein. Dazu kommt noch, dass der Magnet seitlich am Träger haftet. Allerdings gibt es relativ kleine Hakenmagneten, die eine Haftkraft von 100 kg haben.

M Oh ja, das war jetzt vor kurzem in dieser komischen ORF-Sendung... Newton! Ich schau die fast nie, drei, vier Mal hab ich sie bisher vielleicht gesehen. Kurz nur. Da hatten sie so einen Magenten.

I Ja, das war genau dieser „Todesmagnet“ einer deutschen Firma, die mir ein Excel-Sheet zur Berechnung geschickt hatte. Wo man die Haftkraft berechnen lassen kann mit den jeweiligen Eigenschaften.

M Ist der nicht sehr groß?

I Nein, gar nicht, ein runder Magnet mit – ich weiß jetzt aber nicht, 8, 10 cm.

M Das ist im Film aber auch, da hatten sie ja zwei davon. Was man auch nicht rausbringt, im Film jetzt, das müsste man nachfragen, da legt er die zwei Magnete hin, und dann legt er etwas um... was legt er denn da um? Weil das kommt nicht raus. Ist das nur eine Halterung, die er einhängt, oder ist da vielleicht noch irgendwo eine Spule, dass er einen Elektromagnet noch dazuschaltet.

I Also an sich sieht man in der Szene keinen Stromzufluss für einen eventuellen Elektromagneten. Auch vor und nach der Szene nicht.

M Also das mit dem Magneten haben die Schüler nicht gesagt, das mit dem Licht haben sie gesagt, und was sie komisch gefunden haben, dass sie das Seil unten wieder abschneiden. Das an sich das dünne Seil ja äußerst reißfest und stabil sein muss. Und sie es dann so zack! abschneiden. Das haben sie komisch gefunden. Bzw. auch das mit dem Runterfallen, er fällt doch so runter, quasi mit dem Gesicht nach oben, und kommt dann unten... nein er hängt ja oben (Anm.: nach dem Abbremsen über dem Boden) so, dass er mit dem Rücken zum Boden hängt. Nach dem Abschneiden kommen sie aber mit dem Bauch auf. Von der Höhe ist das nicht viel, ein, zwei, drei Meter. Mehr ist das nicht, wahrscheinlich. Und dann schneiden sie's ab, und kommen aber beide am Bauch auf! Das haben sie für komisch befunden, dass sie sich in der kurzen Zeit umdrehen. Wie gesagt, das schaut ja nicht weit aus, zwei, drei Meter, und in der kurzen Zeit spielen sie Katze und drehen sich um, ich weiß nicht, ob man das schafft. Das war ihnen auch ein wenig mysteriös.

Beim Speed noch, was sie in keiner Weise überzuckert haben, war, was du geschrieben hast – ich weiß nicht, ob's stimmt-, bevor sie auf das fehlende Stück hinfahren, ist nur a komische Absperrung, und dann ist das fertige Bauteil... die Überführung auf die andere Straße ist sicher fertig! Weißt eh, die zweite Straße, die noch... a normale Autobahnkreuzung, der Teil, den sie runterfahren ist nicht fertig, aber es gibt ja davor eine Abzweigung, die auf die andere raufführt, und die ist fertig.

I Die ist fertig, ja.

M Und das vorne, das sind zwei Wassertonnen als Absperrung. Das ist typische Autobahn, wo die zwei Wossertonnen stehen, das ist für den Bus ja wurscht, der fährt durch wie nix. Das ist ihnen nicht aufgefallen. Dem Betreuungslehrer auch nicht.

I Der Betreuungslehrer war dabei?

M Beim ersten war er dabei.

I Was war seine Meinung dazu?

M An sich hätte es ihm besser gefallen, wenn es thematisch besser eingebunden wäre, was zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich war. Und zwei, drei Stunden die Mechanik einbauen wollte ich aus Zeitgründen auch nicht mehr.

I Man kann es ja auch als kurze Auflockerung dazwischen sehen.

M Das war in dem Fall auch so. Am Ende eines Kapitels, vor dem Anfang des neuen Kapitels waren die beiden Filme drinnen jetzt quasi. Als Auflockerung. Für die Schülerinnen ist es sicher gut angekommen, und sie würden es viel interessanter noch finden, wenn es eben thematisch so eingebaut ist, dass man das Kapitel darauf aufhängen kann. Auf Speed kann man sich er alles, was mit Geschwindigkeit, Beschleunigungen, die ganze Grundkinematik kann man da reinhängen. Ohne Probleme. Zuerst den Film zeigen, analysieren, was könnte falsch sein dabei, und dann macht man danach halt Wurfbewegung, was braucht ich an Newtonschen Axiomen, damit er um die Kurve kommt, welche Kraft muss da wirken, und dann wieder einmal den Film zeigen, das hätte sich er gut funktioniert.

I Würdest du's wieder machen?

M Ja, auf jeden Fall in so einem Kontext. Wenn ich mir die Clips behalten darf...

I Sicher!

M Im Herbst zum Beispiel, wenn ich wieder eine sechste bekomme, werde ich das sicher einbauen. Das ist einmal sicher klar, dass der Speed ist dabei. Es bietet sich sicher an, dass man vielleicht nach den Newtonschen Axiomen das restliche Kapitel darauf aufhängt. Wenns noch nicht zu kalt ist, rausgehen, gleich eine Rakete starten lassen, so eine Wasserrakete. Das ist natürlich auch optimal, für so eine Wurfparabel. Aber da passt das natürlich auch – wie schnell fährt er, wie weit kommt er...

I In wie weit glaubst du, dass dies Schüler sensibilisiert, wenn sie ins Kino gehen?

M Ja, durchaus, glaube ich. Ich glaube, dass sie durchaus kritisch...

I Ohne den Kontext, dass man ihnen alle Filme demoliert. Sodass sie einen Film trotzdem genießen können, obwohl sie merken, das könnte nicht stimmen.

M Ich glaub, die Schüler sind eh in die Richtung – das könnte nicht stimmen, aber ist mir egal. Aber dass es ihnen wenigstens auffällt.

I Haben die Schüler das vorher bereits einmal gemacht, eine Filmanalyse?

M Nein, glaub ich nicht. Ziemlich sicher nicht. Aber ich find das okay, das kann man sicher öfter machen. Ein gutes Beispiel wäre sicher auch Armageddon. Eine Szene von Armageddon, ich finde die Szene, wie sie am Kometen den Crash bauen, beim Landen, beim Landeanflug. Erstens was mich unglaublich stört ist die große Geräuschkulisse rundherum, dann die Weltraum-Feuer, dass dort alles noch lange brennt, obwohl schon längst alles aufgerissen ist und definitiv keine Luft mehr drinnen ist, lodernde Flammen, und ja, die ganze Geräuschkulisse.

I Und auch wie sie dem Kometen durch seinen Schweif nachfliegen. Welche Geschwindigkeit müssten sie da haben?

M Deswegen machen sie ja das Manöver... wie heißt das gleich... Road Runner Manöver, wo sie rund um den Jupiter fliegen, oder Mars... Oder war's der Mond?

I Der Mond wars, glaub ich!

M Ja, der Mond könnte es sein, alles andere wär zu weit weg. Dass sie sich durch den Mond beschleunigen lassen. Dass sie sich quasi fast auf den Mond fallen lassen, oder ist es doch ein anderer Planet?

I Ein Fly-By-Manöver.

M Und deswegen können sie voll beschleunigen, indem sie fast mit dem Mond auf Kollisionskurs gehen, rundherum sausen, und darum die Geschwindigkeit zusammenbringen. Irgendwie so haben sie das.

I Kennst du Deep Impact?

M Ja, ja... Deep Impact ist das mit der Flutwelle, mit der riesen Flutwelle, oder?

I Ja. Welcher gefällt dir besser – Armageddon oder Deep Impact?

M Gute Frage. Ich glaub, Armageddon hat mir besser gefallen. Von der Story rundherum.

I Ich fand Deep Impact ursprünglich total schlecht. Interessant ist, dass – wie ich mir beide Filme jetzt genauer angesehen habe – Deep Impact von den physikalischen Inhalten viel haltbarer ist als Armageddon. Ich konnte das selber zuerst kaum glauben.

M Ja, viele Szenen sind bei Armageddon bei den Haaren herbeigezogen. Einige sind definitiv schwach, da gibt's bessere Filme, die das um einiges besser darstellen.

I Okay, gibt es noch etwas, dass du sagen willst?

M Zu der Thematik eigentlich jetzt nichts mehr zusätzlich, nur: Ich würd's in den Kontext setzen. So war's jetzt lustig und eine Auflockerung, aber man kann sicherlich mehr draus machen.

### 9.2.2 Zweites Interview (I-2)

(I ... Interviewer; H ... interviewte/r Lehrer/in)

H Es ist schon eine Woche her (Anm: das Zeigen der Filme), sonst vergesse ich es wieder.

I In welcher Klasse hast du das Projekt gemacht?

H Es war eine sechste Klasse. 6A.

I Wie schätzt du die Klasse ein. Eher gut, mittel, ...?

H Eher mittel bis schwach, das war eine Gymansiumsklasse, also von Natur aus schon nicht so in die Richtung unbedingt begabt. Ich hab schon ein paar Leute drinnen, die Realgymnasiasten sind, das sind eher die Burschen, die hinten sitzen und nix sagen. Die kommen zwar locker durch, aber sie setzen sich nicht unbedingt ein. Es sind nur zehn Leute in der Klasse. Und vorn die Mädels setzen sich sehr ein, sind aber jetzt nicht unbedingt realistisch begabt. Also eher mittel.

I Das bedeutet, es ist Realgymnasium und Gymnasium gemischt?

H Nein, nein, es ist nur Gymnasium, aber die Burschen, die hinten sitzen, sind realgymnasiums-fähig, einfach gescheit. Also gescheit in dem Bereich.

I Du hast im Jahr vorher auch Physik unterrichtet – wie versuchst du, solche unmotivierte Schüler zu motivieren?

H Unmotiviert würde ich gar nicht sagen, ach so die hinteren, unmotivierten.

I Es klingt danach, oder?

H Ja, naja... von mit zuwenig eingebunden im Wesentlichen. Wenn man sie dann fragt, oder wenn man sie versucht, einzubinden – ich mein, es ist gar nicht soviel nötig, sie zu motivieren, es reicht, wenn du versuchst, sie zu fragen, oder einfach in den Unterricht einzubinden. Motivation ist nicht viel nötig. Also mehr das Einbinden. Wenn man sie ein paar mal fragt, oder sich mit ihnen beschäftigt, dann rennts eh.

I Dann wachen sie auf?

H Ja.

I Und generell – die anderen, reden von selber?

H Mit denen beschäftige ich mich, das sind die in der ersten Reihe, das sind brave Mädchen, die zeigen brav auf, und mit denen beschäftige ich mich automatisch mehr, und die gehen dann auch mit. Und deswegen sind sie auch von der Leistung viel besser. Die kriegen viel mehr mit. Mitarbeiten, quasi.

I Wie läuft bei dir eine Physikstunde ab? Ganz grob im Allgemeinen?

H Wiederholung, dann neuer Stoff, gemeinsam erarbeiten. Also die groben Teile sind eh Wiederholung und neuer Stoff oder weitermachen, und das ist dann vermischt je nachdem entweder am Anfang Experimente und dann den Stoff erarbeiten, oder teilweise auch als erstes den Stoff erarbeiten und dann ein Experiment dazu. Experimente sind sehr viele dabei, und hin und wieder auch Schülerversuchsstunden, je nach Stoff.

I Hast du zwei oder drei Stunden?

H Zwei Stunden. Ich habe nur zwei Stunden. Nicht gut ist, es ist Montag erste Stunde und Freitag letzte Stunde. Das ist recht super getroffen. Samstag kein Unterricht. Also die Schüler sind umrahmt von Physik.

I Schöner Wochenanfang und schöner Wochenschluss...

H Für die Schüler... ja, für mich! Für die Schüler weniger!

I Das heißt, Experiment ist wichtig bei dir, und mit dem reißt du die Schüler mit.

H Schon, ja, ja. Weil sie doch ja... weil es dann nicht so theoretisch ist im Unterricht.

I Was hast du mit ihnen durchgenommen in der sechsten Klasse Gymnasium?

H In Wirklichkeit musst du das machen, was man in zwei Jahren Realgymnasium sonst macht. Wir haben die gleichen Bücher, den Sexl, und zwar fünf und sechs in einer Klasse. Ansonsten Realgymnasium für die fünfte Klasse den Fünfer-, und in der sechsten den Sechserband. Und ich habe gemacht den Fünferband ganz durch, und vom Sechserband... Also Fünferband, das ist hauptsächlich klassische Physik, Bewegung, Energie, Elektrizität ist auch noch dabei, und im neuen Band hab ich jetzt angefangen mit Schwingungen und Wellen. Und eigentlich nur mehr die Schwingungen gemacht, dann Thermodynamik noch ein wenig.

I Und dann hast du einen Film hergezeigt? Welchen?

H Twister. Ganz in der allerletzten Stunde.

I Letzte Stunde nach Notenschluss, oder die letzte davor?

H Nein, nach Notenschluss, letzte Stunde, wo ich sie gehabt hab.

I Wie hast du das aufgebaut, wie hast du die Stunde gestaltet?

H Eh nach deinem Vorschlag eigentlich... ach so, die ganze Stunde?

I Ja, wie lange es gedauert hat, und so.

H Ja, ich habs eigentlich viel kürzer eingeschätzt, da hätte man eine ganze Stunde dafür verwenden können. Ich hab's so gemacht, ich hab ihnen zuerst die Szene gezeigt, und ihnen gesagt, sie sollen aufpassen, was ihnen auffällt, was physikalisch nicht stimmt. Das haben wir uns dann angeschaut. Mit super Beamer, einem fix montierten... das war echt wie Kino. Und dann haben wir das besprochen und haben uns einzelne Themen, die nicht ganz klar waren, noch einmal angeschaut. Also konkret die Bremsspuren haben wir noch einmal angeschaut. Das wars, eigentlich haben wir nur die Bremsspuren versucht, noch einmal anzuschauen, aber das mit dem Mediaplayer hat nicht gscheit funktioniert, dass ich's rechtzeitig stoppe. Und ich hab nie die vier Bremsspuren ins Bild bekommen. Und dann haben sie's mir halt glauben müssen. Und dann wars eigentlich schon vorbei, ich hab eigentlich nur geplant gehabt 20 Minuten, aber brauchen mit dem ganze Besprechen hätten wir locker eine ganze Stunde.

I Wie sind die Schüler darauf angesprungen?

H Es war für sie... also nicht unbedingt begeistert, aber auch nicht unbedingt nicht begeistert. Es war eigentlich sehr indifferent – glaub ich, heißt das. Sie waren schon sehr interessiert, also nicht... sie waren jetzt nicht abgeneigt. Ich hab das einfach gemacht, und mit dem Tun sind sie doch recht aufgeflammt, wie sie präsentieren haben dürfen, sagen haben dürfen, was ihnen aufgefallen ist, sind sie aufgewacht. Zuerst die helle Begeisterung am Anfang eigentlich nicht.

I Haben die Schüler das bereits einmal gemacht?

H Nein, das war das erste Mal. Ich habe ihnen auch dazugesagt, dass es für eine Dissertation ist und so weiter, hat sie aber nicht besonders interessiert.

I Vielleicht wäre es interessanter gewesen, wenn man ihre Meinung eingeholt hätte, dann hätte sie es vielleicht mehr interessiert.

H Vielleicht, ja.

I Okay, was hast du noch alles aufgeschrieben, wenn ich fragen darf (Anm.: Interviewer mit Notizzettel beim Interview)?

H Das war, wie ich's gemacht habe, was das Ziel davon war, was ich als Ziel gesehen habe in dem ganzen, willst du das wissen?

I Ja, sicher!

H Auge für physikalische realitätsnahe oder –ferne Dinge in Filmen zu schärfen, bzw. Wiederholung bereits gelernter Dinge. Das war einerseits das, was ich mir überlegt habe, was ich machen kann, bzw. was dann eigentlich auch meine Zielsetzung war.

I Glaubst du, hat das funktioniert?

H Also das erste schon, also dass man das Auge schärft, dass vieles in Filmen nicht so ganz stimmt, hat sicherlich funktioniert, aber Wiederholung bereits gelernter Dinge, das hat nicht so ganz funktioniert, weil ich gefunden habe, dass der Film nicht gut dazu gepasst hat. Grad zum Thema Energie, da hätte man sich sicher auch noch extrem mit Wetter und Tornado beschäftigen müssen, eher Thermodynamik, ja. Also es war sehr unspezifisch. Ich persönlich hätte mir dann einen viel spezifischeren Teil ausgesucht. Grad für Energie und Bewegung.

I Das heißt, der Clip hat nicht wirklich zum Stoff dazugepasst, sondern Mechanik war schon länger her ... Aber für das sind die Schüler schon gut angesprungen?

H Ja, schon.

I Also bleibt die Schwierigkeit, wenn der Film nicht direkt zum Stoff dazupasst. Glaubst du, dann man solche Filme zwischendurch als Auflockerung völlig weg vom Stoff verwenden? Also du nimmst irgendein Stoffgebiet durch, zum Beispiel Gravitation, dann zeigst du einen Film her über Optik, und machst anschließend weiter mit Thermodynamik? Also zwischendurch als Auflockerung, glaubst du, dass das funktioniert? Oder sollte das schon... Also ist es machbar, dass man einen Film zum Stoff herzeigt, und daran das Kapitel aufhängt, oder damit abschließt am Ende. Was denkst du, ist die bessere Variante?

H Ich glaub, man kann beides verwenden, das kommt sehr auf die Art des Films an, ich glaub, wenn man einen guten Film hat, kann man ihn locker am Anfang oder am Ende zeigen. Also vor allem am Anfang braucht man einen sehr guten Film, wo man dran aufhängen kann. Wo wirklich der Energiebegriff klar heraus zu schälen ist, oder wo er klar nicht passt. Oder so etwas in der Richtung. Am Ende geht sowieso fast alles. Da muss er auch nicht so spezifisch sein, da kann man das schon mehr in die Anwendung gehen lassen, denk ich. Also da kann man so etwas durchaus auch verwenden und schauen, he -, wie ist es da mit Energie, Geschwindigkeitsbegriff und so. Bzw. vor allem, wenn man sich mit Wetter beschäftigt, wie schaut's aus jetzt wirklich mit einem Tornado. Ja, und sonst glaub ich, dass – weil du gefragt hast wegen Auflockerung – ich selbst zwischendurch als Auflockerung auch einen zum Thema passenden Film nehmen würde. Weil das sonst total zerreißt irgendwie, wenn das überhaupt nicht reinpasst. Aber als Auflockerung kann man das auf jeden Fall auch zwischendurch verwenden.

I Das bedeutet, sowohl als Auflockerung, als auch zum Arbeiten – aber er muss zum Thema passen. Wann fand die 20minütige Sequenz statt – am Anfang, eher am Ende?

H Ziemlich in der Mitte, wir haben am Anfang noch schnell etwas fertig gemacht vom Stoff, dass das Kapitel quasi abgeschlossen ist, und dann habe ich den Film gemacht. Ziemlich in der Mitte eigentlich. Und ich hatte danach auch noch etwas geplant gehabt, einen Feedback-Bogen. Und daher konnte ich auch nicht länger...

I Und du bist da konsequent, wenn die dafür eingeplante Zeit vorbei ist, dann ist es aus. Oder war's nur in diesem Fall wegen der letzten Stunde?

H Das war nur in diesem Fall so, eben weil's die letzte Stunde war.

I Klar, denn Feedback, so haben wir gelernt, muss sein... Wie ist es dir gegangen bei der Vorbereitung – du hast meine Vorschläge bekommen, aber im Prinzip selber überlassen. War die Vorbereitung für diese Stunde mehr Arbeit, oder war's gleich viel, oder wars mehr spannend, ob die Technik funktioniert...? Praktische Dinge jetzt...

H Technik sind wir extrem gut ausgestattet, also wir haben im Physik-Saal einen fix montierten Beamer und einen Computer, wo alle Kabel dranhängen, wo man echt nur zack-zack-zack anschließen muss und es funktioniert auf jeden Fall. Technik war überhaupt nicht mein Problem. Von der Vorbereitung war's eigentlich auch ziemlich wenig, weil ich mich an deinen Vorschlag angehalten habe. Also war vor allem mal nett zum Vorbereiten, weil man sich nicht irgendwas aus Bücher zusammensuchen muss, sondern schaut sich den Film an, und überlegt sich, was da nicht passt, und schreibt sich quasi die Auffälligkeiten auf und das wars eigentlich. Vorbereitung war nicht sehr viel.

I Hast du dir den Film im Vorhinein angesehen?

H Ja.

I Und hast du dir auch genau überlegt, was könnte da sein?

H Ja. Ich habe auch Überschlagsrechnungen... Da ist diese Szene, wo sie die vier Bremsspuren sehen, dann noch ewig lang weitertratschen und dann erst an der Kurve ankommen. Da habe ich ungefähr ausgerechnet, wie weit sie mit einer angenommenen Geschwindigkeit wirklich fahren müssten. Bzw. was ich schätz, was sie eigentlich gefahren wären. Ich wär auf 100 Meter, glaub ich, wäre ich gekommen. Ist schon auch noch viel, ich hab aber glaub ich auch nur 60 km/h angenommen, was vermutlich auch nicht stimmt. Das hätte ich sonst mit den Schülern gemacht, aber da ich gewusst hatte, das wird eng, und bis die sich wieder erinnert hätten, was die Geschwindigkeit war oder sonst irgendetwas, hab ich's zuhaus gerechnet.

I Es wäre also auch möglich, anhand solcher Szenen praxisorientierte Beispiele zu rechnen? Was einfaches, so wie hier zum Beispiel.

H Ja, schon.

I Würdest du das wieder machen?

H Ja, ich habe da eine sehr gute Idee gefunden, ich würd's prinzipiell schon wieder machen – es wird wahrscheinlich daran scheitern, dass ich in dem Moment, wo ich's brauch, keinen Film da habe. Also ich müsste schaun – wenn mir jetzt etwas begegnet, dass ich mir das gleich merk und... Also wenn man den Film nicht kriegt, ist es schon ziemlich aufwändig, vorzubereiten, weil man sich den Film erst suchen muss. Und dann muss man ihn erst haben. Und dann... Legalitätsfrage ist auch immer, weil...

I Zwei, drei Minuten darf man herzeigen, kein Problem.

H Alles klar, dann muss man ihn nur haben.

I Also das ist die Schwierigkeit, der Rest ist dann wenig Problem mehr.

H Wenn man die Szene weiß, ist es auch kein Problem mehr. Dann fährt man in die Videothek, holt sich den Film und schneidet sich die Szene heraus, wenn man das kann...

I Dann siehst mit der Legalität wieder anders aus. Ausborgen – herzeigen – zurückgeben. Hast du das Gefühl, dass man den Schülern mit dieser Methode den Spaß am Kinogehen vertut? In der Hinsicht, dass in manchen Film soviel Unrealistisches gezeigt wird?

H Nein, ich glaube eher, es wird interessanter. Und ich glaube, dass es hilft, bzw. es würde mir selber helfen, wenn ich mir das öfter überlege, und man hilft auch den Kindern, mehr zwischen Realität und Film zu differenzieren. Also ich glaube nicht, dass man es fader macht, sondern eher, dass sie interessierter werden, und sich vielleicht auch mit anderen Augen... oder selbst einmal versuchen, zu schauen, was seh ich da, was nicht stimmt, und selbst wenn man ihnen das Kino-gehen fader macht, so etwas großartiges verlieren sie jetzt auch nicht dabei. Auf der anderen Seite macht man so Physik wieder realitätsnaher, glaub ich. Physik anwenden im täglichen Leben. Oder auch die Konzepte greifbarer machen... Hey, das habe ich gelernt, und hier stimmt's doch nicht. Also es stimmt im Film jetzt offensichtlich nicht. Und es lässt sich ja eigentlich ganz leicht... Ich mein, die Überschlagsrechnung mit der Geschwindigkeit war eigentlich lächerlich. Es lässt sich eigentlich auch ganz leicht nachrechnen.

I Das heißt, man holt die Kinder wo ab, was sie kennen – die verschiedenen Filme, zu dem, was sie mit eigenen Hilfsmitteln aus dem Physik-Unterricht nachvollziehen können. Also eine Verbindung zwischen Schule und außerhalb der Schule herstellen.

H Genau. Alltagsbezug, ja. Das würde meine Note in Alltagsbezug im Feedback sehr heben, wenn ich das öfters machen würde.

I Möchtest du noch irgendetwas sagen?

H Nein, eigentlich nicht. Vielleicht das einzige, das wir dann wirklich noch näher besprochen haben, war, dass der gelbe Truck ziemlich senkrecht runter fällt in der Szene. Das ist ihnen aufgefallen. Wie haben dann besprochen, warum das nicht so ist. Und wir haben dann die Wurfparabel wiederholt, dass natürlich ein Ding herausgeschossen wird und wie war das damals, wie fliegt das. Das kann ja gar nicht senkrecht sein. Das war das einzige, dass wir tiefer besprochen haben. Und sonst, was ihnen aufgefallen ist, war der Tornado über der Brücke, und ihnen passiert nichts – eh klar. Was sie auch noch bemängelt haben, war, dass man ein Auto nie so im Graben fahren kann, ohne dass es dich nicht umhaut. Und eben, dass der gelbe Truck einfach so vom Himmel fällt. Und bei den Bremsspuren gabs einen Einwand, da haben sie gemeint, die vier Bremsspuren müssen ja nicht von einem Auto sein, es sind ja zwei Autos reingefahren. Und bei den Bremsspuren hätte man sich... das haben sie ganz eingesehen, und ich hab's auch nicht mehr wirklich besprochen aus Zeitmangel, aber das haben sie nicht sofort eingesehen, dass das nicht geht. Dass man mit vier blockierenden Rädern nicht um die Kurve kommt. Ich hab sie dann nämlich gefragt, wie wäre das beim Eis, wenn ihr um die Kurve gehen wolltet, und da haben sie gesagt, naja, dann geh ich halt um die Kurve. Also das hätte man noch mehr... obwohl wir das auch gemacht haben. Gerade das Beispiel mit Eis und keine Reibung haben wir im Unterricht gemacht, das war aber weg. Das haben sie nicht mehr gewusst, und war auch nicht unbedingt einsichtig.

I Dann war das zum Wiederholen ja ganz gesund. Gibt's noch etwas, dass du sagen möchtest?

H Also etwas, das ihnen nicht aufgefallen ist, und ihnen dann gesagt habe. Also das was ihnen nicht aufgefallen ist und ich aber besprechen wollte, das habe ich ihnen gesagt. Das waren die Bremsspuren, da hab ich dann eben noch mal versucht, den Film zu zeigen, was nicht geglückt ist. Dann was sie für eine Zeit sie für den Dialog brauchen. Dass sie eben die Bremsspuren sehen und um die Kurve fahren. Da habe ich ihnen die 100 Meter, die ich mir ausgerechnet habe, die sie fahren müssten, an den Kopf geworfen. Die Wurfparabel ist natürlich auch von mir gekommen. Und dass die Luft auch außerhalb des Tornados bewegt ist bzw. dass das nicht so klar abgegrenzt ist, darauf hab ich sie auch noch mal genauer hingewiesen.

I Und das nächste mal würdest du, sofern du Zeit hast, länger für diese Sequenz einplanen?

H Auf jeden Fall. Allein für das mit den Bremsspuren hätte ich mehr Zeit gehabt und das noch einmal schön aufgebaut.

I Gut, wenn das alles ist, danke ich herzlichst fürs Herzeigen und für das Interview.

### 9.2.3 Drittes Interview (I-3)

(I ... Interviewer, S ... interviewte/r Lehrer/in)

I Welche Filme hattest du? Twister und...?

S Ich hab Deep Impact und Twister gehabt.

I Mit welcher Klasse hast du das gemacht?

S Mit einer sechsten Klasse, Gymnasiumklasse, also drei Stunden Physik und die sind aber nur dreizehn Schüler gewesen. Weil es ist eine gemischte Klasse, und ich hab nur den Gymnasiumteil.

I Und der zweite Teil ist RG?

S Der zweite Teil ist Realgymnasium und den hat ein Kollege.

I Wo würdest du die Klasse vom Niveau her einschätzen? Eher gut, mittel oder schlecht?

S Eigentlich sehr gut, ich hab im Abschluss keinen Vierer, keinen Fünfer. Es gibt nur drei, die nicht motiviert sind, die aber trotzdem die Leistung irgendwie erbringen. Und die anderen zehn sind wirklich durch die Bank Einser und Zweier, denen das Spaß macht. Und trotzdem Gymnasium genommen haben, also sie dürften begabt sein. Glück gehabt, gut erwischt.

I Noch dazu im Gymnasiumteil ist das nicht selbstverständlich.

S Nun ja, wir hatten schon ewig das Problem, das kennt eh jeder, dass im Realgymnasium eher die hingehen, die eher in allen Fächern schlecht sind und sich halt noch a bisserl für Mathematik interessieren, und ins Gymnasium gehen die, die in Physik auch sehr gut sind, und trotzdem eher... trotzdem Vorzugsschüler sind, und deswegen ins Gymnasium gehen, weil das Niveau angeblich höher ist. Bei uns zumindestens, ich weiß nicht... obwohl wir Laborklassen eingeführt haben, aber es bringt nichts. Es hat noch immer den Ruf, dass das Realgymnasium leichter ist, wo man leichter durchkommt, deswegen gehen viele dort hin.

I Interessant. Was machst du, um die paar unmotivierten Schüler zu motivieren?

S Ich probier, sehr viele unterschiedliche Methoden anzuwenden. Von der Themenwahl habe ich die Schüler ehrlich gesagt nicht besonders eingebunden, weil ich die Klasse auch zum ersten Jahr hab. Aber ich probier zumindest die Themen, die ich durchmachen möchte, möglichst verschieden anzubieten. Also ein bisserl offenes Lernen, ein bisserl Vortragsunterricht, viele Medien – mal Computer, einmal übers eLearning was zu machen, ein paar Spiele rein zu bringen, mit ihnen zumindest einmal im Jahr weg zu gehen, ja und so halt.

I Also Methodenvielfalt sozusagen. Und wie springen die Kinder drauf an?

S Also die Feedbacks waren durchwegs positiv. Es gibt einige, die offenem Lernen überhaupt nichts abgewinnen können. So a la wir wollen was ordentliches Lernen, und möglichst viel Wissen haben und da hilft ihnen das offene Lernen zu wenig. Und es gibt die, die dafür hoch motiviert sind durch das offene Lernen. Also es ist ganz unterschiedlich. Deswegen hab ich das auch als Motivation genommen, dass ich die Methodenvielfalt doch weiter verwende, weils dermaßen divers ist.

I Das heißt die Schüler, obwohl sie so wenig sind, springen alle auf unterschiedliche Methoden an?

S Ja. Also, es gibt... ich würde mal sagen, alle bis auf die drei würden auch einem normalen Frontalunterricht mit einer jungen, netten Lehrerin, wie ich sie glaub ich bin, auch viel abgewinnen können und würden sich auch nicht daran stören, weil sie auch nicht viel anderes gewohnt sind, sag ich mal. Aber ich glaub, die drei Nicht-Motivierten kann man dadurch eher motivieren und dass sie weniger stören, als im Frontalunterricht. Also das wäre noch grausamer. Ich habe auch sehr stark die Beurteilung darauf hingezogen. Also Tests mach ich schon, die sind halt immer nur so... interessiert dich das überhaupt so? Ich weiß nicht, inwiefern das wichtig ist.

I Natürlich interessiert mich das!

S Die Tests sind nur so A5-Zettel groß mit drei Fragen, nur das Wichtigste. Dafür gibt's halt zwei. Sie haben gesagt, das wäre ihnen lieber, als wenn ich einen großen Test mach. Was objektiv gesehen schon weniger zu lernen wäre, der Große, aber das wissen sie halt noch nicht. Und ich hab im ersten Semester einen Zeitungsartikel suchen lassen und rezensieren lassen, und im zweiten Semester ein Buch, dass irgendwie mit Naturwissenschaften zusammenhängt. Also das war auch ganz neu für sie. Ist aber super angenommen worden. Also ich hab aus der Klasse... 100% haben es gemacht, ein paar sind halt so ausgewichen und haben Illuminati gelesen, aber auch das war in Ordnung. Oder die Physiker von Dürrenmatt, aber egal, ich habs ihnen bewusst offen gelassen, dass auch die Literaturfreaks was finden. Toll, also sogar Zeilinger ist gekommen. Da war ich auch ganz verwundert. Von denen, die keinen Einser haben, aber dürften sich durch ein Kapitel zumindest durchgekämpft haben. Sehr interessant.

I Vor zwei Jahren hatte ich meine Schüler auch vor die Wahl zwischen einem und zwei Tests gestellt. Haben sich großteils für zwei Tests entschieden. Hat funktioniert.

S Ja, und so auf zwei kleine, und nur mit ganz wenigen Fragen, also sie dürften wirklich Angst haben vor so acht Wochen Stoff lernen und dann dezidiert gefragt werden, klarerweise.

I Welchen Film hast du als erstes gezeigt?

S Deep Impact zur Astronomie. Da war Kapitel Astronomie, und dann zum Schluss habe ich Deep Impact gezeigt. Allerdings habe ich zu dem Thema nicht wirklich über Asteroiden gemacht, also es war kompletter Neueinstieg. Wir haben halt Gravitation gemacht, Keplergesetze und solche Scherze, aber nicht wirklich auf den Film vorbereitet. Ich habe ihn einfach gezeigt, und dann probiert, wie sie drauf reagieren.

I Wie lange hast du für die Stunde geplant, und wie hast du sie angelegt?

S Die erste Stunde, Deep Impact, eine Schulstunde. Ist sich auch gut ausgegangen, Gott sei Dank so viel eingeplant, weils da diese technischen Probleme gab. Ich hab ihnen im Prinzip mal über den Film erzählt, gefragt, ob ihn schon wer gesehen hat, um was es da gehen könnte und so weiter. Dann die Sequenz gezeigt, sie mitschreiben lassen, was ihnen auffällt. Da ist zuerst einmal überhaupt nichts gekommen, also die waren total gebannt eben von der Videosequenz und haben ganz vergessen, dass sie irgendwas notieren. Dann noch einmal gezeigt, ohne dass ich ihnen irgendwas gesagt hab. Da haben ein paar Bemerkungen gemacht, schriftliche, und dann sind wirs gemeinsam durchgegangen. Aber man hat schon sehr stark gemerkt, bei dem ersten Film, dass sie... dass sie das überhaupt nicht gewohnt sind, dass sie Medienkritik betreiben sollen. Also dass sie einen Film kritisieren sollen. Weil ich hab gemerkt... Also viele haben gesagt, „Ah ja, das war total lustig, die Szene ist sehr spannend, ...“, aber dass sie jetzt schauen sollen, was falsch ist an dem Film, dass haben sie überhaupt nicht gekannt.

I Und wie sind sie drauf angesprungen?

S Ja gut, also natürlich wollten sie dann den ganzen Film sehen und so weiter, aber ich denke, es war schon eine Abwechslung im Physikkanon. Also dass man plötzlich einen Film sieht, den man normalerweise in der Freizeit sieht, und trotzdem ein bisserl Physik dran ist. War schon sehr geeignet. Es haben alle... alle sind da gesessen und wollten irgendwelche Fehler finden.

I Wenn man mal auf den Geschmack kommt, Fehler zu finden...

S Ja, ich denke auch. Also beim zweiten Film hat man schon gesehen, dass sie das viel besser können. Ich glaub einfach, dass sie das privat jetzt auch machen. Ich habs auch bei mir selber gesehen, dass ich auf so Filme noch mehr drauf reagier.

I Was war mit den drei Ruhigen? Sind diese auch drauf eingegangen?

S Nein, es sind keine Ruhigen, es sind eher Störende, sag ich mal. Also die sich fürs Thema nicht besonders interessieren, und dann halt lieber was anderes machen als mitzuschreiben oder sonst was. Auch! Also die vor allem, die natürlich... Also einen gabs drinnen, der ist halt Vierer, Fünfer Kandidat meistens und spielt halt lieber Computer in seiner Freizeit als sich hinsetzt zum Lernen und für den war das natürlich voll... Also der ist auch irrsinnig mitgegangen dabei und hat dann auch diskutiert mit uns und so. Auf jeden Fall, dafür lässt sich gut einsetzen.

I Wieviel Zeit ist dann zum zweiten Film vergangen?

S Relativ viel. Über zwei Monate.

I Und wie hast du diese Stunde gestaltet?

S Thermodynamik war dann bereits abgeschlossen, und wir waren dann schon bei Schwingungen, Einstieg, was man ihnen halt ein bisserl zeigen kann vor den Ferien. Und dann noch so als Goodie eh nach der Noteneintragung eine Stunde mit Twister. Und da hab ich dann geplant. Also da hab ich ihnen gesagt, so am Samstag kommt noch was ganz Unterschiedliches. Und hab ungefähr eine viertel Stunde vorher... Also die erste viertel Stunde der Stunde hab ich damit verbracht, dass sie... ich hab so Kärtchen gemacht mit Aussagen, die auf Hurrikans und Tornados zutreffen jeweils, hab sie ausgeteilt und hab sie zuordnen lassen. Also zum Beispiel „Gibt's auch in Österreich“, oder „Der gefährlichste war Katrina“ und so was. Das haben sie zuordnen müssen an der Tafel, sodass sie zumindest ein bisserl vorbereitet waren, was Twister heißt und was da vorkommt. Dann sind wir runter in die Bibliothek gegangen und haben uns den Film angeschaut. Und da war ganz deutlich, dass sie von Anfang an gleich mit ganz anderen Augen gesehen haben „Ah, das geht ja gar nicht“, „So ein Blödsinn“ und so, ganz, ganz stark.

I Sie haben sich an den ersten Film noch erinnern können?

S Ja, ja, und da war auch gleich diese Wettbewerbsstimmung, wer findet mehr Fehler. Also sie haben dann teilweise auch Sachen gesagt... ich kann jetzt keinen Beispiele nennen..., also Sachen gesagt, die normal sind, wo sie dann hineinphantasiert haben, dass das nicht sein kann, weil blablabla. Aber man hat schon gemerkt, dass man das ganz, ganz schnell beeinflussen kann, wie sie drauf reagieren.

I Hat irgendwer von den Schülern... Wie ist es generell bei den Schülern angekommen? Ist etwas Negatives zurückgekommen?

S Also bis auf die technischen Probleme... Nein. Nein, eigentlich überhaupt nichts negatives. Ich glaub, dass sich einige schon gedacht haben, was hat denn das jetzt mit dem Stoff zu tun, aber nicht negativ. Also ich hab jetzt niemanden dabei, der jetzt dezidiert gesagt hätte, aber das ist auch schwierig. So direktes Feedback kriegt man ja kaum, wenn mans nicht trainiert. Frau Professor, was hilft uns das beim Test oder so. Wahrscheinlich auch, weil das am Ende des Kapitels war, und da die Leistungsfeststellungen schon längst gelaufen sind.

I Und dass man damit den Kindern den Spaß am Film vertut, und damit die Freude, ins Kino zu gehen und so?

S Ach so! Nein, überhaupt nicht.

I Weil das ist mir selber auch schon passiert bei einer vierten Klasse.

S Nein, das hab ich überhaupt nicht gehört, ist aber interessant. Nein, überhaupt nicht.

I Weil das soll es auch nicht sein. Sie sollen ein wenig aufwachen, okay, das kann nicht sein, aber sie sollen den Film trotzdem genießen können.

S Nein im Gegenteil, eine hat definitiv nach Deep Impact gesagt, dass sie sich zuhause noch einmal den Film anschauen will. Aber nicht negativ, das wäre mir nämlich sicher aufgefallen. Weil das jetzt auch für mich überraschend war.

I Das ist nämlich etwas, dass die Schüler relativ schnell relativ laut sagen.

S Das wäre interessant zu wissen, aber ich denke, dass nicht. Wenn ich das richtig einschätzen kann.

I Glaubst du, dass wenn man das in der Schule öfters macht, dass man Schüler darauf sensibilisieren kann, dass sie ins Kino gehen und nicht alles blind glauben?

S Ja, absolut. Absolut. Also erstens denk ich mal, dass sich viele dafür mehr interessieren, was man nicht alles als Regisseur alles beachten muss. Und dass sie sich für das Filmgeschäft mehr interessieren dadurch. Nämlich kritischer interessieren, nicht nur der Schauspieler in Hollywood ist der tolle, sondern die sich das ganze Drehbuch ausdenken und überwachen müssen, dass das von den Tatsachen her stimmt. Und eben auch, dass sie von Natur aus das jetzt kritischer sehen, da bin ich felsenfest davon überzeugt.

I Ist die Diskussion auch dahin gegangen, was man alles beachten muss, wenn man einen Film dreht?

S Ja, jaja, ganz stark. Bei Twister, wie es drum gegangen ist, dass nur ganz, ganz nah beim Twister die Windstärke was-weiß-ich wie hoch jetzt ist, und rundherum ist alles windstill und kein Blätterl rührt sich. Und da haben dann viele gesagt und aufgeworfen, das wäre ihnen nicht aufgefallen, aber was man da nicht alles beachten muss! Und dann auch ins Gegenteil umgeschlagen – na wie dumm sind denn die, dass die das nicht bemerken! Und ich habe ihnen dann auch diese moviemistakes.com-Seite gegeben, und da waren sie total interessiert, weil da alle Filme sind, die sie schon gesehen haben. Ich denke, dass da viele nachgesehen haben, bei ihren Lieblingsfilmen, was denn da alles falsch ist. Ich glaub nicht, dass das entzaubernd wirkt, ich glaub, dass das Interesse am Filme-Drehen weckt.

I Vielleicht wärs ja dann interessant, mit ihnen einen Film zu drehen und dann zu analysieren.

S Ja, stimmt, selber auch mal zu machen.

I Und die Kamera sieht komplett anders als der Mensch. Oder die auftretenden Reflexionen, wo man dann die Kamera selber sieht... das kommt auch bei den moviemistakes.com häufig vor. Bei Speed zum Beispiel... Okay, das wichtigste jetzt eigentlich: Wie ist es dir dabei gegangen? Beim ersten mal und beim zweiten mal!

S Beim ersten mal irrsinnig unsicher, ich hätt ein sichereres Gefühl, wenn ich zum Thema mit den Schülern was vorbereitet hätte. Also wenn ich thematisch schon etwas dazu gemacht hätte, aber da war ich auf der Uni so beschäftigt, da hab ich einfach den Film gezeigt und geschaut, wie sie reagieren. Deswegen gings mir beim zweiten Mal schon viel besser, weil ich selber einfach das theoretische Wissen hatte zu Tornados und Twisters. Also das muss man sich als Lehrer ja auch noch aneignen, was man da fachlich dazu wissen muss. Und da ist es mir beim zweiten Mal natürlich schon viel besser gegangen. Auch weil die technischen Probleme natürlich weg gefallen sind, und weil ich gewusst habe, dass die Klasse das schon mal gemacht hat, und es nicht ganz neu ist.

I Okay, das heißt vorbereiten gehört einfach dazu. Wenn mans schon einmal gemacht hätte, einfach so zu zeigen und schauen, worauf läuft die Diskussion hinaus?

S Ist sicher auch interessant, es ist jetzt nicht unbedingt nötig, aber ich denk mir, es ist wichtig, um das ein bisserl in das Stoffkapitel einzubauen. Dass die Kinder nicht wirklich das Gefühl haben, die zeigt uns den Film, weil sie sonst nichts weiß, oder weil halt Samstag ist und wir sonst nichts anderes machen müssen, sondern dass sie wissen, dass populäre Filme durchaus was mit Physik zu tun haben. Und deswegen sollte man sie, find ich, wirklich in den Stoff mit einbauen. Und zumindest ein bisschen drauf hinaus vorbereiten.

I Du hast die Filme jetzt immer am Ende eines Stoffgebietes gezeigt, oder?

S Ja.

I Glaubst du, kann man sie auch am Anfang zeigen, sozusagen als Aufhänger?

S Ja, sicher. Ist auch sehr gut, vielleicht sogar besser. Das mit Schluss zeigen war eher wegen Schulschluss und hat sich einfach so ergeben, aber so als Aufhänger und als Motivation eines Kapitels ist es sicher auch toll geeignet.

I Du sagtest, sie sollten zum Stoff dazupassen und sozusagen eingegliedert werden. Glaubst du, kann man sie auch als völliges Kontrastprogramm zum Stoff auch anbringen? Sozusagen als Auflockerung. Zum Beispiel zwischen den Kapiteln Schwingungen und Wellen? Mit dem Hintergrund der Stoff-Wiederholung?

S Ja, sicher auch, geht sicher. Die Schüler freuen sich sicher auch drüber. Es ist ja nicht so, dass man alles kategorisieren müsste. Die Schüler freuen sich sicher, wenn man einmal etwas anderes macht zur Auflockerung. Und oder um das zu wiederholen. Ja, man sollte halt schon drauf hinweisen, zu welchem Thema so was passen würde. Zum

Beispiel dass man jetzt die Mechanik mithilfe dieses Films kurz wiederholt. Also nicht dass man hinstellt „Wir schauen jetzt Film“, sondern „Wir machen Physik und schauen Film dazu“.

I Also einfach so auf gut Glück einen Clip zu zeigen, ohne Stoffgebiet anzugeben etc., das hältst du für riskant?

S Riskant... Nein, also dass... also zumindest bei den Klassen, die ich hab, es wird immer irgendwas kommen. Man kann da endlos lange Diskussionen spinnen. Also ich denk, dass es schon geht, nur ich glaub, dass es einfach besser ist, wenn man das in den Stoff einarbeitet. Weils einfach kontinuierlicher ist, aber natürlich geht das auch.

I Würdest du wieder machen?

S Ja natürlich! Gib sie mir, gib sie mir!

I Obwohl... du wo Schwierigkeiten siehst?

S Obwohl ich Schwierigkeiten sehe, wenn man das mehr als einmal pro Monat macht. Ich glaub, dass es da natürlich auch eine Abflachungstendenz gibt, dass es zwar einmal total super ist, wenn man das macht, aber natürlich... zuviel ist zuviel. Wenn man das bei jedem Stoffkapitel zweimal macht, wird's langweilig. Wobeis natürlich eher nicht langweilig wird, als wenn man ein Kapitel anders wiederholt. Aber so zweimal im Jahr ist es super, ist es ganz toll.

I Zweimal im Semester ginge auch?

S Ja, natürlich. Ich mein, es ist ja nie ein ganzer Film. Das wär mir einfach zuviel. Also dass ich eine Stunde Film schau, oder dass ich zwei Stunden dafür verwende. Das wird dann für mich, oder ich glaub auch für die Kinder, dann langweilig. Aber grad so kurze Szenen sind ja toll als Input.

I Gibt's noch wo Schwierigkeiten, abgesehen von technischen Schwierigkeiten?

S Fallen mir nicht wirklich ein, ich find auch, dass es das fördert, dass die Schüler dann selbst noch nach der Stunde drüber nachdenken und sich erkundigen. Also wir haben dann noch lange geredet, weil du bei einem geschrieben hast, die Bremse ist, also ich bin keine Autofahrerin, drum weiß ich das überhaupt nicht, mit dem rechten Pedal, und dem mittleren Pedal und dem linken Pedal und Amerika. Und das hat viele beschäftigt, und die haben dann auch nachgeschaut, wie das denn jetzt ist bei den Autos in Amerika und wie das ist in Österreich. Ein paar machen auch den Führerschein, und das war dann auch ein großer Diskussionspunkt. Also ich denk mal, dass sich die Schüler auch nach dem Unterricht damit beschäftigen, wenn irgendwas unklar ist, wenn das auch von der Lehrkraft nicht deutlich kommt, was denn jetzt wahr ist oder falsch.

I Und von den Schülern ist da sehr viel selbstständig gekommen, oder hat man nachhelfen müssen?

S Nein. Es ist... also von alleine sind bei jedem Film vielleicht zwei bis drei Punkte gekommen, und ich habe ihnen dann einfach gesagt, dass sie bei der und der Szene noch genauer auf... die Kleidung, zum Beispiel. Und dann haben sie's selber gemerkt. Also ich habe sie nur ein bisschen hinführen müssen, und dann haben sie selber zu diskutieren angefangen, was daran... Also alleine nicht mehr als zwei, drei Punkte. Aber okay, das wäre mir wahrscheinlich auch nicht aufgefallen ohne die ganzen Hilfen.

I Möchtest du noch irgendwas dazu sagen?

S Ja! Weil du gefragt hast, welche Filme ich schon mal gezeigt habe... Mir is eingefallen, ich hab doch schon was gezeigt. Also die Simpsons, das hab ich dir schon erzählt, das ich da mal was zum Thema Corioliskraft was gemacht habe. Also ich hab definitiv nocheinmal einen Film gezeigt, wo das vorgekommen ist, und angeblich gibt's auch eine Simpsons-Folge, wo sie ein Perpetuum mobile bauen, hat mir jetzt ein Schüler gesagt. Also dass ich mir das mal raussuchen soll und ihnen zeigen soll. Oder halt in der nächsten Klasse zum Thema Energie.

I Wie auf der Uni, da kommen auch jede Woche zwei Leute, die eines erfunden haben wollen.

S Was super wäre, von deiner Seite, wenn du vielleicht eine DVD mit allen Szenen machen könntest, und ich dir die abkaufen könnte. Das wäre super. Ich weiß nicht, wie viele Filme du hast, schon einige, wahrscheinlich.

I 15 ungefähr.

S Super, ja. Also Clips einfach auf DVD oder auch Computerformat, geht natürlich auch. So mit Begleittexten, die waren sehr hilfreich. Würde ich dir sofort abnehmen. Auch für da, wir sind da am Institut am Aufbauen einer kleinen Bibliothek mit Physik-Filmen, mit Dokumentationen und so. Wir haben auch technischen Support, wenn man Hilfe bräuchte...

I Sehr gut, dann Danke ich!

### 9.3 Anhang C: Anleitung zur Durchführung

Stundenvorschlag für eine Unterrichtseinheit mit Filmanalyse – jede/r Lehrer/in bekam diese Informationen gemeinsam mit den Filmen sowie den entsprechenden Analysevorschlägen aus Anhang A mit.

#### Anleitung zur Durchführung

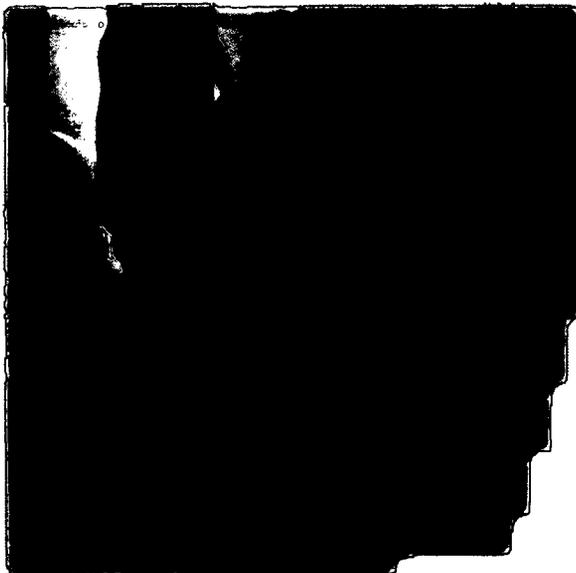
---

##### Vorschlag zur Durchführung:

---

Folgendes ist nur ein *Vorschlag*; jede/r kann und soll seine/ihre individuelle Art und Weise zur Durchführung heranziehen!

1. a) Passend zu Ihrer Unterrichtsplanung zeigen Sie der Klasse den ersten Videoclip. Die SchülerInnen sollen sich Stichworte zu Auffälligkeiten machen.  
b) Sammeln und Besprechen der von den SchülerInnen gesammelten Informationen.  
c) Nochmaliges Betrachten unter Beachtung der Auffälligkeiten; Video stoppen und „Problem“ direkt anhand des Bildes besprechen!
2. Maximal zwei Monate später den zweiten Clip zeigen und besprechen!
3. Sobald Sie den zweiten Clip gezeigt haben, schreiben Sie mir bitte ein kurzes e.mail an [dissertation@skrejci.com](mailto:dissertation@skrejci.com). Ca. zwei Wochen später sollte das Interview stattfinden!



aus: "Schlimmer gehts immer", Metro-Goldwyn-Mayer Pictures Inc.

##### Technisches:

---

Zur Durchführung stelle ich Ihnen zwei Möglichkeiten der Vorführung zur Verfügung:

In den Unterlagen befinden sich 3 CD-ROMs:

- 2 CDs mit der Kennzeichnung „SVCD“ und je einem Titel eines Filmclips auf der rechten Seite, und
- 1 CD ohne diese Kennzeichnung mit den Titeln beider Filmclips.

Auf den beiden mit „SVCD“ gekennzeichneten CDs befindet sich der jeweils darunter angegebene Film

im Super-VCD-Format. Diese CD lässt sich i. A. von jedem DVD-Player abspielen.

Auf der CD-ROM ohne Kennzeichnung befinden sich beide Filmclips im MPG-Format. So können diese Clips z.B. per PC und Beamer gezeigt werden. Diese Dateien lassen

sich mit jedem MediaPlayer (Intervideo DVD, PowerDVD, Windows MediaPlayer, Windows MediaPlayer Classic, RealPlayer, ...) abspielen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass ein entsprechender Videocodec installiert ist – daher bitte vorher einmal ausprobieren! Sollte es hierbei zu Schwierigkeiten beim Abspielen kommen, kann z.B. das [K-Lite-Mega-Pack](http://www.free-codecs.com/download/K_Lite_Mega_Codec_Pack.htm) unter [http://www.free-codecs.com/download/K\\_Lite\\_Mega\\_Codec\\_Pack.htm](http://www.free-codecs.com/download/K_Lite_Mega_Codec_Pack.htm) heruntergeladen und installiert werden (ca. 35MB, Administratorrechte zur Installation nötig!).

Ich danke Ihnen für Ihre Bereitschaft, mitzumachen! Mit freundlichen Grüßen,

## 10 Literatur- und Text-Quellen

---

- [1] FTE Sonderausgabe März 2002  
[http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/pdf/eurobarometre\\_de.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/pdf/eurobarometre_de.pdf)
- [2] Science-Fiction  
Thomas P. Weber, Fischer Taschenbuch Verlag, 2005  
<http://www.wolff.kommunikation.com>
- [3] Encyclopedia of Laser Physics and Technology  
<http://www.rp-photonics.com>
- [4] Sam's Laser FAQ  
<http://www.repairfaq.org>
- [5] Folien zur Vorlesung Grundkurs IIIb für Physiker  
<http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk3b-2002-2003/folien/folien2002-10-24.pdf>
- [6] What is a tornado?  
<http://www.chatsystems.com/~doswell/atornado/atornado.html>  
Deutsche Übersetzung: Was ist ein Tornado?  
<http://www.wetteran.de/knowledge/tornados/doswell.htm>
- [7] TorDACH – Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in der DACH-Region  
<http://www.tordach.org>
- [8] Map24 – Mapsolute GmbH, Düsseldorfer Straße 40a, 65760 Eschborn, Deutschland, [www.map24.at](http://www.map24.at)
- [9] Aktuelle Lehrpläne für Gymnasium und Realgymnasien  
[www.bmbwk.gv.at](http://www.bmbwk.gv.at)
- [10] Saturn Illustrated Chronology  
<http://history.nasa.gov/MHR-5/contents.htm>
- [11] Apollo 13 Review Board  
<http://history.nasa.gov/ap13rb/ap13index.htm>
- [12] Apollo 13 Detailed Chronology of Events Surrounding the Apollo 13 Accident  
<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/Timeline/apollo13chron.html>

- [13] The Apollo Program  
<http://history.nasa.gov/apollo.html>
- [14] USS Iwo Jima (LPH – 2)  
<http://www.navysite.de/lph/lph2.htm>
- [15] Heinz-Hermann Peitz (Hg.): „Der vervielfachte Christus – Außerirdisches Leben und christliche Heilsgeschichte“  
Stuttgart 2004, 112 S., ISBN 3-926297-90-5  
[http://www.akademie-rs.de/fileadmin/user\\_upload/pdf\\_archive/khr46.pdf](http://www.akademie-rs.de/fileadmin/user_upload/pdf_archive/khr46.pdf)
- [16] dtv-Atlas Atomphysik  
München 1976, ISBN 3-423-03009-7
- [17] Lexikon der Astrophysik, Andreas Müller  
<http://www.mpe.mpg.de/~amueller>
- [18] Celestia; kostenlose, frei verfügbare (GNU Lizenz) Software  
<http://www.shatters.net/celestia/index.html>
- [19] Add-Ons für [18]  
<http://www.celestiamotherlode.net/>
- [20] The Torino Scale  
[http://impact.arc.nasa.gov/images/torino\\_superlarge.jpg](http://impact.arc.nasa.gov/images/torino_superlarge.jpg)
- [21] NASA Ames Research Center – Asteroid and comet impact hazards  
<http://impact.arc.nasa.gov/torino.cfm>
- [22] P. Farinella, L. Foschini, Ch. Froeschlé, R. Gonczi, T. J. Jopek, G. Longo, P. Michel  
Probable asteroidal origin of the Tunguska Cosmic Body  
<http://www-th.bo.infn.it/tunguska/aah2886.pdf>  
ESO 2001
- [23] Martin Chaplin BSc PhD CChem, London South Bank University  
Sixty-three Anomalies of Water  
<http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html>
- [24] Website über die Titanic  
<http://www.abratis.de/>
- [25] Kältemischung  
[http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/tip/08\\_98.htm](http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/tip/08_98.htm)
- [26] Website über die Titanic

<http://titanic.deep-ice.com>

- [27] Saturn V – technische Details  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_a.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_a.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_b.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_b.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_c.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_c.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_d.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_d.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_e.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_e.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_f.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_f.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_g.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_g.htm)  
[http://history.nasa.gov/MHR-5/app\\_h.htm](http://history.nasa.gov/MHR-5/app_h.htm)
- [28] Abschlussbericht der Air Force zu Roswell  
<http://www.af.mil/library/roswell/>
- [29] Jules Verne „Off on a Comet – or Hector Servadac“  
Kessinger Publishing, 2004, ISBN 9781419137822  
<http://jv.gilead.org.il/pg/comet/index.html>
- [30] Gullivers Reisen, inkl. Biographie von Jonathan Swift (in altdeutscher Schrift)  
[http://www.gasl.org/refbib/Swift\\_\\_Gullivers\\_Reisen.pdf](http://www.gasl.org/refbib/Swift__Gullivers_Reisen.pdf) (Dateigröße 32,86MB)
- [31] Edward M. Purcell: Berkeley Physik Kurs 2: „Elektrizität und Magnetismus“  
Vieweg Verlag, 1989, 4. Auflage, ISBN 3528383526
- [32] Fujita Tornado Scale, NCDC: Satellite Events Art Gallery  
<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/satellite/satelliteseye/educational/fujita.html>
- [33] Fujita Tornado Skala: Wikipedia  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fujita-Skala>
- [34] c<sub>w</sub>-Werte: Lexikon der Codes ~ Symbole ~ Kurzzeichen  
<http://www.code-knacker.de/cw-wert.htm>
- [35] NASA Exobiology Program, Definition von Exobiologie  
<http://exobiology.arc.nasa.gov/ssx/exobiology.html>
- [36] Numerische Berechnung des freien Falls unter Berücksichtigung  
des Luftwiderstands  
[http://sta.brgg.at/OEMG\\_Tagung/FreierFall.xls](http://sta.brgg.at/OEMG_Tagung/FreierFall.xls)
- [37] Nuklearer Elektromagnetischer Impuls  
<http://www.fundus.org/pdf.asp?ID=11562>
- [38] Oberhummer Heinz, „Kerne und Sterne“, Einführung in die Nukleare Astrophysik  
Johann Ambrosius Barth Verlag, 1993, ISBN 3-335-00319-5

- [39] Charles Kittel / Walter D. Knight / Malvin A. Ruderman / A. Carl Helmholtz / Burton J. Moyer: Berkeley Physik Kurs 1: „Mechanik“  
Vieweg Verlag, 1991, 5. Auflage, ISBN 3528483512
- [40] G. Wiesinger: Skriptum zur Verbundlehrveranstaltung „Thermodynamik und Statistik“, Teil Thermodynamik, 2. Auflage
- [41] Hrsg. Prof. Dr. habil. Rudolf Göbel: „Wissenspeicher Physik“  
Volk und Wissen Verlag GmbH, 1995, 1. Auflage, ISBN 3060217122
- [42] Dr. Bernd Ebert / Dr. Christian Hache / Dr. Wolfgang Krug / Prof. Dr. habil. Klaus Liebers / Dr. Rainer Reichwald / Dr. Wolfgang Scholz / Prof. Dr. habil. Hans-Joachim Wilke / Dr. Rolf Winter: „Physik“  
Sekundarstufe 2, Gesamtban  
Volk und Wissen Verlag GmbH, 1995, 1. Auflage, ISBN 3061211728

## 11 Bildquellen

---

- [aa] Titelblatt der ersten Ausgabe von „Amazing Stories“, 1926  
[http://www.noosphere.net/showcase/amazing\\_1926.htm](http://www.noosphere.net/showcase/amazing_1926.htm)
  
- [ab] Karte von Las Vegas, generiert aus  
<http://www.us.map24.com>
  
- [ac] Satellitenkarte einer Karte von Los Angeles nahe dem Los Angeles Airport  
<http://www.us.map24.com>
  
- [ad] Abbildung zu Rektaszension und Deklination  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:AstroDeklinationRektaszension.jpg>
  
- [ae] Querschnitt der Titanic  
<http://www.abratis.de/>
  
- [af] Wendekreis der Titanic  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Titanic\\_Wendekreis.gif](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Titanic_Wendekreis.gif)  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Porting\\_around.gif](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Porting_around.gif)

Alle anderen Bilder bzw. Skizzen wurden selbstständig händisch bzw. mit Programmen wie GIMP 2.0 oder MS Word® erstellt.

Alle Abbildungen mit der Beschriftung „Screenshot aus „[Film]““ wurden als Screenshots von der Original-DVD des jeweiligen Films erstellt.

## 12 Lebenslauf

---

**Name:** Mag. rer. nat. Stefan Krejci

**geboren:** am 21. Juni 1980 in Kirchdorf/Krems

**Eltern:** Gerlinde Krejci, VS-Lehrerin  
Karl Krejci, HS-Lehrer

**Ausbildung:** 1986 – 1990: Volksschule in Wartberg/Krems, Oberösterreich

1990 – 1998: Gymnasium, Stiftsgymnasium Schlierbach,  
4553 Schlierbach, Schlierbach 1

1998 – 2004 Studium Lehramt Physik und Lehramt Mathematik an der  
Technischen Universität Wien

1. Diplomprüfung am 29. Oktober 2001 mit Auszeichnung bestanden  
2. Diplomprüfung am 14. Jänner 2004 mit Auszeichnung bestanden

2004 – 2007 Doktoratsstudium der Technischen Physik an der  
Technischen Universität Wien

**berufliche Laufbahn:** 1. Dezember 2003 – 30. Juni 2004: Unterricht an der Schule  
„Kleine Sperlgasse 2c“, Kleine Sperlgasse 2C, 1020 Wien  
1. März 2004 – 30. Juni 2004: Unterricht an der Schule „Lise-  
Meitner Realgymnasium“, Schottenbastei 7-9, 1010 Wien

1. Juli 2004 – 30. Juni 2005: Zivildienst beim Arbeiter  
Samariter Bund Österreichs (Ausbildung zum  
Rettungssanitäter)

29. August 2005 – 28. August 2006: Unterrichtspraktikum an  
der Schule „Lise-Meitner Realgymnasium“;  
Unterrichtspraktikum mit ausgezeichnetem Erfolg  
abgeschlossen

ab 29. September 2005: Zusätzliche Stunden an der Schule  
„Lise-Meitner Realgymnasium“

seit Schuljahr 2006/2007: Vertragslehrer an der Schule „Lise-  
Meitner Realgymnasium“