

Das Uebersetzen von populaerwissenschaftlichen Ausstellungstexten : Am Beispiel der Ausstellung "Universum der Teilchen" (CERN)

BUCHMANN, Nadine Isabelle

Abstract

En 2013, l'auteur du présent mémoire a traduit en allemand les textes de l'exposition permanente, interactive et multimédia qui est présentée dans le centre des visiteurs du Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN). Pour ce travail de traduction, le texte source a été approché sous quatre points de vue : l'hypertexte, la pédagogie muséale, la vulgarisation scientifique et la terminologie. Après la présentation de quelques réflexions théoriques en rapport avec ces quatre perspectives, le mémoire décrit comment elles ont influencé la stratégie de traduction et détaille quels changements ont été nécessaires pour que le texte cible soit tout aussi lisible, compréhensible et stimulant pour les visiteurs germanophones que le texte de départ pour les visiteurs maîtrisant l'anglais. Les résultats de ces réflexions sont ensuite résumés sous une forme d'un guide à l'intention de traducteurs procédant à une traduction de textes d'expositions de vulgarisations scientifiques.

Reference

BUCHMANN, Nadine Isabelle. *Das Uebersetzen von populaerwissenschaftlichen Ausstellungstexten : Am Beispiel der Ausstellung "Universum der Teilchen" (CERN)*. Maîtrise : Univ. Genève, 2014

Available at:

<http://archive-ouverte.unige.ch/unige:40321>

Disclaimer: layout of this document may differ from the published version.



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE



Nadine Buchmann

**Das Übersetzen von populärwissenschaftlichen
Ausstellungstexten**

Am Beispiel der Ausstellung „Universum der Teilchen“ (CERN)

Directrice de mémoire: Gunhilt Perrin

Juré: Detlef Kotte

Jurée: Donatella Pulitano

*Mémoire présenté à la Faculté de traduction et d'interprétation (Département de traduction,
Unité d'allemand) pour l'obtention de la Maîtrise universitaire en traduction, mention
traduction spécialisée*

INHALTSVERZEICHNIS

0	Einleitung.....	5
1	Der Ausgangstext	7
1.1	Situierung der Ausstellung	7
1.2	Der Ausstellungstext: Thema und Inhalt des naturwissenschaftlichen Textes.....	8
1.2.1	<i>Zur Textsorte und thematischen Entfaltung.....</i>	<i>9</i>
1.3	Der Ausstellungstext als multimedialer Hypertext	16
1.3.1	<i>Linearität und Struktur</i>	<i>17</i>
1.3.2	<i>Multimediale Aspekte des Hypertextes</i>	<i>22</i>
2	Aspekte der Museumspädagogik.....	25
3	Wissenschaftliche Texte und populärwissenschaftliche Texte im Vergleich..	31
3.1	Merkmale von populärwissenschaftlichen Texten	31
3.2	Vergleich von wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Textausschnitten	34
4	Terminologische Aspekte	38
4.1	Deutsch als Wissenschaftssprache	38
4.1.1	<i>Lateinische versus germanische Sprachen</i>	<i>41</i>
4.2	Terminologiarbeit anhand des „Best-Practices“-Ordnern	43
4.2.1	<i>Argumente für die Terminologiarbeit</i>	<i>44</i>
4.2.2	<i>Termextraktion.....</i>	<i>48</i>
5	Übersetzungswissenschaftliche Aspekte	56
5.1	Bedeutung der Kommunikationssituation und Textfunktion.....	56
5.2	Wiederaufnahme der theoretischen Aspekte in Bezug auf die Übersetzungsstrategie.....	59
5.2.1	<i>Museumspädagogik und Übersetzungsstrategie</i>	<i>59</i>
5.2.2	<i>Populärwissenschaft und Übersetzungsstrategie</i>	<i>62</i>
5.2.3	<i>Hypertext und Übersetzungsstrategie.....</i>	<i>63</i>
5.2.4	<i>Terminologie und Übersetzungsstrategie</i>	<i>64</i>
5.2.5	<i>Formale Vorgaben und praktische Probleme</i>	<i>67</i>
5.3	Sprachliche Untersuchung: Komparative Stilistik	70
5.3.1	<i>Methode der komparativen Stilistik.....</i>	<i>70</i>
6	Zusammenfassung in Form eines Leitfadens	78
7	Schlusswort.....	81
8	Bibliographie	84
9	Anhang I: Ausgewertete Terminologie	87
10	Anhang II: Ausgangstext.....	97
11	Anhang III: Zieltext.....	119

ABSTRACT

Im Jahr 2013 wurde die interaktive und multimediale Dauerausstellung im Besucherzentrum des Centre européen de recherche nucléaire (CERN) von der Autorin der vorliegenden Masterarbeit auf Deutsch übersetzt. Im Verlauf der Übersetzungsarbeit stellt sich heraus, dass vier Perspektiven für die Erstellung des Zieltextes von besonderer Bedeutung waren: der Hypertext, die Museumspädagogik, die populärwissenschaftliche Wissensvermittlung und die Terminologie. Die vorliegende Masterarbeit versucht diesen Zusammenhängen auf den Grund zu gehen.

Der Ausstellungstext ist ein stark fragmentierter Hypertext. In diesem Zusammenhang werden Überlegungen zur Linearität und Multimedialität angestellt. Weiter wird im Kapitel zur Museumspädagogik die besondere Kommunikationssituation der Ausstellung besprochen und es werden sprachliche Merkmale abgeleitet, die verständliche und lesbare Ausstellungstexte auszeichnen. Im Kapitel zur populärwissenschaftlichen Wissensvermittlung werden Unterschiede zwischen populärwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Texten behandelt und schliesslich werden im Terminologiekapitel der Domänenverlust der deutschen Sprache in der Wissenschaft sowie die Themen der Verständlichkeit und Motiviertheit von Benennungen thematisiert.

Im zweiten Teil der Arbeit wird dargestellt, inwiefern sich die vier Perspektiven auf die Übersetzungsarbeit ausgewirkt haben, und es wird eine Übersetzungsstrategie formuliert, die erklärt, welche Änderungen bei der Übersetzung vorgenommen wurden, damit der Zieltext auch für deutschsprachige Besucher möglichst verständlich und anregend ist. Hierzu werden Beispiele aus dem Ausgangs- und Zieltext verglichen und kommentiert.

Die Überlegungen zu den vier Perspektiven und der Übersetzungsstrategie fliessen im letzten Kapitel in einem Leitfaden für die Übersetzung von populärwissenschaftlichen Ausstellungstexten zusammen.

0 Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit ist begründet auf der Übersetzung des etwa 18'000 Wörter umfassenden Begleittextes der Dauerausstellung „Universum der Teilchen“, die seit 2004 im „Globus der Wissenschaft und Innovation“ am „Centre européen de recherche nucléaire“ (CERN) untergebracht ist. Sie soll die Fragen, die sich mir während der Übersetzungsarbeit im Rahmen eines Praktikums auf textueller, terminologischer und übersetzungswissenschaftlicher Ebene stellten, vertiefen und theoretisch aufarbeiten. Die deutsche Übersetzung liegt also bereits vor und dient als Bewertungsgrundlage für die hier folgenden Überlegungen. Das Ziel der Arbeit ist die Beleuchtung der Übersetzungsarbeit aus verschiedenen Perspektiven. Diese verschiedenen Perspektiven fließen anschliessend in einem Leitfaden zusammen, aus dem hervorgehen soll, worauf bei der Übersetzung eines Ausstellungstextes mit naturwissenschaftlichem Thema geachtet werden muss.

In der vorliegenden Arbeit geht es zunächst darum, die Ausstellung und insbesondere den Originalausstellungstext auf die verschiedenen Aspekte zu untersuchen, die sich auf den Übersetzungsvorgang auswirkten. Im ersten, theoretischen Teil sollen sowohl das Umfeld als auch der Kontext, in denen der Ausgangstext sich befindet, beschrieben werden. Dieser dient dazu, einige Parameter herauszuarbeiten, welche ebenfalls Einfluss auf die Übersetzung des Ausstellungstextes hatten.

Es folgt eine kurze inhaltliche Beschreibung des Ausstellungstextes mit dem Ziel, eine Verständnishilfe für die anschliessende Beschreibung der Textsorte zu bieten. Die Besprechung der Textsortenkriterien sowie der thematischen Entfaltung geschieht vorbereitend auf das vertiefte Herausarbeiten von Unterschieden zwischen populärwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Texten.

Es werden Auszüge aus dem Ausstellungstext mit solchen, die zum gleichen Thema von Experten für Experten¹ geschrieben sind, verglichen. Die dabei beschriebenen Unterschiede sollen Aufschluss geben darüber, welche Strategien sich im Umgang mit populärwissenschaftlichen Themen bewähren.

¹ Aus Gründen der Leserfreundlichkeit wird die maskuline Form in dieser Arbeit generisch verwendet. Besucherinnen, Forscherinnen, Expertinnen und Wissenschaftlerinnen sind mitgemeint.

² Die andere, genannt „Microcosm“, befindet sich in einem Raum innerhalb des Campus und ist deutlich älter (1984) und räumlich ausgedehnter. Sie liegt auf Englisch, Französisch, Deutsch und

Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Art, in der Konzepte eingeführt werden, und im Gegenzug dazu, welche Ideen, Personen oder Gegenstände als der Allgemeinheit oder jedenfalls als dem CERN-Besucher bekannt vorausgesetzt werden. In diesem Zusammenhang wird auch erörtert, inwieweit der Text die Besucher adäquat bei ihrem zu erwartenden Wissensstand „abholt“.

Zu den textlinguistischen Grundlagen, die in diesem Teil näher betrachtet werden, gehört die Frage der Kohärenz des Textes. Dabei bietet es sich an, auf die Hypertext-Thematik einzugehen, um die Relevanz der multimedialen Textpräsentation für den Übersetzungsprozess darzulegen.

Im anschließenden Terminologiekapitel werden zuerst einige Überlegungen zum Umgang mit Deutsch als Wissenschaftssprache angestellt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Unterschied zwischen Englisch und Französisch einerseits (mit unhinterfragt etabliertem latein- oder griechischbasiertem Fachvokabular) und Deutsch. Dabei werden auch Anglizismen diskutiert, und es wird auf das Für und Wider der Übernahme von Fremdwörtern im Gegensatz zur Wortschöpfung oder Benennungsfindung in der Zielsprache eingegangen. In diesem Zusammenhang wird die für das Fachgebiet des Ausstellungstextes relevante Problematik des Domänenverlustes angesprochen. Dann werden einige Argumente für die Terminologiarbeit angeführt und auf den Ausstellungstext bezogen behandelt. Die Terminologieextraktion erfolgt in der Zielsprache der Ausstellung (Deutsch).

Dann werden alle Perspektiven, aus denen die Übersetzung betrachtet wurde, kurz wieder aufgegriffen und auf die Übersetzung bezogen. Es handelt sich dabei um die Textkohärenz im Hypertext, die Terminologie, die Museumsdidaktik und die Vulgarisierung von wissenschaftlichen Themen. In der anschließenden sprachlichen Untersuchung werden Übersetzungsbeispiele kommentiert.

Der Leitfaden, der in dieser Arbeit den Platz einer Zusammenfassung einnimmt und in dem alle gewonnenen Erkenntnisse in verschiedenen Rubriken in Form eines Fragenkataloges aufgeführt sind, kann von Übersetzern auf andere (populärwissenschaftliche) Ausstellungen angewendet werden.

Im Schlusswort werden die Fragen des Leitfadens für die Arbeit an der CERN-Übersetzung beantwortet.

1 Der Ausgangstext

1.1 Situierung der Ausstellung

Die Ausstellung im “Globus” ist eine von zwei permanenten Ausstellungen. Beide tragen der Einstellung des CERN Rechnung, die Forschungsarbeit so gut wie möglich einem breiten Publikum zugänglich zu machen.²

Allgemein herrscht international ein grosses und anhaltendes Interesse an der Forschungsarbeit des CERN, was die hohen Besucherzahlen belegen. Die Aufgabe der Ausstellungen ist es, diese Forschungsarbeit interessierten Laien zu erklären und auch deren praktischen Nutzen anschaulich zu machen. Dabei ist erwähnenswert, dass vor allem die Ausstellung im “Globus” durch ihre Gestaltung und Aufmachung darauf abzielt, die Besucher gleichsam “in höhere Sphären” zu heben. Der Raum in der Kugel liegt im Dunkeln und wird von sphärischen Klängen beschallt. Die im runden Raum verteilten Kugeln mit den auf Berührungsbildschirmen zugänglichen Texten geben der Ausstellung eine futuristische Note, welche der Vorstellung zuträglich ist, die sich die Besucher von der Arbeit am CERN machen, und wozu auch der Slogan “Accelerating Science/Accélérateur de science” passt, der auf dem blauen Dipol-Magneten ausserhalb des Globus als Motto zu lesen ist, und vor dem sich die Besuchergruppen gerne fotografieren lassen.

Insgesamt gesehen vermittelt die Ausstellung im “Globus” die Stimmung einer Raumkapsel oder eines Raumschiffes, in denen die Besucher, Forschern gleich, die Geräte bedienen müssen, um an die Informationen zu kommen und Fakten und Zusammenhänge zu erfahren, zu denen sie sonst im Alltag keinen Bezug haben.

² Die andere, genannt “Microcosm”, befindet sich in einem Raum innerhalb des Campus und ist deutlich älter (1984) und räumlich ausgedehnter. Sie liegt auf Englisch, Französisch, Deutsch und Italienisch vor, enthält insgesamt mehr Text und es werden Grundideen des CERN vermittelt. Kurz gesagt, dient die Ausstellung “Microcosm” dazu, den Daseinszweck des CERN und dessen Geschichte zu erklären. Im Gegensatz dazu widmet sich die Ausstellung “Universum der Teilchen” im “Globus” dem Daseinszweck des Teilchenbeschleunigers LHC. Tatsächlich endet der “Microcosm” mit dem Vorläufer des LHC, dem LEP.

Die Wanderausstellung, die ebenfalls in mehreren Sprachen vorliegt, geht gleichermassen vor, eine Art Kapsel zu schaffen, in der die Besucher sich auf die dargebotenen Inhalte einstellen. Vereinfacht gesagt ist sie aber thematisch wesentlich weniger „ortsgebunden“ und konkret. Sie thematisiert in erster Linie und auf spielerische Weise die verschiedenen Gruppen von Teilchen, aus denen die Materie besteht, und in geht in zweiter Linie darauf ein, wie die Arbeit am CERN damit befasst ist, den Ursprung des Universums zu erforschen.

Halbstündlich wird die Ausstellung ganz verdunkelt und es wird auf einer halbrunden Leinwand ein sechsminütiger Film gezeigt, dessen Animationseffekte (des Urknalls, der Ursuppe, der Teilchen) diese “kosmische” und abgehobene Dimension noch unterstreichen.

1.2 Der Ausstellungstext: Thema und Inhalt des naturwissenschaftlichen Textes

Die Ausstellung befindet sich im unteren Teil eines kugelförmigen Holzbaus, der so etwas wie ein Wahrzeichen des CERN ist (da die Experimente und Installationen ja hundert Meter unter der Erde verborgen sind).

Die Ausstellung ist folgendermassen aufgebaut: in einem kreisförmigen, im Halbdunkel gehaltenen Raum befinden sich verschiedene „Touchball“ genannte, mehr oder weniger kugelförmige Geräte, auf deren Bildschirmen die Besucher aus einem weitverzweigten Menu kurze Texte, Grafiken oder Animationen anwählen können.

Im ersten Touchball wird gezeigt, wo sich die Besucher in einer Raum- und Zeitskala befinden. Die Entstehung, Ausdehnung, Beschaffenheit und Grösse des Universums, unseres Sonnensystems, des Menschen und der Atome und Teilchen werden kurz beschrieben, mit der Schlussfolgerung, dass der Mensch sich etwa in der Mitte zwischen den grössten und den kleinsten Dimensionen befindet.

Der zweite Touchball beschäftigt sich mit grundlegenden Fragen der Physik und präsentiert sie in Form von “Geheimnissen”: das Geheimnis der „dunklen Materie“ und der „Antimaterie“, der Masse, der Raumdimensionen und -beschaffenheit. Dabei wird auch erwähnt, inwiefern Experimente am CERN darauf ausgerichtet sind, diese Rätsel zu lösen.

Im dritten Touchball werden die verschiedenen LHC-Experimente (ALICE, CMS, etc.) erwähnt und es wird gezeigt, wo diese sich entlang des Ringes des LHC befinden und welchen Teilbereich der Kernforschung sie abdecken. Somit erhalten Besucher einen Überblick über die physische Struktur des CERN sowie die Fertigung der für die Experimente benötigten Teilchen und den Umgang mit den anfallenden Daten.

Der vierte Touchball enthält nur sehr wenig Text und zeigt im Wesentlichen Animationen und Webcam-Filme der Installation der zwei grössten Detektoren des LHC, ATLAS und CMS mit jeweils einer beschreibenden Legende.

Der fünfte Touchball erklärt die Funktionsweise und die verschiedenen Komponenten der “Detektoren”. Diese sind Teil des LHC und befinden sich an den Stellen entlang

des Ringes, an denen die Teilchen kollidieren. Darüber hinaus wird erneut auf die Speicherung und Verarbeitung der dabei anfallenden Daten eingegangen.

Der sechste Touchball befasst sich genauer mit den Bestandteilen der Detektoren und deren Eigenschaften und beschreibt die Interaktionen derselben mit den Teilchen.

Der siebte Touchball sieht aus wie eine Weltkugel und es wird gezeigt, welche Länder mehr oder weniger stark an Experimenten oder an der Forschung am CERN beteiligt sind. Es wird darauf verwiesen, dass die umfangreiche Datenauswertung und -verarbeitung eine internationale Zusammenarbeit erfordert. Ebenfalls wird aufgelistet, welchen Anteil die Mitgliedstaaten am Budget haben. In diesem Touchball wird auch die administrative Struktur erläutert und verschiedene Personen und ihre Aufgaben werden vorgestellt. Es folgt ein geschichtlicher Abriss und eine Liste der an der Organisation beteiligten Universitäten und Forschungsinstitute weltweit.³

Im achten und letzten Touchball werden Anwendungen von Forschungsergebnissen in Bereichen wie Medizin, Informatik, oder Energiegewinnung beschrieben und die Personen, die an ihrer Entwicklung beteiligt waren, vorgestellt.

1.2.1 Zur Textsorte und thematischen Entfaltung

Im Folgenden soll der Ausgangstext aus textlinguistischer Sicht untersucht werden. Nach einer kurzen formalen Beschreibung des Ausstellungstextes wird der Begriff der Textsorte definiert und auf den Text bezogen. Daraus ergeben sich Überlegungen dazu, wie aus dem fragmentierten Text ein Ganzes entsteht und inwiefern die Rezipienten, also die Besucher, an diesem Vorgang beteiligt sind. In diesem Zusammenhang werden anschliessend die Begriffe des Themas und der thematischen Entfaltung angeführt und erläutert.

Formal gesehen befindet sich das Textvolumen in zahlreiche Abschnitte aufgespalten in einem Content Management System (CMS, einer Art Datenbank, nicht zu verwechseln mit dem CERN-Experiment „Compact Muon Solenoid“, mit dem es das Akronym gemeinsam hat). Die Touchballs können Kapiteln gleichgesetzt werden, innerhalb deren die einzelnen kurzen Abschnitte mit ihren Titeln von den Besuchern in der Ausstellung abgerufen werden. Vor der eigentlichen Übersetzungsarbeit musste der Text aus den Abschnitten zuerst zusammengestellt und in eine logische Abfolge

³ Dieser Touchball ist zwar am umfangreichsten, jedoch gleichzeitig am ärmsten an Terminologie, da der Text meist allgemeinsprachlich formuliert ist und sich auf Allgemeinwissen bezieht.

gebracht werden. Das Textvolumen liegt in der Datenbank in einer Art Baumstruktur vor (mit dem Touchball selbst als Stamm, verschiedenen Titeln als Ästen und darin verschiedenen Abschnitten als Zweigen) vor. Dabei ist es den Besuchern freigestellt, welche Informationen sie wann anwählen. Oft sind verschiedene Abschnitte sozusagen “gleichwertig”, wenn zum Beispiel die Eigenschaften der verschiedenen Experimente beschrieben werden. So zum Beispiel im Touchball 6, in dem die Bestandteile der verschiedenen Detektoren aufgeführt werden. Die Besucher können sich, wenn sie dies möchten, genauer mit den Unterschieden zwischen den einzelnen Detektoren befassen, sie können aber auch nur die Bestandteile (Spurerkennung, Kalorimeter, etc.) eines einzelnen Detektors studieren und wissen dann mehr oder weniger auch über die anderen Bescheid, d. h. sie wissen ungefähr, wie ein Detektor aufgebaut ist und wie er funktioniert.⁴

Was die Ausstellung inhaltlich zusammenhält, ist das Thema (wie oben erwähnt der Daseinszweck des Teilchenbeschleunigers LHC). Es ist anzunehmen, dass die Besucher, wenn sie sich zum CERN oder in die Ausstellung begeben, schon eigene (subjektive) Vorstellungen zu diesem Thema haben. Dies bedeutet, die Besucher nehmen die Ausstellung als sinnvolles Ganzes an (die Ausstellung als Kommunikat und den Text als Text), da sie die Erwartung haben, an diesem Ort, an den sie eigens gereist sind, etwas Sinnvolles über dort stattfindende Vorgänge zu erfahren.

Zum Textsortenbegriff soll die Definition von Brinker herangezogen werden:

Textsorten sind konventionell geltende Muster für komplexe sprachliche Handlungen und lassen sich als jeweils typische Verbindungen von kontextuellen (situativen), kommunikativ-funktionalen und strukturellen (grammatischen und thematischen) Merkmalen beschreiben. Sie haben sich in der Sprachgemeinschaft historisch entwickelt und gehören zum Alltagswissen der Sprachteilhaber; sie besitzen zwar eine normierende Wirkung, erleichtern aber zugleich den kommunikativen Umgang, indem sie den Kommunizierenden mehr oder weniger feste Orientierungen für die Produktion und Rezeption von Texten geben. (Brinker, 2010:125)

⁴ Vergleiche zu diesem Thema Kapitel 1.3 zum Thema Hypertext.

Als ein Basiskriterium für die Differenzierung von Textsorten betrachtet Brinker die Textfunktion. Mittels der Textfunktion unterscheidet er zwischen Texten, die eine informierende, appellierende, deklarative oder verpflichtende Funktion haben oder zur Kontaktaufnahme dienen (Brinker, 2010:126). Der Ausstellungstext ist in dieser Unterteilung den Informationstexten zuzuordnen: Unter den gegebenen Beispielen (Nachricht, Bericht, Sachbuch, Rezension) kommt er am ehesten einem Sachbuch gleich (ebenda:126), obwohl der Ausstellungstext auch belehrende Elemente aufweist und man daher sagen könnte, dass es sich um eine eigene Kategorie handelt.

Nach dem Schema von Göpferich, „Schriftliche Textsorten der Technik“ (Göpferich, 1998:90), lässt sich der Ausstellungstext den didaktisch-instruktiven Texten zuordnen: „Didaktisch-instruktive Texte haben die kommunikative Funktion, den aktuellen Wissensstand zur intellektuellen Bereicherung oder zum Zwecke der praktischen Anwendung zu verbreiten“ (Göpferich, 1998:91).

Göpferich unterteilt die didaktisch-instruktiven Texte weiter in solche, die praxisorientiert und bidirektional sind (also z. B. Bedienungsanleitungen), und solche, die unidirektional sind und theoretisches Wissen vermitteln, nämlich Sachbücher und explizit auch populärwissenschaftliche Texte. Letztere gehören, wie wir im Kapitel 2 zur Museumsdidaktik in vertiefter Form sehen werden, zu den „Interesse weckenden Texten“, da sie anders als zum Beispiel Lehrbücher nicht daraufhin angelegt sind, dass die Rezipienten sich das Gelesene möglichst einfach merken können (zum Beispiel durch Merksätze).

Im Folgenden zur Veranschaulichung das Schema von Göpferich:

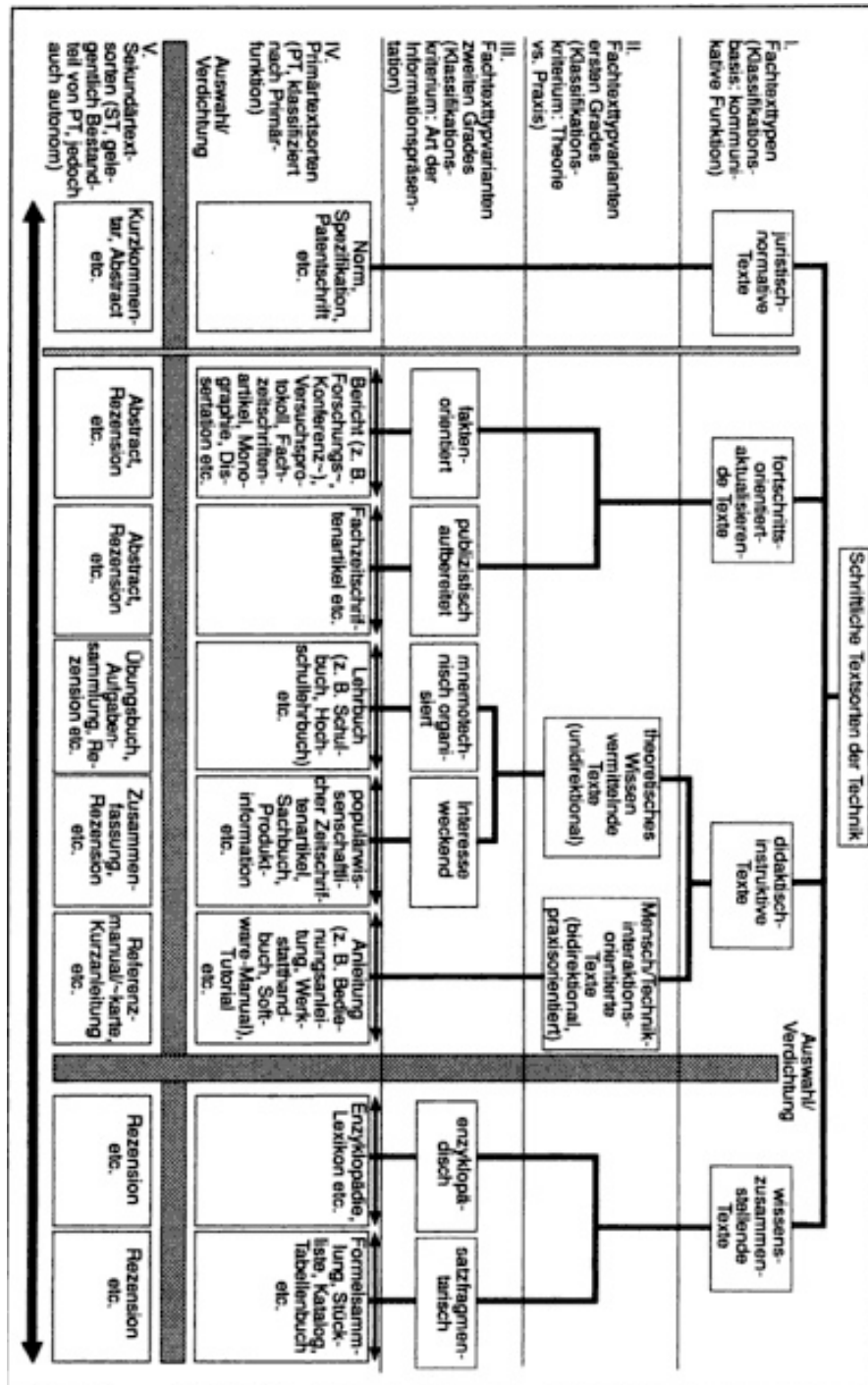


Abb. 1. Schriftliche Textsorten der Technik, (Göpferich, 1998:90)

Im Folgenden werden nun einige Überlegungen zu Textstruktur und Thema angestellt.

Zur Textstruktur ist zu sagen, dass „situative Faktoren (die Kommunikationssituation) ihre Ausprägung wesentlich beeinflussen“ (Brinker, 2010:127). Formell handelt es sich beim Ausstellungstext um einen geschriebenen Text, mit dem der Emittent monologisch und zwar zeitlich und räumlich getrennt mit dem Rezipienten kommuniziert (ebenda:127). Mit dem Begriff des Handlungsbereiches rückt Brinker „die Art des Rollenverhältnisses zwischen den Kommunikationspartnern in den Vordergrund“ (ebenda:129). Es wird zwischen dem privaten, dem öffentlichen und dem offiziellen Bereich unterschieden (ebenda:129).⁵ Hier liegt nahe, dass die Ausstellung als ein Teil der Öffentlichkeitsarbeit des CERN dem öffentlichen Bereich zuzuschreiben ist. Des Weiteren tritt die Institution auch in ihrer offiziellen Rolle auf. Dazu sagt Brinker: „Die bestehenden Regeln des Verhaltens und Geltens haben im offiziellen Bereich einen bei weitem höheren Grad an Verbindlichkeit als im privaten Bereich“ (ebenda:129). Dies lässt sich folgendermassen auf den Ausstellungstext anwenden: Die Besucher haben an die Institution CERN, die sich in ihrer offiziellen Rolle präsentiert, gewisse Ansprüche, was die im Text gemachten Aussagen betrifft. Diese sind für die Besucher sicherlich glaubwürdiger, als wenn eine Person im privaten Handlungsbereich Aussagen über das CERN und dessen Forschungsarbeit oder die physikalischen Grundsätze, welche diese Forschungsarbeit ermöglichen, macht.

Als letztes ist noch das Thema des Textes und die Art der thematischen Entfaltung zu erwähnen. Brinker erweitert den Terminus „Thema“ aus der Alltagssprachlichen Verwendung als „kommunikativen Hauptgegenstand“ und definiert es als „Kern des Textinhaltes, wobei der Terminus „Textinhalt“ den auf einen oder mehrere Gegenstände (d. h. Personen, Sachverhalte, Ereignisse, Handlungen, Vorstellungen usw.) bezogenen Gedankengang eines Textes bezeichnet“ (Brinker, 2010:49). Es „ist entweder in einem bestimmten Textsegment (...) realisiert“ oder muss „aus dem Textinhalt [abstrahiert werden]“, wobei das Textthema dann „die grösstmögliche Kurzfassung des Textinhaltes“ darstellt (ebenda:49). Auf den Ausstellungstext

⁵ Brinker definiert „privat“ als den Bereich, in dem „Emittent und Rezipient [...] als Privatpersonen miteinander kommunizieren“ (Brinker, 2010:129). Im offiziellen Bereich sind es zum Beispiel Institutionen oder Behörden. Der öffentliche Bereich wiederum „kann sich mit dem offiziellen Bereich überschneiden“ (Brinker, 2010:129). Er wird von Brinker vor allem auf Massenmedien bezogen. (Brinker, 2010:129)

bezogen heisst das: Die Ausstellung behandelt das CERN als Institution (Welt des CERN, Verwaltung), die dort stattfindende Forschungsarbeit (die Experimente, die Maschinen), die physikalischen Gesetze, welche dieser Arbeit zugrunde liegen („Universum der Teilchen“), die Menschen, welche diese Arbeit verrichten (zum Beispiel die Nobelpreisträger), und praktische Anwendungen dieser Arbeit im Alltag („Spin-Offs“: Digitalkamera, Internet, MRI). Diese Themen haben „eine unterschiedliche thematische Relevanz“, was zu einer „Themenhierarchie“ führt, wobei als „Hauptthema des Textes das Thema [betrachtet wird], aus dem sich die anderen Themen des Textes am überzeugendsten [...] « ableiten » lassen“ (Brinker, 2010:50-51). Als Hauptthema der Ausstellung soll also das CERN und die dort stattfindende Arbeit gelten. Die Nebenthemen sind sozusagen nötig, um das Was und Wie und Wo und Warum des Hauptthemas zu behandeln. Tatsächlich gewährleistet diese Themenhierarchie den inhaltlichen Zusammenhalt der Textfragmente. Wie bereits erwähnt, haben Besucher (auch) an die textuelle Seite der Ausstellung die Erwartung, dort etwas Sinnvolles, Ganzes zu finden. Die im Vergleich zu einem Fliesstext fehlenden Verbindungen muss der Besucher aus seinem Vorwissen ergänzen. Auch dadurch wird aus den Fragmenten ein Textganzes.⁶

Die Themenentfaltung wiederum bezeichnet die „gedankliche Ausführung des Themas“ und wird „wesentlich durch kommunikative und situative Faktoren (wie Kommunikationsintention und Kommunikationszweck, Art der Partnerbeziehung, der Partnereinschätzung usw.) gesteuert“ (Brinker, 2010:54). Bei der Analyse der thematischen Entfaltung ergeben sich bestimmte Grundformen, nämlich die deskriptive, die narrative, die explikative und die argumentative, wobei die deskriptive Themenentfaltung sich am schlüssigsten auf den Ausstellungstext beziehen lässt. Dazu findet sich bei Brinker die folgende Definition:

Bei der deskriptiven Themenentfaltung wird ein Thema in seinen Komponenten (Teilthemen) dargestellt und in Raum und Zeit eingeordnet. Die wichtigsten thematischen

⁶ Auf diese Weise wird diese Fragmentierung eher als Hürde für die Besucher dargestellt, die es mithilfe des Vorwissens zu überwinden gilt. Wie wir in den folgenden Kapiteln zum Thema Hypertext und Museumspädagogik noch sehen werden, hat diese Art der Aufmachung aber auch Vorteile. Die Gliederung in Abschnitte mit Titeln und dazugehörigen Bildern spielt eine grosse Rolle für die unterhaltsame Rezeption und das Vorwissen kann die Besucher auf ihrem Weg durch die Ausstellung bestätigen. Man könnte sich den Ausstellungstext zum Beispiel schwierig als Heft oder Buch vorstellen, ohne dass noch umfangreiche Einführungen, Erklärungen, in denen die Installationen im Raum situiert werden, oder zuallermindest Illustrationen dazukämen.

*Kategorien sind also Spezifizierung (Aufgliederung) und
Situierung (Einordnung). (Brinker, 2010:56-57)*

Das Thema, welches deskriptiv entfaltet wird, kann entweder ein „einmaliger Vorgang“ oder ein „historisches Ereignis“ (ebenda:57) sein (vor allem in den Touchballs, welche verschiedene Entdeckungen und Meilensteine der Forschung beschreiben) oder ein „als regelhaft (generalisierbar, wiederholbar) dargestellte[r] Vorgang“ (ebenda:58), was auf die Beschreibungen der physikalischen Gesetzmässigkeiten und auch der Vorgänge in den Beschleunigern zutrifft. Nachfolgend zwei Zieltextbeispiele aus dem achten Touchball („Spin-Offs“) und eines aus dem dritten Touchball („Interactive Sphere“) für ein historisches Ereignis:

Der Elektronenspin wurde erstmals 1927 von Paul Dirac beschrieben. Er vereinigte die Quantenphysik und die spezielle Relativitätstheorie.

Die Übertragung von Signalen mit optischen (oder Glas-) Fasern über größere Entfernungen wurde erstmals 1966 von Charles Kao demonstriert. Er hatte entdeckt, dass Verunreinigungen im Glas beseitigt werden mussten, um eine genügende Reichweite für die Lichtübertragung zu erreichen.

Im Jahr 2002 gelang es im ATHENA-Experiment erstmals, ausgehend von einem Antiproton und einem Positron, Millionen von Antiwasserstoff-Atomen mit geringer kinetischer Energie zu erzeugen.

Für diese Variante der deskriptiven Themenentfaltung ist typisch, dass in den obigen Textbeispielen Antworten auf die Fragen *Wer?* macht *Was?* *Wo?* *Wie?* gegeben werden. Da es sich um Ergebnisse und Errungenschaften handelt, liegt nahe, dass das Präteritum verwendet wird (Brinker, 2010:57).

Weiter ein Beispiel aus dem fünften Touchball („Detector Engineering“) für einen regelhaften Vorgang:

Wenn geladene Teilchen durch (gasförmige oder feste) Materie gehen, setzen sie Elektronen frei. Durch elektrische Felder können die Elektronen auf Sensoren gesammelt werden. Die Position des Sensors, der eine Ladung

gemessen hat, gibt Aufschluss über einen Punkt der Teilchenspur.

Bei dieser Variante der deskriptiven Themenentfaltung wird der „Gesamtvorgang (nämlich die Spurerkennung) „in seine wesentlichen Teilvorgänge“ gegliedert (Brinker, 2010:58).

Drittens kann mittels einer deskriptiven Themenentfaltung „ein Lebewesen oder [ein] Gegenstand“ beschrieben werden (ebenda:59). In der Ausstellung handelt es sich um Gegenstände, nämlich die grossen oder kleineren Maschinen für die Forschungsarbeit, wie in den folgenden Textbeispielen aus dem sechsten Touchball („Detector Panorama“) deutlich wird:

Der innere Detektor von ATLAS besteht aus Millionen von Sensoren, die Teilchenspuren mit einer Genauigkeit von 5 Mikrometern erfassen.

Die Stützkonstruktion des ATLAS-Detektors wiegt 1000 Tonnen. Der Betonboden unter dem Detektor ist eine 5m dicke stahlverstärkte Platte. Die Kaverne ist 53 m lang, 35 m hoch und 30 m breit. Der Boden befindet sich 92 Meter unter der Erde.

Typisch für diese Variante der deskriptiven Themenentfaltung ist dabei die Beschreibung der einzelnen Teile (innerer Detektor, Sensoren) des Ganzen (ATLAS) sowie dessen wesentlicher Merkmale (Grösse, Gewicht, etc.) (Brinker, 2010:59).

1.3 Der Ausstellungstext als multimedialer Hypertext

Der Ausstellungstext kann nach der Definition von Müller-Hagedorn (2002) zur Textsorte Hypertext gezählt werden. Dies soll im Folgenden diskutiert werden. Der Fokus liegt dabei auf der Rolle des Verfassers bei der Konzeption des Ausstellungstextes, der Linearität der Struktur, der Gesamtkohärenz des Textganzen und der Kohärenz zwischen den einzelnen Textabschnitten.

In einem weiteren Teil wird dann die Rolle der zum Text gehörenden Medien besprochen. Neben der Erörterung des Begriffes „multimedial“ soll auf die Frage eingegangen werden, warum es vorteilhaft erscheint, den Ausstellungstext als multimedialen Hypertext zu gestalten. Besondere Beachtung gilt hierbei dem „multimedialen“ Aspekt, das heisst den Bildern zu den Textabschnitten, sowie der Rezeption durch die Besucher.

1.3.1 Linearität und Struktur

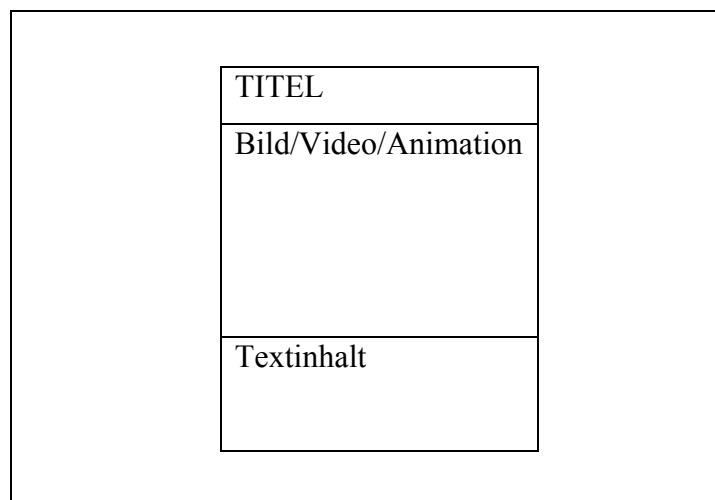
Der gedruckte Text in einem Buch unterscheidet sich in verschiedenen Aspekten vom Hypertext. Der Hypertext soll gegenüber der Linearität, das heisst der eindeutigen Lesereihenfolge und -richtung eines gedruckten Textes eine Befreiung darstellen.⁷

Die Definition eines Hypertextes von Müller-Hagedorn lautet wie folgt:

Das wesentliche Charakteristikum der Hypertext-Struktur ist die Zerlegung des [...] ‚Textganzen‘ in kleine Abschnitte bzw. Dateien (engl. ‚nodes‘, dt. ‚Knoten‘) die über Verknüpfungen (engl. ‚links‘) zu einem Gesamttext verbunden werden. Ein Hypertext besteht also aus Textstücken, die über die Verknüpfungen aufgerufen und dann erst gelesen werden können [...] (Müller-Hagedorn, 2002:9).

Der Hypertext liegt also als eine Sammlung mehrerer mehrfach miteinander verbundener Informationseinheiten vor [...]. (Müller-Hagedorn, 2002:10)

Das Textganze des Ausstellungstextes wird tatsächlich in kleine Abschnitte zerlegt, die analog zur von Müller-Hagedorn verwendeten Terminologie als Knoten bezeichnet werden können. Diese Knoten haben in der Ausstellung typischerweise folgendes Format (wobei die TITEL jeweils den Verknüpfungen entsprechen):



Die Verknüpfungsstruktur der Ausstellung unterscheidet sich jedoch von der hier gegebenen Definition. Die Knoten sind nicht mehrfach miteinander verbunden,

⁷ Müller-Hagedorn räumt jedoch ein, dass Zweifel bestehen, inwiefern die Produktion und vor allem auch Rezeption von Texten je wirklich linear ist.

sondern sie sind durch ihre Verknüpfungsstruktur in eine Hierarchie, eine Art Baumstruktur, eingeordnet. Somit ergibt sich auch eine gewisse Chronologie ihrer Rezeption, zum Beispiel weil die Titel im Menu von oben nach unten angeordnet sind. Siehe zur Veranschaulichung die folgende Grafik:

In der folgenden Grafik soll der Versuch gemacht werden, anhand des Touchballs 2 (Touchball Theory Mysteries) die Hierarchie der Knoten und ihre (unidirektionale oder bidirektionale) Verknüpfung (Müller-Hagedorn, 2002:29) grafisch darzustellen:

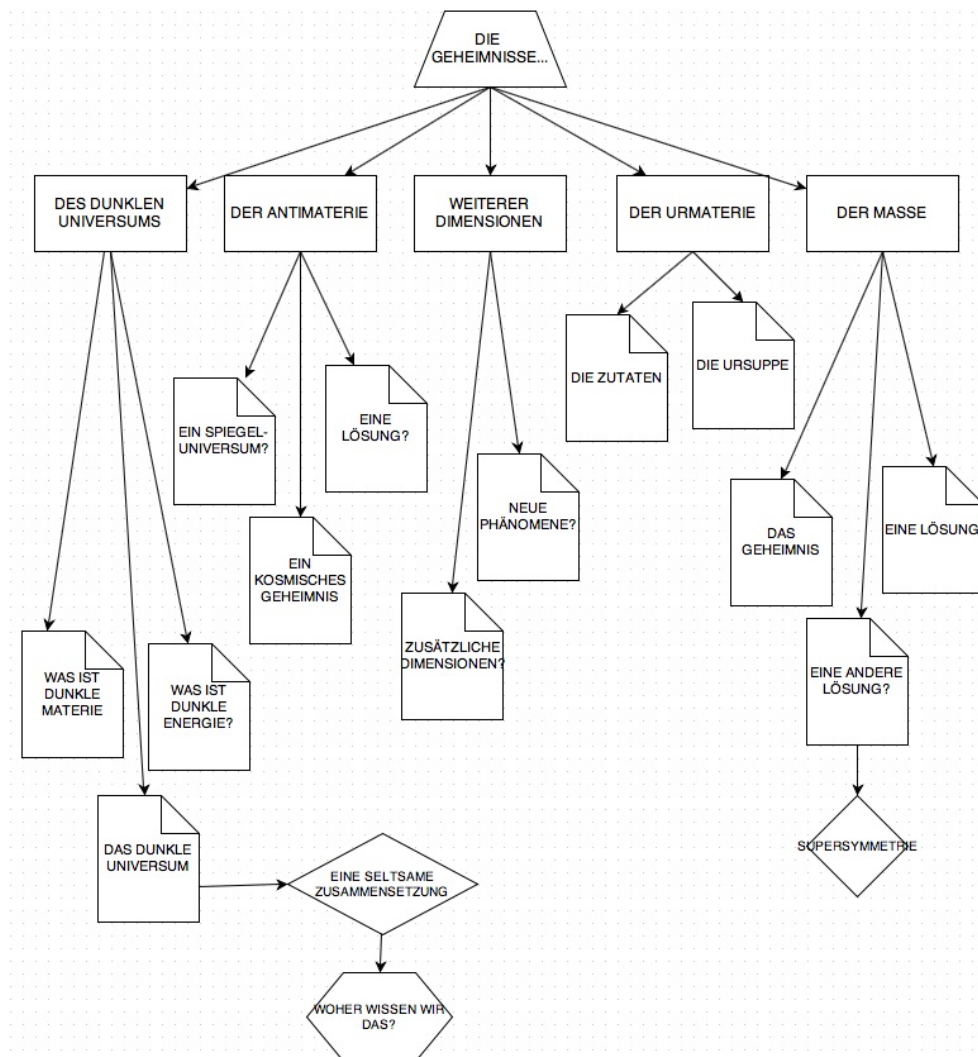


Abb. 2 Die Verknüpfungsstruktur des Touchballs 2

Die in der Grafik mit dem Rechteck versehenen Titel werden gleichzeitig angezeigt, das heisst, die Besucher haben immer wieder die Freiheit, aus mehreren „gleichrangigen“ Titeln auszuwählen (horizontale Linie). Ebenso verhält es sich mit den untergeordneten Titeln (in der Grafik dargestellt mit dem geknickten Blatt, die dritte Ebene von oben). Auf dieser Stufe ist die Chronologie eindeutiger, das heisst, die Besucher schliessen aus dem Titel, dass sie zuerst das Geheimnis und dann die Lösung, dann die andere Lösung lesen sollten. Die eindeutigste Hierarchie besteht jedoch in der Vertikalen. Die Besucher müssen auf die nächsthöhere Stufe zurückgehen, um erneut eine Wahlmöglichkeit zwischen den Rechtecken zu haben.

Darin unterscheidet sich der Ausstellungstext von Wikipedia als dem vielleicht umfangreichsten Hypertext, der den Rezipienten eine ungleich grössere Freiheit lässt: Die Verknüpfungen sind wesentlich zahlreicher und treten im Unterschied zur Ausstellung im eigentlichen Textkörper auf und nicht in den Titeln.

Bei der Ausstellung wurde also bewusst entschieden, den Besuchern nicht die ganze Bandbreite an Wissen zum Themenbereich Teilchenphysik zugänglich zu machen. (Bei Wikipedia stehen ja auch anwählbare Einzelbegriffe, die dann in einem weiteren Knoten zum Beispiel definiert oder erläutert werden, zur Verfügung.) Bei der Verwendung von Wikipedia läuft man ja oft Gefahr, durch stetiges Klicken vom Hundertsten ins Tausendste zu gelangen und darüber zu vergessen, was die ursprüngliche Suchabsicht eigentlich war. Eine Rezeption, bei der den Besuchern an jedem beliebigen Punkt weniger Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen und die Struktur so klarer hervortritt, hilft zu verhindern, dass diese sich im Material verlieren und so vielleicht die Ausstellung verwirrter verlassen, als sie sie betreten haben.

Die Besucher haben am Rand des Bildschirmes ihres jeweiligen Touchballs meist auf der einen Seite eine Liste mit hierarchisch gleichgestellten verknüpften Wahlmöglichkeiten und auf der anderen Seite die verbliebenen hierarchisch höhergestellten Wahlmöglichkeiten. Zwar wird also nicht der gesamte Hypertext oder die Gesamtstruktur des jeweiligen Touchballs visualisiert, die Besucher erhalten aber dennoch eine gewisse Übersicht, „auf deren Grundlagen dann zum Beispiel auch die Suche nach einer bestimmten Information beschleunigt werden kann“ (Müller-Hagedorn, 2002:45).

Der Verfasser leistet also durch diese Gliederung eine Vorarbeit.⁸ Bereits durch die im physischen Raum stattfindende Gliederung in Touchballs wurde sichergestellt, dass die Besucher von jedem der präsentierten Nebenthemen etwas mitnehmen (oder das Nebenthema schon nur als solches erkennen). Nicht nur durch die räumliche Anordnung der Touchballs (und die daraus folgende Tatsache, dass man nicht „per

⁸ Müller-Hagedorn sagt in dieser Hinsicht: „Generell lässt sich sagen, dass die Hauptaufgabe des Autors eines Hypertextes darin besteht, eine der Aussageabsicht adäquate Anordnungsstruktur für die Texteinheiten zu finden, welche entweder dem Material bereits zugrunde liegt oder explizit implementiert werden muss. Entsprechend diesem ‚Globalkonzept‘ des Hypertextes müssen die Knoten so gestaltet werden, dass eine sinnvolle Rezeption durch den Leser möglich wird. In dieser Struktur bildet der Autor (ähnlich dem eines gedruckten Textes) seinen Standpunkt oder seine Wissensstruktur ab“ (Müller-Hagedorn, 2004:11).

Der „Gesamtbaum“ der Ausstellung lässt sich folgendermassen in Worte fassen: Thema – Gliederung in 8 Touchballs – Eingrenzung des in jedem einzelnen Touchball präsentierten Themas – Welche Aspekte gehören zu diesem Thema? – Was ist zu jedem dieser Aspekte zu sagen? – Textknoten.

Klick“, sondern nur „per pedes“ von einem zum anderen gelangen kann), sondern auch innerhalb der einzelnen Touchballs wurde auf die Linearität der Rezeption des Textmaterials Einfluss genommen. Man kann also sagen, dass der Text nicht ganz so linear ist, wie ein Text in einem Buch, aber auch nicht ganz so frei wie ein Hypertext es theoretisch sein könnte.

Ein weiteres wichtiges Thema für den Hypertextgedanken ist die Kohärenz, von Baker definiert als „a network of surface relations which organize and create a text: [...] conceptual relations which underlie the surface text“ (Baker, 2011:231). Storrer spricht von der „globalen Kohärenz“ und bezeichnet damit

den Zusammenhalt von Textkonstituenten, der durch eine übergreifende thematische Gesamtvorstellung und durch die Funktion des Textes in einem grösseren Kommunikationszusammenhang gestiftet wird (Storrer, 2004:4).

So gesehen ergibt sich die Gesamtkohärenz durch die Summe der Knoten und das gemeinsame Thema (siehe zum Begriff des Themas auch Kapitel 1.2.1). Auch die Titel der einzelnen Knoten tragen zur Gesamtkohärenz bei. Sie drücken das Thema aus und die Besucher möchten im dazugehörigen Textabschnitt eine Antwort auf die implizit im Titel gestellte Frage suchen (Müller-Hagedorn, 2002:26). Um ein Beispiel aus dem Touchball 1 (Touchball Theory Basics) zu wählen: ein Titel, er wäre in der Grafik auf der Stufe des Blattes mit dem Knick, lautet „Die Sonne“. Die Frage, die sich die Besucher an dieser Stelle ihrer Rezeption stellen werden, lautet: „Was ist mit der Sonne? Wie ist sie relevant für das CERN-Thema?“ Um dann den Titel anzuwählen und eine Antwort auf ihre Frage zu finden.

Die Kohärenz wird laut Storrer durch den Verfasser geplant und durch die Besucher gebildet:

Sinnvoll ist auch das Differenzieren zwischen der Kohärenzplanung beim Produzieren von Hypertexten auf der einen Seite und der Kohärenzbildung bei der Rezeption von Hypertexten auf der anderen Seite. (Storrer, 2004:15)

Storrer unterscheidet zwischen traditionellen Textformen und dem Hypertext folgendermassen: „[Hypertexte] sind nicht monologisch, sondern auf die Interaktion zwischen Nutzern und Hypertextsystem hin konzipiert“ (Storrer, 2004:16). Die

Besucher „bilden“ die Kohärenz des Textes auf ihrer Seite, indem sie mit den angebotenen Inhalten interagieren, also durch Tippen auf den Bildschirm.

Die (mikrostrukturelle) textabschnittübergreifende Kohäsion, von Baker definiert als „the network of lexical, grammatical and other relations which provide links between various parts of the text“ (Baker, 2011:190) und „the network of surface relations which link words and expressions to other words and expressions in a text“ (ebenda:231), fällt beim Ausstellungstext eigentlich weg.⁹ Durch die oben erwähnte strukturierende Vorarbeit des Verfassers ist der Fragmentierungsgrad des Ausstellungstextes ziemlich hoch; keiner der Abschnitte ist länger als zwei oder drei Sätze (was auch in der Darstellungsform, d. h. der Grösse der Bildschirme begründet liegt). Im Textganzen der Ausstellung entsteht durch die Formatierung der Knoten in Titel/Bild/Textabschnitt eine Struktur, in der jeder Knoten sozusagen „selbstgenügsam“ ist und „auf der Ebene seiner Mikrostruktur nicht auf andere Texteinheiten [verweist]“ (Müller-Hagedorn, 2002:23). Diese Selbstgenügsamkeit wird auch dadurch gegeben, dass jeder Knoten eigentlich einen Einzelaspekt des Gesamtthemas (oder eines Nebenthemas) präsentiert. Eine Verbindung zwischen Knoten durch „reference, substitution, ellipsis, conjunction and lexical cohesion“¹⁰ (Baker, 2011:190) ist praktisch ausgeschlossen, da „durch unterschiedliche Verknüpfungsstrukturen verschiedene Reihenfolgen der Teiltex te erzeugt werden können“ (Müller-Hagedorn, 2002:24).

Die Ausstellung hat neben der Wissensvermittlung auch eine repräsentative Funktion und die „neuen Darstellungsmöglichkeiten“ (Müller-Hagedorn, 2002:18), die der Hypertext zur Verfügung stellt, bieten sich dafür an, so dass ein Teil der Entscheidung, diese Kommunikationsform für die Ausstellung zu wählen, sicher auch darin begründet liegt.

⁹ Damit ist wie gesagt die textabschnittübergreifende Kohäsion gemeint. Innerhalb eines Knotens gelten auch von Satz zu Satz die gleichen Kohäsionsregeln wie bei einem nicht-Hypertext. (Siehe Kapitel 5.3.1.4 für Beispiele.) Müller-Hagedorn merkt hierzu an, dass die Mikrostruktur eines Hypertextes (z. B. der Satzbau) sich nicht von der eines herkömmlichen Textganzen unterscheidet“ (Müller-Hagedorn, 2002:20).

¹⁰ „Reference“ bezeichnet die Wiederaufnahme z. B. durch „dies“ oder „er/sie/es“. Mit „substitution“ ist gemeint, dass ein Element des Satzes durch ein anderes ersetzt wird. Bakers Beispiel ist „You think Joan already *knows*? – I think everybody *does*. und lässt sich im Deutschen so nicht anwenden., aber die Reaktion auf die Aussage „Ich mag Schokolade“ mit „Ich auch“ ist eine Substitution. „Conjunction“ meint Bezüge durch Konjunktionen (z. B. kausale, temporale etc.) und die lexikalische Kohäsion wird z. B. durch die Verwendung von Synonymen oder Wiederholungen bewerkstelligt (Baker, 2011:190-210).

1.3.2 Multimediale Aspekte des Hypertextes

Wie wir gesehen haben, wird jeder Knoten von einem Bild, Video oder einer Animation begleitet. Diese Kommunikationsmittel unterstützen den Rezeptionsprozess, indem sie die Wissensvermittlung durch den Text ergänzen. Dies soll im Folgenden diskutiert werden.

Unter dem Begriff „Multimedia“ stellen wir uns im Allgemeinen etwas Buntes und Bewegtes vor. Wie Müller-Hagedorn ausführt, „scheint „keine Einigkeit darüber vorzuherrschen, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, um einem Produkt, einer Äusserung oder einer Darstellungsform die Bezeichnung ‚multimedial‘ zuzugestehen“ (Müller-Hagedorn, 2004:55). An dieser Stelle also eine Definition des Substantives „Multimedia“:

*„das Zusammenwirken, die Anwendung von verschiedenen Medien (Texten, Bildern, Computeranimationen, -grafiken, Musik, Ton) [mithilfe von Computern]“
(<http://www.duden.de/rechtschreibung/Multimedia>)*

Die Ausstellung kann also als multimedial gelten, da sie aus unterschiedlichen Medien zusammengesetzt ist. Zur Erinnerung: Folgende Medien sind insgesamt in der Ausstellung vertreten: die Texte in den Touchballs, dazwischen Bilder, Videos und Animationen ohne Ton, „kosmische“ Hintergrundmusik und alle dreissig Minuten ein Film mit Kommentar.¹¹ Diesen verschiedenen Medien kommen unterschiedliche Funktionen in der Wissensvermittlung zu.¹² Die effektivste, da differenzierteste Form der Wissensvermittlung sind die Texte, gefolgt von den Bildern, Videos und Animationen.¹³ Die Musik vermittelt lediglich die Atmosphäre und stimmt die Besucher darauf ein, sich auf die dargebotenen Inhalte einzulassen.

Bei den Bildern kann grob zwischen folgenden Kategorien unterschieden werden: Es gibt immer wieder Bilder, die als Platzhalter bezeichnet werden können, die keine weiteren Informationen liefern als die vom Text gegebenen. Sie sollen diesen

¹¹ Der Film wird abwechselungsweise in englischer und französischer Sprache gezeigt. Eine deutsche Version existiert, es wäre aber problematisch, die Ausstellung ein drittes Mal pro Stunde zu unterbrechen. Die Idee ist, in Zukunft möglicherweise Kopfhörer zu verwenden, mit denen die Besucher die Sprache auswählen können. Da dies aber noch nicht der Fall ist, wird der Film in dieser Arbeit nicht mit einbezogen.

¹² Müller-Hagedorn nennt die verschiedenen Medien „Codes“ und führt aus, dass „der elaborierte Code der Schriftsprache [immer noch den grössten Raum in der ‚elektronischen Welt‘ einnimmt]“ (Müller-Hagedorn, 2002:75).

¹³ Diese werden von Müller-Hagedorn definiert als nicht-reale Bewegtbilder (Müller-Hagedorn, 2002:75).

lediglich *illustrieren*, wie zum Beispiel im ersten Touchball die Fotografie einer Pfanne mit kochendem Wasser oder des vitruvianischen Mannes.

Weiter gibt es Bilder, die zum Beispiel Elementarteilchen *veranschaulichen*, die in Wahrheit bestimmt nicht so aussehen (also verschiedenfarbig und kugelrund), die man sich aber nur schwer vorstellen kann, so dass eine Illustration für das Verstehen und Einordnen hilfreich ist. Sie veranschaulichen „Begriffe, mit denen sich bei den meisten Rezipienten meist nur eine vage visuelle Vorstellung verbindet“ (Müller-Hagedorn, 2002:92).

Zuletzt gibt es die Bilder, die Apparate oder Gegebenheiten *zeigen* und damit dem Besucher durch die leichtere Eingängigkeit des Bildes im Vergleich zum Text das Verstehen erleichtern.

Die gleiche Unterteilung lässt sich auch bei den Videos und Animationen vornehmen. *Illustrierende* Videos und Animationen sind sozusagen dekorative Elemente. So wurden zum Beispiel die Menütitel so gestaltet, dass sie als Teilchen über den Bildschirm gleiten und zusammenprallen. Hingegen können für das menschliche Auge unsichtbare Teilchenkollisionen und die daraus hervorgehenden Teilchenkaskaden durch Animationen *veranschaulicht* werden. Und schliesslich helfen längere Videos und Animationen wie diejenigen, welche die Montage oder den Aufbau der riesigen Detektoren *zeigen*, die beschriebenen Vorgänge zu verstehen. Analog zu dem Spruch, dass ein Bild mehr sagt als tausend Worte, kann man so im Text (und damit natürlich auch in der Übersetzung) auf langwierige Beschreibungen von Bolzen und Scheiben und riesigen Schrauben und wie diese zusammengesteckt werden, verzichten. Im vierten und textärmsten Touchball genügen 62 Wörter und drei Animationen, um die Montage und Installation der Detektoren ATLAS und CMS zu vermitteln.

Der Text ist aber dennoch unerlässlich, denn er dient der Vermittlung der Informationen, die aus den Animationen nicht hervorgehen, nämlich das hohe Gewicht der Teile und die Zeit, welche die Montage in Anspruch nahm. Es ist zum Beispiel nicht gesagt, dass die Animationen der Montage der Detektoren ohne Legende wirklich verständlich wären, da ja zum Beispiel nicht klar ist, was da genau gezeigt wird. Andererseits können die Besucher die Informationen der Texte lesen, aber sie können sich erst durch die Abbildungen wirklich ein Bild davon machen und die verschiedenen Detektoren auseinanderhalten (die alle mehr oder weniger gleich

aufgebaut sind, aber etwas unterschiedlich aussehen). Das heisst, dass sprachliche und bildsprachliche Elemente einander ergänzen. Diese Ansicht findet sich auch bei Niederhauser: „Durch [ihre] unmittelbare Zugänglichkeit scheinen Abbildungen für Zwecke der populärwissenschaftlichen Vermittlung gut geeignet zu sein“ (Niederhauser/Danneberg, 1998:175). Die Abbildungen dienen „als Blickfang, als Mittel zur Auflockerung und attraktiveren Gestaltung“ (ebenda:175). Wie Müller-Hagedorn ausführt, „[können] Bilder nicht in einer dem Verbaltext analogen Weise Bedeutung ‚weitergeben‘, ihre Potenziale liegen in anderen Bereichen wie zum Beispiel der Konkretisierung abstrakter Beschreibungen“ (Müller-Hagedorn, 2002:90). Die Besucher müssten sich die beschriebenen Konzepte sonst selbst visualisieren und würden wahrscheinlich viel Zeit damit verlieren.

Die „multimedialen“ Aspekte der Ausstellung wurden also gezielt eingesetzt, um den Lerneffekt zu verstärken und dafür zu sorgen, dass die Besucher sich Sachverhalte besser merken können. Die multimediale und interaktive Kommunikationsform hat eine „grössere Ähnlichkeit mit Situationen in der Wirklichkeit“ (Müller-Hagedorn, 2002:81) und soll beeinflussen, „wie lange und wie intensiv [der Besucher] sich mit dem Text beschäftigt“ (ebenda:81).¹⁴ Durch die interaktive Komponente wird der Spieltrieb der Besucher angesprochen und sie bewegen sich als „[Entdecker] in der Welt des Wissens“ (ebenda:84). Dabei ist auch förderlich, dass die Besucher aktiv werden müssen (und sei es auch nur durch Tippen auf den Bildschirm), um einen weiteren Abschnitt zu lesen. „Es bekommt [diese zusätzlichen Informationen] [...] nur zu Gesicht, wer für das Thema des jeweiligen Bereichs gesteigertes Interesse entwickelt“ (Dawid/Schlesinger, 2002:89). Dabei ist es wichtig, an dieser Stelle festzuhalten, dass die multimedialen Elemente mit all ihren erwähnten Vorteilen zur Unterstützung des Rezeptionsprozesses dienen und dem Text nach wie vor die wichtigste Funktion in der Wissensvermittlung zukommt, da „der Verbalsprache ein elaboriertes Argumentationssystem zur Verfügung steht“ (Müller-Hagedorn, 2002:87).

¹⁴ Vergleiche dazu auch die Aussage, dass „Texte, die Bildern in Form von Überschriften oder Legenden beigegeben werden, die Bildaussage in einem anderen Symbolsystem [parallelisieren] und so die Wahrnehmungsmöglichkeiten für den Bildrezipienten [verbessern]“ (Müller-Hagedorn, 2002:103).

2 Aspekte der Museumspädagogik

Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, inwiefern Konzepte der Museumsdidaktik auf den Ausstellungstext eingewirkt haben.

Museumsdidaktik oder Museumspädagogik ist eine den Erziehungswissenschaften verwandte Disziplin, mit der versucht wird, Methoden und Konzepte zu entwickeln, mit denen die Interaktion zwischen den Besuchern, dem Ausstellungsgegenstand und den gezeigten Inhalten erfasst und untersucht werden kann.

Lewalter nennt Museen „informelle Lernorte“ (Lewalter, 2009:45), in denen das Lernen „auf der selbständigen und aktiven Auseinandersetzung der BesucherInnen mit den präsentierten Sachverhalten“ basiert (ebenda:46).¹⁵ Durch Einwirkung des „architektonischen Raums sowie der räumlichen Anordnung der Ausstellungsobjekte, Bilder, Texttafeln, Filmangebote usw.“ laufen „besucherorientierte, offene Vermittlungsprozesse“ ab (ebenda:45). Diese Vermittlungsprozesse sind abhängig von drei Faktoren: den Ausstellungselementen und Objekten, den Inhalten und den Besuchern (Lewalter, 2009:46). Die Besucher sind unterschiedlich interessiert und motiviert (was auch dadurch beeinflusst wird, ob sie die Ausstellung in Begleitung besuchen, und wenn ja, in welcher Begleitung) und haben ein unterschiedlich ausgeprägtes Vorwissen. Die Ausstellungsmacher haben ihrerseits die angebotenen Inhalte organisiert (räumlich, kuratorisch und inhaltlich) (Lewalter, 2009:47).

Analog zu den Erziehungswissenschaften werden die Besucher anhand ihrer Persönlichkeit und ihrer daraus resultierenden Präferenzen in Gruppen eingeteilt. Dabei wird insbesondere darauf geachtet, in welcher Art und Weise die Ausstellung am sinnvollsten gestaltet werden soll, damit es zu „sehr vielfältigen Erlebnissen“ (Lewalter, 2009:47) und somit einem tatsächlichen Lerneffekt kommt. So kann man diesbezüglich zum Beispiel die Auseinandersetzung der Besucher mit den Ausstellungsstücken beschreiben, nachdem die Besucher in Gruppen eingeordnet sind, je nachdem ob sie besser auf die dargestellten Ideen, Personen oder Objekte ansprechen. Diese Gruppen haben nur bedingt etwas mit Alter, Geschlecht, Beruf und Ausbildung zu tun, die Einteilung ist vielmehr auf den Aussagen der Besucher darüber begründet, was ihnen am meisten in Erinnerung geblieben ist oder gefallen

¹⁵ Lewalter nennt das Erlebnis der „Handlungsfähigkeit“ des aktiven und selbständigen Lernens als entscheidend motivationsförderlich. Die Interaktivität der Ausstellung kommt den Besuchern also entgegen (Lewalter, 2009:50).

hat, nachdem sie eine Ausstellung besucht haben: „[V]isitors have repeatedly spoken about their reactions to [...] exhibitions in four typologies distilling their primary interests: I = ideas, P = people, O = objects, and [...] P for „physical“. These typologies occur in visitors' own descriptions of themselves, and reflect their own words about what excites them within museums“ (Pekarik et al., 2014:5).

Spontan könnte man sagen, dass das Thema der Ausstellung sich wahrscheinlich am ehesten für Besucher eignet, die daran interessiert sind, mit der Vermittlung von wissenschaftlichen Inhalten und Konzepten („ideas“) in Berührung zu kommen. Andererseits wurde von Seiten der Ausstellungsmacher am CERN aber durch die Präsentation der an Entdeckungen beteiligten Forscher und insbesondere durch Sessel, in denen Besucher Tonaufnahmen von Forschern hören, auch der Gruppe von Besuchern Rechnung getragen, die sich am liebsten mit Personen auseinandersetzt. Letztlich finden sich auch einige ausgestellte Objekte (zum Beispiel Pixeldetektoren aus Silizium und Kristalldetektoren), und auch aus den Begleitbildern zum Text gehen Möglichkeiten hervor, mit Objekten in Interaktion zu treten. Insgesamt wurde bei der Konzeption der Ausstellung also durch eine Vielfalt an Medien und Formen der Vermittlung darauf geachtet, möglichst viele Personen anzusprechen: „The evidence suggests that exhibitions that strongly appeal to all four visitor typologies—that leave out no one, in effect—will be highly successful with visitors“ (Pekarik et al., 2014:5).

Wie lässt sich dieser „Erfolg“ aber definieren? Von der Besucherseite ist eine Ausstellung bestimmt in erster Linie erfolgreich, wenn sie beim Besuch gut unterhalten werden, und in zweiter Linie neue und interessante Informationen über das Thema erfahren, für das sie die Anreise unternommen haben. Von der Seite der Ausstellungsgestalter steht eher die Idee der Wissensvermittlung im Vordergrund: Sie möchten ihre Institution (oder in einem anderen Museum ihre Kunstwerke o.Ä.) vorstellen und erreichen, dass die Besucher mehr darüber erfahren.¹⁶ Das Vorwissen der Besucher soll also nach den Vorstellungen der Ausstellungsmacher „umgeformt“ werden:

Interacting with the learner's existing conception and his or her motivation to process a message are critical features of

¹⁶ Vergleiche dazu Lewalter: „[...] Museen nehmen für sich selbst in Anspruch, sowohl unterhalten als auch bilden zu wollen“ (Lewalter, 2009:45).

the message itself. The message carries with it a set of variables that are unique to that particular message, such as the format, organization, and the task implied by the message. These variables interact with learners' existing conceptions and motivation to make the message more or less comprehensible, plausible, coherent, and rhetorically compelling to each individual. (Dole/Sinatra, 1998:120)

In diesem Zitat wird nicht deutlich, ob es sich bei der angesprochenen Botschaft um Bilder, Texte oder auch Objekte handelt. Wie wir aber im Rahmen des Hypertext-Kapitels gesehen haben, kommt den Texten in der Wissensvermittlung eine Vorrangstellung zu. Des Weiteren sind die Texte auch das einzige in der Ausstellung vertretene Medium, auf das in der Übersetzung eingewirkt werden konnte. Daher soll in diesem Kapitel zur Museumspädagogik auch eine Überleitung von der Ausstellungsgestaltung zur Textgestaltung vorgenommen werden.

Wie wir oben gesehen haben, lässt sich der Ausstellungstext im Schema von Göpferich zu den „Interesse weckenden Texten“ zählen:

Interesse weckende Texte werden [...] nicht geschrieben, damit der Rezipient ihre Inhalte möglichst leicht reproduzierbar lernen kann, sondern lediglich, um ihn zu unterhalten oder ihn auf interessante Weise zu informieren. Im Dienste dieser kommunikativen Funktionen steht daher auch die Art der Informationspräsentation. Diese Kategorie von Texten zeichnet sich aus durch Eigenschaften wie z. B. ansprechende, meist farbige Abbildungen [und] eine unterhaltsame sprachliche Darstellungsweise. (Göpferich, 1998:96)

Im Folgenden wird auf die Lesbarkeit von Ausstellungstexten eingegangen und es werden verschiedene Verbindungen zwischen Textmerkmalen und dem Besucherverhalten aufgezeigt. Anhand dessen werden Regeln präsentiert, wie Ausstellungstexte zu gestalten sind.

Dawid und Schlesinger bemerken kategorisch: „Kein Besucher, keine Besucherin geht in ein Museum oder in eine Ausstellung, um dort die Texte zu lesen“ (Dawid/Schlesinger, 2002:7). Lesen im Stehen sei „eine Strapaze“ (ebenda:7). Die Verweildauer vor Exponaten werde durch die Länge des gebotenen Textmaterials

kaum beeinflusst, und das Ziel müsse sein, „zu ermöglichen, dass [die Besucher] die Texte lesen, ohne dass es sie anstrengt: [...] sie dürfen nicht merken, dass sie gerade dabei sind, im Stehen (!) zu lesen“ (ebenda:12). Denn: „Texte haben in der Ausstellung eine enorm wichtige Funktion“ (ebenda:39) und „ein nicht unbeträchtlicher Teil [der] Kommunikation läuft über die Texte ab“ (ebenda:11).

Mit bestimmten im Folgenden besprochenen Mitteln kann man den Besuchern also entgegenkommen. Dazu gehört als erstes die besondere Bedeutung eines ausgestellten Objektes. „Es hat einen völlig anderen Erlebniswert, vor dem Original zu stehen, es in seiner Dreidimensionalität zu erleben, als etwa ein Foto davon zu sehen“ (ebenda:10). Dies ist in der CERN-Ausstellung zumeist nicht möglich: die Objekte, das heisst die Detektoren, sind einfach zu gross und dazu noch unter der Erde, oder aber die Objekte sind zu „banal“ (zum Beispiel ein Mobiltelefon oder eine Digitalkamera), als dass es sinnvoll wäre, sie auszustellen. Dennoch bestimmen die grossen Objekte, die Detektoren und Experimente, „den Erzählfluss und Inhalt“ (ebenda:10) der Ausstellung mit, indem sie entscheidend auf die Gliederung einwirken. Wichtig ist vor allem, dass die Texte von den Ausstellungsobjekten (in der CERN-Ausstellung vor allem auf Fotos oder in Videos oder Animationen) bestimmt werden und nicht umgekehrt. Das heisst, die Texte sollen anhand der Objekte das Wissen vermitteln, statt dass die Objekte als Garnitur der Texte dastehen. Dies ist in der Ausstellung eigentlich im Rahmen des Möglichen meist der Fall. Wenn das Wissen also durch die Objekte und anhand der Texte vermittelt wird, wird der Lerneffekt am besten erzielt.

Vom kuratorischen Standpunkt ist weiter zu bemerken, dass „die Räumlichkeiten [und] die Beleuchtung [...] Eindrücke hinterlassen [können], die wesentlich nachhaltiger sind, als jegliche schriftliche Information zu geben im Stande ist“ (Dawid/Schlesinger, 2002:10). Auf die Ausstellung bezogen wurde dies durch die erwähnten sphärischen Klänge und auch das Eintauchen ins Dunkel erreicht.

Im Folgenden soll auf die Textmerkmale eingegangen werden, welche „mittelmässig motivierte Besucher – und das sind die meisten – durch gute Texte zum Lesen verführen“ (ebenda:16). Je sparsamer eingesetzt und ansprechender die Texte, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass sie gelesen werden. Dabei ist es hinderlich, dass Besucher in einer Ausstellung „auf der Suche nach Reizen [sind], um einen emotional erwünschten Spannungszustand zu erreichen und möglichst zu erhalten. Das Besondere an dieser Wahrnehmungsart ist, dass sich die Reize sehr rasch abnutzen und sich die Konsumenten sogleich auf die Suche nach Neuem begeben“ (ebenda:19).

Dem kann durch eine „Gliederung der Texte in verschiedene Hierarchieebenen“ entgegengewirkt werden (ebenda:35), was, wie wir gesehen haben, mit der Baumstruktur in der Ausstellung der Fall ist. So wird dem Bedürfnis der Besucher Rechnung getragen, sich innerhalb der Ausstellung zu orientieren und auf diejenigen weiterführenden Informationen zugreifen zu können, die für sie interessant sind.

Die besondere Kommunikationssituation einer Ausstellung hat auch einen direkten Einfluss auf sprachliche Mittel im Text. „Museumsbesucher befinden sich ohnehin in einer weitgehend passiven Situation (da mag man mit interaktiven Ausstellungsstationen noch so bemüht gegensteuern): wenn dann auch noch die Sprache der Wandtexte Passivität ausstrahlt (und das tut das Passiv), wird es einfach zu viel“ (ebenda:54). Deshalb sollen auch Verben gefunden werden, „die möglichst grosse Aktivität ausdrücken und vor den Augen der Leser Bilder entstehen lassen“ (ebenda:55).

„Der alltägliche Sprachgebrauch der Besucherinnen und Besucher [ist] der oberste Maßstab“ (ebenda:57). Füllwörter und Tautologien, welche die Textlänge unnötig erhöhen, sind ebenfalls zu vermeiden“ (ebenda:58). Dieser Fokus auf einfache, kurze sprachliche Einheiten hat seinen Ursprung im Leseverhalten einerseits des Auges und andererseits des Gehirns. Mit dem Auge „erfassen wir jeweils ein paar Worte mit einem Blick, dann wandert [es] weiter“ (ebenda:58). Und das Gehirn befasst sich dann mit den Sinneinheiten dieser vom Auge erfassten Wortgruppen. Die Leseinheiten des Auges und die vom Gehirn aufgenommenen Sinneinheiten sind aber nicht deckungsgleich (ebenda:58). Daher machen Sätze, in denen Besucher nicht den Überblick verlieren, und griffige Formulierungen Sinn, denn:

Ist der Text so formuliert, dass man ihn in den wenigen Sekunden, die man dafür aufwendet, wenigstens cursorisch durchlesen kann, dann hat er seinen Zweck erfüllt; ist er hingegen so formuliert, dass man in der (stets gleich kurzen) Zeitspanne nur die ersten drei Zeilen gelesen, aber nicht wirklich verstanden hat, dann erfüllen die Texttafeln [...] die Funktion einer Buchstabentapete.
(Dawid/Schlesinger, 2002:12)

Im Folgenden soll noch auf einige inhaltliche Vorgaben eingegangen werden. Die Kuratoren sollten sich überlegen, welche Fragen Besucher an das Thema stellen und bemüht sein, diese in den Texten zu beantworten, denn: „Texte, die ihre Fragen offen

lassen, lesen die Leute nämlich einfach nicht weiter“ (Dawid/Schlesinger, 2002:65). Es sollte grundsätzlich „fast überhaupt kein Wissen“ (ebenda:65) vorausgesetzt werden.

Abschliessend lässt sich als Maxime für Ausstellungstexte also sagen, dass „Befürchtungen, einfach formulierte Texte könnten komplizierten Inhalten nicht gerecht werden, aus der Luft gegriffen sind. Ganz im Gegenteil: Alles, und sei es noch so abstrakt, lässt sich in schlichte Worte fassen“ (ebenda:74).

Im Teil 5.2.1 sollen die hier vorgestellten Gesichtspunkte, mit denen Ausstellungen im Hinblick auf die Benutzerfreundlichkeit evaluiert werden, auf den Übersetzungsprozess bezogen werden.

3 Wissenschaftliche Texte und populärwissenschaftliche Texte im Vergleich

3.1 Merkmale von populärwissenschaftlichen Texten

Beim Ausstellungstext handelt es sich um einen populärwissenschaftlichen Text, mithilfe dessen Wissen über die Forschungsarbeit des CERN und die wissenschaftlichen Grundlagen derselben an Aussenstehende vermittelt werden soll. Dies gab Anlass zu der Frage, welche Unterschiede zwischen wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Texten (bei gleichem Thema) bestehen und was bei der Übersetzung eines populärwissenschaftlichen Textes zu berücksichtigen ist.

Zu den Unterschieden ist als erstes anzumerken, dass beide sich mehr oder weniger ausgeprägt der Fachsprache bedienen, welche folgendermassen definiert werden kann:

Fachsprachen sind Erscheinungsformen der Sprache, die zur begrifflichen Erfassung und zur Darstellung fachspezifischer Sachverhalte und Gegenstände sowie zur Verständigung über diese Sachverhalte und Gegenstände innerhalb der durch berufliche und wissenschaftliche Fächer unterteilten Bereiche dienen. (...) Sie sind in erster Linie an Fachleute gebunden, doch können auch fachlich Interessierte in interfachlichen oder fachexternen Kommunikationszusammenhängen an Fachsprachen teilhaben. (Niederhauser, 1999:23-24)

Niederhauser merkt hierzu weiter an, dass unter Wissenschaftlern bestimmte „Regeln und Erwartungen hinsichtlich möglicher Kommunikationssituationen, möglicher Kommunikationswege, möglicher kommunizierbarer Themen und Ausgestaltungen der Kommunikationsabläufe“ (Niederhauser, 1999:38) herrschen und es sich bei der fachinternen Kommunikation um einen „stete[n] Prozess der Auseinandersetzung mit Themen und Gegenständen eines Faches“ handelt (ebenda:38). Demgegenüber liegt das Interesse der Adressaten eines fachexternen Kommunikats „auf aktuellen Ereignissen, auf herausragenden Einzelercheinungen, auf dem Bezug zur Alltagswelt des Publikums“ und es findet ferner eine „Auswahl der Inhalte“ statt (ebenda:38): Dabei handelt es sich um „Themen mit Bezug auf die technisch-wirtschaftliche Entwicklung oder Themen mit direktem Bezug auf Menschen und ihre alltägliche

Umgebung“ (ebenda:43), was vor allem auf den Touchball mit den medizinischen und technologischen „Spin-Offs“ (Touchball 8) zutrifft, oder insgesamt „wissenschaftliche Ereignisse mit irgendwelchem Nachrichtenwert“ (Niederhauser, 1999:43). Die Vermittlung „[geschieht] nicht kontinuierlich begleitend, sondern punktuell und unzusammenhängend“ (Niederhauser, 1999:39). Es geht nicht darum, „in die fachwissenschaftliche Diskussion einzugreifen und wissenschaftliche Innovationsschritte auszulösen“ (ebenda:39).

Der Zweck jeder popularisierenden Arbeit ist es, „wissenschaftliche Erkenntnisse für die Öffentlichkeit aufzubereiten und zugänglich zu machen“ (ebenda:47). Unter diesem Gesichtspunkt soll im Folgenden untersucht werden, welche Techniken verwendet werden, um diesem Ziel gerecht zu werden. Im Vordergrund stehen folgende Gedanken:

Bei der Popularisierung von Wissenschaft werden mit Hilfe von Vermittlungstechniken unzugängliche wissenschaftliche Darstellungsformen und ihre spezifischen Elemente umgeformt, um wissenschaftliche Inhalte vereinfacht darstellen zu können. [...] Im Vordergrund steht weniger der wissenschaftliche Inhalt, die Sache, sondern es geht um die Personen hinter der Sache, um die Anwendbarkeit, um den Bezug zum Alltag, den Nutzen der Sache, um die Bedeutung der Entdeckung, die Geschichte der Sache usw. [...] Anstelle einer für Nichtfachleute der Wissenschaften oft langweilig wirkenden, sachbetonten, deskriptiv-argumentativen Darstellung wissenschaftlicher Sachverhalte wird von Wissenschaft erzählt.
(Niederhauser/Danneberg, 1998:177)

Der Verfasser eines populärwissenschaftlichen Textes verfasst also auf der Grundlage seines Wissens eine „vereinfachende Zusammenfassung“ des wissenschaftlichen Inhaltes (Niederhauser, 1999:118) mit, wie wir gesehen haben, teils anders gesetzten Schwerpunkten.

Dies kann geschehen durch:

- das *Weglassen von Informationen*

Diese Reduktion der Informationsfülle ist eine „Folge der Ausgliederung aus dem wissenschaftlichen Kommunikationszusammenhang“ (Niederhauser, 1999:121). Dies

manifestiert sich zum Beispiel darin, dass die „Einordnung der Untersuchungen und Ergebnisse in das Forschungsgeschehen und die Wissenschaftslandschaft einer Disziplin“ (Niederhauser, 1999:121) ebenso wie „das Aufzeigen des theoretischen Hintergrunds und der fachlichen Zusammenhänge, vor denen sie zu sehen und zu bewerten sind“, wegfällt (ebenda:122).

- *die Reduktion der Informationsdichte*

Inhaltliche Einzelheiten werden weggelassen, dafür werden die verbleibenden ausgewählten Elemente „[umgeschrieben] und mit dem nötigen Kontext [...] versehen, um sie auch einem nichteingeweihten Publikum verständlich zu machen“ (Niederhauser/Danneberg, 1998:171).

- *Personalisierung*

Dabei geht es darum, den Rezipienten populärwissenschaftlicher Texte zu zeigen, „dass hinter wissenschaftlichen Forschungsergebnissen Menschen stehen - mit ihrem Arbeitsalltag, ihren sonstigen Interessen, ihren Neigungen und Gefühlen“ (Niederhauser/Danneberg, 1998:178). Dies wurde im Ausstellungstext umgesetzt, indem die verschiedenen Forscher, welche für ihre Arbeit einen Nobelpreis erhielten, namentlich erwähnt werden und auch ein Bild von ihnen zu sehen ist.

- *Alltagsbezug*

Unter diesem Gesichtspunkt wird an „weitverbreitetes technisch-wissenschaftliches Grundwissen [angeknüpft]. In der Regel wird weniger auf landläufiges technisches Wissen denn auf elementare alltägliche Gegebenheiten angespielt, die handfeste Vergleiche ermöglichen“ (Niederhauser/Danneberg, 1998:179). In der Ausstellung werden besonders zur Veranschaulichung von Größenordnungen oft Vergleiche zu vorstellbaren Mengen angestellt oder Analogien zu bekannten Vorgängen gebildet.

- *Rhetorik der Wichtigkeit*

Dies bezeichnet sprachliche Mittel, mit denen der Nutzen oder die Bedeutung einer Entdeckung oder der Forschungsarbeit betont werden (Niederhauser/Danneberg, 1998:179). Bei der Arbeit des CERN kommt noch ein weiterer Aspekt dazu, und zwar, dass diese indirekt durch die Steuergelder der Steuerzahler von Mitgliedstaaten finanziert wird. Dies ist ein weiterer Grund, den Besuchern (also zum Teil auch den Steuerzahlern) den Nutzen oder die Bedeutung der von ihnen finanzierten Arbeit darzulegen. Beispiele für diese Art von Rhetorik aus dem Ausstellungstext sind die meisten Textausschnitte aus dem Touchball „Spin-Offs“, in denen die

Grundlagenforschung als Ausgangspunkt für technologische oder medizinische Errungenschaften genannt wird:

PET-Scanner erkennen Paare von Gamma-Strahlen, die von einem Positronen emittierenden Isotop (z. B. Fluor-18) ausgestrahlt werden. Positronen sind Antiteilchen, deren Existenz von Paul Dirac 1928 vorausgesagt wurde. Er vereinigte damals die Quantenphysik mit der speziellen Relativitätstheorie.

- *der besondere Umgang mit Fachwörtern*

„[W]eil sie umständlich wirken, den Textfluss hemmen und Anklänge an schulmässige Vermittlungsformen hervorrufen können“, werden Fremdwörter in populärwissenschaftlichen Texten nur selten definiert. Sie werden eher in ihrem „fachlichen Gehalt“ erläutert (Niederhauser/Danneberg, 1996:172). Weiter „hängt vom anvisierten Adressatenkreis und dem damit voraussetzbaren Wissen ab“, welche Fachwörter man „als derart gängig und allgemein bekannt ansehen kann, dass sie keiner Erklärung bedürfen“ (ebenda:173). Vergleiche dazu auch die folgende Überlegung von Göpferich:

[Der] Zweck, zu dem der Laie den populärwissenschaftlichen Text liest, unterscheidet sich von dem, zu dem der Fachmann den Fachtext rezipiert; und daher sind für das Textverstehen durch den Laien verschiedene Details, die der Fachterminus beim Fachmann im Gedächtnis mit wachruft, unter Umständen nicht relevant und brauchen daher auch nicht versprachlicht zu werden. (Göpferich, 1998:193)

3.2 Vergleich von wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Textausschnitten

Im Folgenden sollen einige Textbeispiele aus der Ausstellung (also Beispiele der Kommunikation zwischen Experten und Laien) und einige Auszüge aus Texten, die zum Thema LHC von Wissenschaftlern für Wissenschaftler geschrieben wurden, einander gegenübergestellt werden. Dabei sollen Elemente gefunden werden, die den oben aufgeführten Punkten entsprechen.

Dazu als erstes der „Abstract“ aus dem im Jahr 2008 erschienenen „LHC Design Report“.

ABSTRACT: The Large Hadron Collider (LHC) at CERN near Geneva is the world's newest and most powerful tool for Particle Physics research. It is designed to collide proton beams with a centre-of-mass energy of 14 TeV and an unprecedented luminosity of $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. It can also collide heavy (Pb) ions with an energy of 2.8 TeV per nucleon and a peak luminosity of $10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. (Evans/Bryant, 2008)

Und im Vergleich dazu die passende Passage aus der Broschüre der Ausstellung:

The Large Hadron Collider (LHC) is the world's newest and most powerful tool for Particle Physics research. It is designed to collide particle beams with extremely high energy. The collider is in a circular tunnel with a circumference of 27 kilometres. At the collision points alongside it, there are the detectors that analyse the results of the collisions.

Der augenfälligste Unterschied ist, dass im ersten Text etliche Konzepte („proton beams“; „centre-of-mass energy of 14 TeV“; „heavy (Pb) ions“; „peak luminosity“) als bekannt vorausgesetzt werden, wobei diese Informationen, vor allem die Einheiten und die detaillierten Angaben zur „peak luminosity“, für die Besucher auch nicht besonders interessant sind. Wie wir gesehen haben, geschieht der Schritt vom wissenschaftlichen zum populärwissenschaftlichen Text auch über das Weglassen nicht relevanter Informationen. Stattdessen wird alles gesagt, was die Besucher über den Aufbau und die Funktionsweise an diesem Punkt der Ausstellung wissen müssen.

Als nächstes ein Ausschnitt aus einem wissenschaftlicher Poster, der die verschiedenen Schichten eines Detektors beschreibt:

Figure 1 shows the different detector layers in ATLAS. Innermost is the Inner Detector (ID) inside a 2T solenoid field. Outside is the electromagnetic and hadronic calorimeter, surrounded by a large scale muon spectrometer and 3 toroid magnets.

The ID (Figure 2) provides tracking of charged particles and consists of three sub-detectors, the Pixel detector closest to the interaction point followed by the SemiConductor tracker (SCT) and outermost the Transition Radiation Tracker (TRT). (Helle et al., 2009)

Und erneut der dazu passende Ausschnitt aus der Ausstellung, ebenfalls zum Aufbau eines Detektors, aus dem Touchball 5:

HOW DETECTORS WORK

A detector is made of several layers, like an onion. Each detector layer detects different types of particles. The inner layers are (almost) transparent, while the outer layers are very dense.

The inner sections measure the tracks of charged particles, which are bent by a magnetic field. This allows determining the particle momentum.

The next layers are 'calorimeter' devices to measure the energy of particles. These layers absorb all particles except muons, which are measured in the outermost layers.

Die Aussagen zum Aufbau sind eigentlich dieselben, allerdings im wissenschaftlichen Text auch wieder mit mehr Details. Dazu wird durch den Vergleich mit der Zwiebel ein Bezug zum Alltag hergestellt. Zum Umgang mit Fachwörtern lässt sich sagen, dass im ersten Abschnitt „calorimeter“ etc. als bekannt vorausgesetzt werden, während ihnen in der Ausstellung eigene Abschnitte gewidmet sind (Touchball 5):

Electromagnetic Calorimeter

The 'electromagnetic' calorimeter detects electrons and photons and measures their energy. The animation shows how an electron produces a shower of particles that is detected.

In der Ausstellung muss eine Balance gefunden werden zwischen dem Wunsch des CERN, sich als Institution zu präsentieren, die an vorderster Front Forschung betreibt, und damit Staunen und Bewunderung auszulösen, und der Notwendigkeit, die Konzepte anschaulich und verständlich zu machen und die Besucher nicht zu frustrieren und „abzuhängen“. Es wird wenig an Wissen vorausgesetzt, denn bevor im Text überhaupt mit dem Aufbau des CERN begonnen wird, kommt eine kurze

Einführung in den Aufbau des Universums (Urknall) und der Materie (Atome, Elementarteilchen). Letztere beide könnten eigentlich als Teil des Allgemeinwissens betrachtet werden, aber da in der Ausstellung immer wieder darauf Bezug genommen wird (zum Beispiel bei der Beschreibung der Experimente), bietet es sich an, die Grundlagen zu Beginn der Ausstellung noch einmal in Erinnerung zu rufen.

Es wird in der Ausstellung darauf geachtet, diejenigen Elemente der Grundlagen der Physik (oder auch Ingenieurie) zu präsentieren, die die Besucher benötigen, um die CERN-Themen zu verstehen.

4 Terminologische Aspekte

4.1 Deutsch als Wissenschaftssprache

In diesem Teil werden einige Überlegungen zur Verwendung von Deutsch in naturwissenschaftlichen Texten diskutiert. Dazu gehört die Monopolstellung des Englischen in den (Natur)wissenschaften und die Argumente, die dagegen angeführt werden können.

Institutionen wie der Arbeitskreis Deutsch als Wissenschaftssprache (ADAWIS) und der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) und auch das Goethe-Institut e.V. gehen der Frage nach, ob und wie sich Deutsch als Wissenschaftssprache halten kann, und regen die Verwendung von Deutsch in akademischen und wissenschaftlichen Publikationen und Veranstaltungen an. Keine dieser Institutionen bestreitet dabei, dass die englische Sprache in der internationalen Verständigung als Lingua Franca einen nicht mehr aufholbaren Vorsprung hat und dass dies auch gut und nützlich ist.¹⁷ So wird im Artikel „Deutsch als Wissenschaftssprache – deutsche Sprache, quo vadis?“ (Fiebach, 2010) angemerkt, dass „[d]er Vorteil klar auf der Hand [liegt]: weltweit können sich die Forscher und Wissenschaftler in einer gemeinsamen Sprache über ihre Ergebnisse und Meinungen austauschen“. Kritisiert wird aber, dass die Hinwendung zum Englischen oft auch bereitwillig in einem deutschsprachigen Umfeld stattfindet (Fiebach, 2010).

Argumente, die für das Deutsche (oder allgemein gesehen die Mehrsprachigkeit) in der Wissenschaft angeführt werden können, sind folgende (Degener, 2011):

- Qualität des sprachlichen Ausdrucks: Wenn Wissenschaftler verschiedener Muttersprachen auf Englisch miteinander kommunizieren, aber Lehre und Forschung in ihren eigenen Sprachen vorantreiben, ist dies etwas anderes, als wenn nur noch in „mangelhaftem“ Englisch wissenschaftlich gearbeitet wird und die anderen Sprachen von diesen Fortschritten abgeschnitten sind. Eine

¹⁷ Vergleiche dazu die Leitlinien des ADAWIS: „Für die weltweite Verständigung in den meisten wissenschaftlichen Disziplinen hat sich das Englische durchgesetzt. Dies soll hier nicht in Frage gestellt werden. Wenn jedoch selbst Tagungen mit überwiegend oder gar ausnahmslos deutschsprachigen Teilnehmern, interne Seminare und alltägliche Besprechungen nur noch auf Englisch stattfinden, wenn immer mehr Studiengänge auf Englisch umgestellt werden und deutsche Wissenschaftsinstitutionen oft nur noch englischsprachige Förderanträge entgegennehmen, hat das negative Folgen für unseren Wissenschaftsstandort und beschädigt nachhaltig den Status der deutschen Sprache in ihrer Gesamtheit.“

http://www.adawis.de/index.php?navigation=1&level=0&navigation_cat2_id=40&navigation_cat_id=1

Lingua Franca, im Duden definiert als „Verkehrssprache eines größeren mehrsprachigen Raums“ (duden.de/rechtschreibung/Lingua_franca), in diesem Fall der wissenschaftlichen Gemeinschaft, ist in dem Sinne keine vollwertige Sprache, als dass Nichtmuttersprachler sich untereinander in ihren teils vielleicht fehlerhaften oder weniger differenzierten Varianten derselben ausdrücken. „Das Sprachniveau, über das die nicht englischsprachigen Wissenschaftler verfügen, lässt oft zu wünschen übrig“ (Fiebach, 2010). Ein anderer Gedanke ist, dass Muttersprachler dadurch einen Vorteil in ihrem Ausdruck, aber auch in der Verbreitung ihrer Vorstellungen haben. „[W]eil alle führenden Zeitschriften in US-amerikanischer Hand [sind], [werden] [...] [a]uch die wissenschaftlichen Standards [...] auf diese Weise von der US-amerikanischen Wissenschaft festgelegt“ (Degener, 2011). Man kann von einem eigentlichen Teufelskreis sprechen, wenn Forscher, um zitiert zu werden, von vornherein auf Englisch schreiben und dadurch immer weniger Material in einer anderen Sprache als Englisch vorliegt.

- Allgemeine Erschliessbarkeit auch von Forschungsthemen: Wissenschaftliches Arbeiten soll nicht ausschliesslich in einer Sprache stattfinden, deren zwangsläufig nicht alle mächtig sind. „Durch den ausschließlichen Gebrauch des Englischen koppelt sich die Wissenschaft auch immer weiter von der Gesellschaft ab, gegenüber der sie rechenschaftspflichtig ist“ (Mocikat, 2011). Die Vorteile einer gemeinsamen Sprache in der internationalen Zusammenarbeit sollen nicht vergessen lassen, dass „Wissenschaft und Forschung [...] wichtige Bestandteile der Gesellschaft [sind], was zum Beispiel daran ersichtlich wird, dass viele Forschungsbereiche auch immer das allgemeine Interesse der Bevölkerung auf sich ziehen. Zu denken sei zum Beispiel an den Bereich der Atomkraftnutzung, der Gentechnik oder der Stammzellenforschung. Denn das, was die Wissenschaft interessiert, ist auch immer lebensweltlich in die Gesamtgesellschaft eingebunden“ (Fiebach, 2010). Auch daher ist die Pflege der Muttersprache und insbesondere ihres (Fach)vokabulars wichtig, um auch Nichtwissenschaftler an Forschungsergebnissen teilhaben zu lassen:

Wenn nun auf das Deutsche als Wissenschaftssprache verzichtet würde, ergäbe sich eine Kluft zwischen den Wissenschaftlern auf der einen und dem Rest der

Gesellschaft auf der anderen Seite. Vielen Menschen bliebe eine Mitsprache an wissenschaftlichen Erkenntnissen verschlossen. Die deutsche Sprache würde zudem stagnieren, stehen bleiben, wenn sie nicht mehr vor der Herausforderung stünde, auch neue Erkenntnisse der Forschung sprachlich zu benennen. Alltagssprache und Wissenschaftssprache sind im Deutschen eng miteinander verknüpft. Ein Herauslösen der Wissenschaftssprache würde auch die Alltagssprache einengen. (Fiebach, 2010)

Wichtig scheint hier, noch einmal zu unterstreichen, dass ein Unterschied besteht zwischen dem Austausch zwischen Wissenschaftlern und der Entwicklung von Ideen und deren Formulierung.

- Bereicherung durch unterschiedliche Ansichten und Herangehensweisen:
Wilhelm von Humboldt formulierte in seinen Schriften zur Sprache die Idee, dass die verschiedenen Muttersprachen mit verschiedenen Denkweisen einhergehen:

Unser Denken ist durch unsere Sprache bestimmt und schon Wilhelm von Humboldt wusste, dass die Verschiedenheit der Sprachen eine Verschiedenheit der Weltansichten ist, und sich Sprachen nicht bloß anhand ihrer Alphabete und Aussprachen voneinander unterscheiden. [...] Nicht nur die Beschreibung, sondern auch die Entwicklung von Ideen ist an die eigene Muttersprache gebunden, da in ihr spezifische Strukturen unseres Denkens, Wahrnehmens und unserer Erkenntnis verankert sind. (Fiebach, 2010)

In diesem Sinne kann man wissenschaftliches Arbeiten in verschiedenen Sprachen als eine Bereicherung sehen, während in einer einsprachig englischen Wissenschaftskommunikation die verschiedenen Herangehensweisen verloren gingen. Eine genaue Erörterung dieses Themas ginge im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu weit. Es ist aber interessant, beispielhaft festzuhalten, dass „in deutschen wissenschaftlichen Aufsätzen [...] in bestimmten Situationen regelmäßig von Verben abgeleitete Substantive wie „Verlauf“, „Vorstellung“ oder „Gefüge“ zum Einsatz [kommen], die im Englischen kaum Entsprechungen haben“ (Degener, 2011).

Aus diesen drei Gründen – der Qualität des Ausdrucks, der allgemeinen Erschliessbarkeit und der Bereicherung der Forschungstätigkeit – soll Deutsch als Wissenschaftssprache gefördert werden. Dazu gehören zum Einen allgemeine Richtlinien zur Verwendung von Deutsch zum Beispiel an Konferenzen oder Vorträgen oder in Artikeln.¹⁸ Andernfalls verkommt die deutsche Sprache zu einer Art Gerüst, das lediglich dazu dient, die Anglizismen als Schauliefern zu platzieren.

In der Wissenschaftskommunikation geht es weniger um Schauliefern als viel mehr darum, dass diese aus den oben erwähnten Gründen überhaupt vorwiegend auf Englisch stattfindet, so dass die Motivation, einen wissenschaftlichen Fachwortschatz auf Deutsch zu prägen, für bestimmte Fachgebiete gering ist. Wenn man jedoch von der Prämisse ausgeht, dass es sinnvoll ist, in jeder Sprache die Werkzeuge zu ihrer Verwendung in allen möglichen Fachgebieten zu haben, wird klar, dass dies nötig ist. Wir sollten zum Beispiel Vorgänge oder Geräte adäquat in der eigenen Sprache benennen können. Ansonsten kommt es zum weiter unten eingehend behandelten Domänenverlust, was bedeutet, dass die Fähigkeit verloren geht, in bestimmten Fachgebieten in der eigenen Muttersprache zu kommunizieren, weil keine Benennungen in dieser Sprache geschaffen werden. Und wenn Benennungen geschaffen worden sind und existieren, sollten sie auch konsequent verwendet werden, was auch die Zielsetzung bei der Übersetzung der Ausstellung war.

4.1.1 Lateinische versus germanische Sprachen

Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, welche terminologischen Fragen sich bei der naturwissenschaftlichen Übersetzung aus dem Englischen oder Französischen ins Deutsche ergeben. Von diesen drei Sprachen ist die deutsche am weitesten von der lateinischen Sprachfamilie entfernt, da das Französische ihr direkt entstammt und die germanischen Grundlagen der englischen Sprache einerseits durch französische und andererseits durch lateinische Einflüsse überlagert oder ergänzt wurden. Daraus ergibt sich ein Ungleichgewicht für das Übersetzen, da im Französischen und Englischen (und natürlich auch im Italienischen, Spanischen etc.) öfter eine direkte lateinische Entsprechung gefunden werden kann, während man für Deutsch „einen Schritt weitergehen“ und eine germanische Wurzel finden muss. Dies ist jedoch nicht immer der Fall – in manchen Fällen kann das lateinische Wort auch im Deutschen übernommen werden, wobei dies im Deutschen beinahe immer auf einen

¹⁸ Vergleiche hierzu die Leitlinien des ADAWIS: <http://www.adawis.de/index.php?navigation=1>

fachsprachlichen Kontext hindeutet. Anders gesagt, findet der Sprung in ein anderes Register in einem deutschen Text oft dadurch statt, dass ein lateinisches Wort an Stelle eines deutschen steht; das heisst, lateinische Wörter in einem deutschen Text sind ein Merkmal für Fachsprachlichkeit. Auf Englisch verhält es sich leicht anders – einerseits kann sich die englische Sprache auch für den Alltagsgebrauch relativ frei aus dem lateinisch-griechischen Fundus bedienen, andererseits zitiert Bryson ein Beispiel, das die ‚emotionale‘ Komponente veranschaulicht, welche sich dabei oft ergibt: „As Simeon Potter has neatly put it: „We feel more at ease getting a hearty welcome than after being granted a cordial reception“ (Bryson, 2009:45).¹⁹

Ein anderes Beispiel, welches den Registerwechsel in den verschiedenen Sprachen ebenso wie den Fachlichkeitsgrad gut veranschaulicht, ist die Vokabel *incandescence* (auf Italienisch), *incandescent* (auf Englisch), *inkandeszent* (auf Deutsch):

	Italienisch	Englisch	Deutsch
Bedeutung	glühend(heiss)	glühend(heiss)	glühend(heiss)
Kontext	Pfannen etc., Glühbirne	Wut, Glühbirne	Glühbirne
<i>In der Alltagssprache verwendet? Allgemein verständlich?</i>	Ja, um glühende oder glühend heisse Alltagsgegenstände wie Pfannen oder Ähnliches zu beschreiben.	Metaphorisch in der gehobenen Alltagssprache zum Beispiel im Ausdruck „to be incandescent with rage“. Möglicherweise nicht allen Sprechern geläufig. Eine Glühbirne wird in der Alltagssprache eigentlich immer mit „light bulb“ beschrieben.	Das Adjektiv wird insgesamt sehr selten verwendet, nur in hochspezifischen technischen Beschreibungen wie dem Patent der Herstellung einer Anzeige mit integriertem Touchscreen. ²⁰ Das Substantiv „Inkandeszenz“ tritt häufiger auf, jedoch auch nur im technischen Bereich, zum Beispiel im Zusammenhang mit Lasern. ²¹

¹⁹ Hier das Zitat im Kontext: „English and French expressions [in English] may have similar denotations but slightly different connotations and associations. Generally the English words are stronger, more physical, and more human. We feel more at ease after getting a hearty welcome than after being granted a cordial reception. Compare freedom with liberty, friendship with amity, kingship with royalty, holiness with sanctity, happiness with felicity, depth with profundity, and love with charity“ (Potter, 1950:37f).

²⁰ „Das Anzeigemedium kann als eine einzige Farbe konfiguriert sein, wie beispielsweise schwarz, weiß oder durchsichtig, und kann fluoreszent, irideszent, bioluminiszent, inkandeszent, ultraviolett oder infrarot sein, oder es kann ein für die Wellenlänge spezifisches Strahlung absorbierendes oder Strahlung emittierendes Material sein. (German Patent DE112006002496 <http://www.freepatentonline.com/DE112006002496.html>)

²¹ Zum Beispiel im folgenden Zitat: „Laserinduzierte Inkandeszenz (LII), oder laserinduziertes "Glühen", bietet die Möglichkeit, die Größen von Rußpartikeln zu bestimmen, sowie diese Konzentrationsverteilung abzubilden“ (Kock, 2012).

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass bei diesem lateinischen Wort die Entfernung vom alltäglichen Sprachgebrauch für die deutschen Verwendungsbeispiele ungleich grösser ist als für die anderen beiden Sprachen. Auf den Ausstellungstext bezogen bedeutet dies, dass Fachlichkeitsgrad und Register bei der Übersetzung im Auge behalten werden müssen und zugleich die Verständlichkeit der Terminologie gewährleistet bleiben muss. Die Fachlichkeit, die durch lateinisch/griechische Wörter in deutschen Texten markiert wird, ist aber auch ein wünschenswertes Merkmal eines populärwissenschaftlichen Textes, wenn man davon ausgeht, dass die Besucher gewisse Erwartungen an das sprachliche Niveau haben.

4.2 Terminologearbeit anhand des „Best-Practices“-Ordners

Während der Übersetzungsarbeit kamen Fragen und allgemeine Überlegungen auf, wie mit wissenschaftlicher Terminologie in deutschsprachigen Texten umgegangen wird (oder umgegangen werden sollte). Aus diesem Grund wurde eine Auswertung der Terminologie nach den Richtlinien des *Best-Practices-Ordner: Terminologearbeit* durchgeführt.²²

Bei der im Anschluss an die Übersetzung vorgenommenen manuellen Terminologieextraktion soll das Augenmerk vorwiegend auf die Verständlichkeit, die Art, in der die Begriffe im Voraus oder im Nachhinein erläutert werden (oder eben nicht), gerichtet werden. Eine statistische Erfassung der Häufigkeit von Termini in Bezug auf die Wortmenge im jeweiligen Touchball soll nicht vorgenommen werden. Das Ziel ist nicht, das Auftreten von einer bestimmten Benennung sonst statistisch zu erfassen (z. B. Benennung X kommt soundso häufig vor, Benennung Y nur soundso häufig). Die verschiedenen Touchballs des Textganzen behandeln unterschiedliche Aspekte, wodurch eine Benennung durchaus mehrfach, aber nur in einem „Touchball“ vorkommen kann. Dies bedeutet, dass die statistische Bezugnahme auf das Textganze wenig Sinn ergibt. Vielmehr sollen im Rahmen einer Auswertung der Termextraktion einige Beispiele kommentiert werden. Die Terminologieextraktion dient im vorliegenden Fall dazu, sich einen Überblick über die im Ausstellungstext auftretende Terminologie zu verschaffen und daraus Schlüsse zu ziehen, die für die Festlegung der Übersetzungsstrategie hilfreich sind. Die für die

²² Der Ordner wurde 2010 vom deutschen Terminologie-Tag mit dem Ziel entwickelt, Richtlinien (oder eben „Best Practices“) für die Terminologearbeit im professionellen Bereich darzulegen. Im Frühling 2014 ist die zweite, vollständig überarbeitete Auflage erschienen.

Übersetzungsentscheidungen relevanten Kriterien werden im Kapitel 4.2.2 aufgeführt und erläutert.

4.2.1 Argumente für die Terminologiearbeit

Im Folgenden werden vierzehn Argumente des Ordners, nämlich Ziffern 1, 3, 4, 9, 10, 12, 14, 17, 22, 24, 28, 33, 53, und 57 in Bezug auf den Ausgangstext kommentiert. Im Fliesstext wird die Nummer des jeweils kommentierten Argumentes in Klammern am Ende des entsprechenden Satzes angeführt.

Wenn man sich mit der Terminologie eines bestimmten Fachgebietes befasst, so ist es wichtig, da für das Verständnis der Terminologie sowie des Fachbereichs hilfreich, dass diese einheitlich ist (1). Nun kann es passieren, dass die Einheitlichkeit gerade bei der Übersetzung längerer Texte nicht gewahrt wird, vielleicht die stetige Wiederholung einer Benennung bei der längeren Beschäftigung mit dem Text stärker ins Gewicht fällt und der Übersetzer entweder selbst lieber mit einer anderen Benennung abwechseln würde oder aber meint, dass die Wiederholung von den Lesern als störend empfunden werden könnte. Häufig werden lange Texte auch auf mehrere Übersetzer verteilt. Es könnte aber auch sein, dass in der Zielsprache oft verwendete und vielleicht nicht klar voneinander abgegrenzte Synonyme existieren, während die Ausgangssprache nur eine Benennung hat. In jedem Fall gilt es, zwischen dem Verständnis und zu oftmaliger Wiederholung abzuwägen, wenn der Text verständlich und ansprechend sein soll.

Fest steht jedenfalls, dass eine einheitliche Terminologie in der Gesamtheit des Ausstellungstextes einen pädagogischen Nutzen hat, wenn man diesen unter dem Gesichtspunkt der Wissensvermittlung betrachtet (3). Das heisst, die Inhalte sollen den Besuchern einheitlich und klar vermittelt werden, so dass Verfasser und Besucher stets an das Gleiche denken, wenn ein bestimmter Begriff verwendet wird. Aufgrund der räumlichen Anordnung der Ausstellung könnte es unter Umständen sein, dass zwei befreundete Besucher an unterschiedlichen Stellen lesen und der eine den anderen dann auf etwas aufmerksam machen möchte.²³ Die Konsequenz in der Wortwahl ist somit gerade für Hypertexte wichtig, da möglicherweise einige Bezüge fehlen, die in einem kontinuierlichen Text das Verständnis erleichtern würden. In

²³ Auch wenn dies eher ein Spezialfall ist, so berichten Dawid und Schlesinger im Zusammenhang mit dem Leseverhalten der Besucher dennoch von folgender Situation: „Es stellte sich heraus, dass es zahlreiche Besucher gab, die man zwar bei keinem einzigen Blick auf die Texttafeln hatte beobachten können, die aber offenbar schneller lasen, als die Beobachter es bemerkten: Denn sie ließen die Inhalte der Texte in ihre Unterhaltung einfließen, manchmal sogar wortwörtlich“ (Dawid/Schlesinger, 2002:7).

erster Linie geht es bei der Konsequenz um die schnellere, bessere Verständlichkeit und Einprägsamkeit.

Weiter kann die eingehende Beschäftigung mit dem Ausgangstext Mehrdeutigkeiten zutage fördern (4), was für die Wissensvermittlung und den Überblick zentral ist. Die Terminologiarbeit hält hier den Übersetzer dazu an, auf Synonyme achtzugeben, indem bei dem fachsprachlichen Text ein grösseres Augenmerk auf die Terminologie gerichtet wird als bei einem Alltagssprachlichen Text, nicht zuletzt, da in einem fachsprachlichen Kontext ein wichtiger Teil der Wissensvermittlung über den Fachwortschatz geschieht. Insgesamt gesehen hilft eine präzise und eindeutige Wortwahl zweifellos sehr, die in der Ausstellung thematisierten komplexen Sachverhalte zu vermitteln. Dazu gehören auch Abkürzungen (10), wobei es nützlich ist, ihr Auftreten im Ausgangstext zu analysieren. Abkürzungen sind als ein fachinternes Merkmal oft das Symptom einer gewissen „Eingeweihtheit“ in ein Fachgebiet, das heisst Fachleute verwenden untereinander vermutlich öfter Abkürzungen, wenn sie sich über ihr Fachgebiet unterhalten, einerseits um ihre Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe von Personen zu markieren, andererseits weil dies schneller geht, wenn beide wissen, wovon die Rede ist.²⁴ Es ist wichtig, sicherzugehen, dass die im Ausstellungstext auftretenden Abkürzungen von den Besuchern verstanden werden. Ein Beispiel dafür ist die immer wieder an verschiedenen Stellen im Text auftretende Abkürzung von T für Tesla (eine nach einem serbisch-amerikanischen Wissenschaftler benannte physikalische Einheit). Eine Angabe von „4 T“ wird wahrscheinlich den wenigsten Besuchern etwas sagen. Wenn stattdessen „4 Tesla“ steht, können interessierte Besucher dies zu Hause besser nachschlagen. Wegen der Fragmentierung des Textes muss die ausgeschriebene Einheit an allen Stellen verwendet werden. Vergleiche dazu Dawid und Schlesinger: „Denken Sie daran, dass niemand alle Texte durchlesen wird, schon gar nicht der Reihe nach“ (Dawid/Schlesinger, 2002:53).

Eine systematisch zu einem bestimmten Fachgebiet erfasste Terminologie kann auch „die Bereitstellung eines Wissensreservoirs [ermöglichen]“ (14) (DTT, 2010, M1: 8). Die Idee eines „Wissensreservoirs“ ist für die Besucher und in zweiter Linie auch für

²⁴ Vergleiche dazu die Kolumne zu den Fachsprachen im NZZ Folio. Sie heisst „Vom Fach“ und enthält Dialoge zwischen Fachleuten verschiedener Fachgebiete wie zum Beispiel Medizin, Sport, Hühnerzucht etc., die derart stark mit Fachwortschatz und insbesondere Abkürzungen angereichert sind, dass sie eigentlich ohne die in einer Liste unten angeführten Erklärungen oder Ausschreibungen kaum verständlich sind.

die Übersetzer ein wichtiges Konzept, wenn es darum geht, das Wissen adäquat zu vermitteln bzw. zu verankern.

Das Argument 12 gibt Anlass zu einem kleinen „sprachpolitischen“ Exkurs zum Thema Wissensverankerung und Domänenverlust. „Terminologie ermöglicht die Aufbewahrung bestehender Fachwortschätze sowie deren Verankerung und Wiederverwendbarkeit“ (DTT, 2010, M1: 8). Wie im Kapitel 4.1 angesprochen, geht es beim Domänenverlust darum, dass heute in vielen Bereichen, in denen Menschen unterschiedlicher Muttersprachen miteinander kommunizieren, dies auf Englisch geschieht und zwar auch ausserhalb von Ländern, in denen Englisch gesprochen wird. Wenn auch, wie weiter oben schon erwähnt, allgemein akzeptiert wird, dass Englisch seit einiger Zeit als „lingua franca“ fungiert, so ist es dennoch eine Überlegung wert, ob es nicht sinnvoll wäre, dass in allen Sprachen für alle Begriffe oder Erfindungen Benennungen gefunden werden, so dass man in allen Sprachen „in eigenen Worten“ oder beziehungsweise „mit eigenen Wörtern“ über alle Themen sprechen kann. Dabei könnte man sagen, dass Übersetzern und Terminologen eine wichtige Rolle zukommt, da sie sich dafür entscheiden können, ein englisches Wort aus einem Fachtext als Fremdwort zu übernehmen oder einen vielleicht weniger eingeschliffenen, aber adäquaten deutschen Begriff zu finden.

Der ehemalige Literaturredakteur der Times, Philip Howard, sagte einmal, dass Sprache die einzig wahre Demokratie sei, da sie laufend von denen verändert werde, die sie verwenden.²⁵ Zweifellos ist diese Entwicklungsfähigkeit und Flexibilität eine grosse Stärke und Bereicherung der Sprache und letztlich ist es auch wenig sinnvoll, sich allzu vehement gegen diese oder jene Neuerung zu stemmen. Man könnte aber, indem man das Argument der „Verankerung“ von Terminologie wieder aufgreift, durchaus für einen „präskriptiven“ Aspekt der Terminologearbeit plädieren.²⁶ Dies würde bedeuten, dass es den Terminologen zukommt, Terminologie nicht nur zu erfassen oder zu sammeln, sondern auch Benennungen zu schaffen, zum Beispiel durch eine direkte Übertragung der etymologischen Bedeutung eines Fachwortes in die Fremdsprache. Dies mag auf den ersten Blick seltsam erscheinen, andererseits wird dies in der französischen Sprache (z. B. bei „ordinateur“ für „computer“) durchaus so gemacht. Das deutsche Wort „Rechner“ existiert ja – andererseits wirkt

²⁵ Zitiert von Stephen Fry in „Paperweight“: „[Language] is, as Philip Howard pointed out, the only true democracy, changed by those who use it“ (Fry, 2010:363).

²⁶ Bei einer präskriptiven Terminologearbeit wird vorgeschrieben, welche Benennungen man verwenden soll (Vorzugsbenennungen) und welche verboten sind.

es aber vielleicht nicht neuartig genug für das Gerät, welches die informationstechnologische Revolution zur Folge hatte, beziehungsweise es erinnert zu sehr an einen banalen Taschenrechner. Dies bedeutet, dass man sich bei der Benennungsbildung auch überlegen muss, wie man den potenziellen Verwendern der Benennung diese schmackhaft machen kann. „Ordinateur“ wiederum gibt dem Gerät einen gewissen Nimbus und ist nicht von einem anderen Gerät abgeleitet.

Dazu gehört auch Argument 17: „Der Fachwortschatz eines Sachgebiets befindet sich in erster Linie in den Köpfen der Spezialisten dieses Gebiets. Erst durch Terminologearbeit wird dieser Fachwortschatz systematisiert, ausgedrückt und festgehalten und kann anschliessend verteilt und wiederverwendet werden“ (DTT, 2010, M1:8). Wenn ein Fachwortschatz in einer anderen Sprache als Englisch geschaffen oder abgeleitet wird, dann kann er auch in dieser Form „verteilt“, das heisst weitergegeben und verwendet werden, statt dass es nur die englischen Wörter sind, die zuerst von den Spezialisten, dann in wissenschaftlichen, dann populärwissenschaftlichen Publikationen und schliesslich allgemein verwendet werden.

Wenn man davon ausgeht, dass der Terminologearbeit durchaus auch eine präskriptive Funktion zukommen kann und man Terminologie als Instrument des Wissensmanagements betrachtet, so kann das CERN als identitätsstiftende Institution auf dem Gebiet der Physik durchaus auch im sprachlichen Bereich potentiell eine Breitenwirkung entwickeln. Das heisst, dass deutschsprachige Wissenschaftler, aber auch Journalisten sich einer „offiziellen“ CERN-Terminologie bedienen würden. Allgemein lässt sich sagen, dass der hohe Anteil an deutschsprachigen Mitarbeitern am CERN eine offizielle deutsche Terminologie durchaus sinnvoll erscheinen lässt. Dies nicht zuletzt, damit diese, wenn sie sich untereinander auf Deutsch über ihre Arbeit unterhalten, auch deutsche Terminologie zur Verfügung haben.

Schlussendlich stellt sich die Frage, ob der Zieltext eventuell auch in Bezug auf den Fachlichkeitsgrad angepasst werden muss. Dies könnte unter anderem der Fall sein, weil Englisch und Französisch tendenziell mehr lateinische oder griechische Fremdwörter verwenden. Wenn diese im deutschen Text so belassen werden, erhöht sich der Fachlichkeitsgrad. Aufschluss darüber würde eine Termextraktion in den drei Sprachen der Ausstellung geben.

4.2.1.1 Verständlichkeit

Die Verständlichkeit eines Textes kann u.a. vom Fachwortschatz oder vom Satzbau behindert werden. Dazu folgendes Beispiel: Wenn man eine Fremdsprache erlernt und mit einem Text konfrontiert ist, in dem viele Wörter Verständnisprobleme bereiten, so besteht die Gefahr, dass man frustriert ist und das Lesen aufgibt. Das soll bei der Ausstellung natürlich nicht passieren. Aus diesem Grund wird auch darauf geachtet, dass die Bedeutung eines Terminus sich entweder aus dem Kontext oder aus der begleitenden Illustration oder Animation erschliesst, etwa wenn in der Ausstellung beschrieben wird, was eine Gravitationslinse genau macht. „Die Verbindung zwischen Erklärung und Fachwort lässt sich auch so gestalten, dass sie nur implizit aus dem Text folgt oder die Erklärung im Laufe eines Abschnitts immer weiter entfaltet wird“ (Niederhauser/Danneberg 1998:173).²⁷

Es ist erwähnenswert, dass der Ausstellungstext so aufgebaut ist, dass ein Terminus oft im Titel eines Abschnittes steht und dieser dann erklärt oder beschrieben wird. Dadurch wird möglicherweise auch die Neugierde der Besucher geweckt²⁸: Sie sehen einen Begriff (den Titel), den sie nicht kennen oder unter dem sie sich vielleicht nicht allzu viel vorstellen können, und können diesen sogleich anwählen.

4.2.2 Termextraktion

Vorausgehend sollen als erstes einige grundlegende Definitionen gegeben werden:

Gegenstände sind konkrete Dinge, mit denen wir zu tun haben und über die wir sprechen wollen, z. B. Vierkantschlüssel. Im weiteren Sinne fassen wir unter Gegenstand auch abstrakte Sachverhalte, wie z. B. eine Investition, oder auch Vorgänge, wie z. B. ein Messinstrument kalibrieren, zusammen.

Mit Begriff wird eine Vorstellung bezeichnet, die Menschen von Gegenständen haben. Begriffe dienen dazu, Gegenstände zu erkennen und zu ordnen.

²⁷ Es ist auch eine Möglichkeit, den Text gar nicht erst mit zu vielen Fachtermini zu beschweren: „Nicht jedes beschriebene Phänomen muss eigens benannt werden. Fachwörter können auch einfach weggelassen werden“ (Niederhauser/Danneberg, 1998:172). Es kommt nur dort zu einer „Einführung von Termini, wo sie für die weitere Darstellung unbedingt erforderlich sind“ (Göpferich, 1998:193).

²⁸ Siehe zu diesem Thema auch Kapitel 2 und 5.2.1 zur Museumspädagogik.

Um über Gegenstände und Begriffe zu sprechen oder zu schreiben, brauchen wir sprachliche Mittel. In der Terminologielehre heißen die sprachlichen Repräsentationen eines Begriffs Benennungen oder Termini. Zudem werden auch nicht-sprachliche Bezeichnungen wie Symbole, Formeln, Piktogramme oder Ähnliches als Repräsentationen des Begriffs benutzt. (Rat für Deutschsprachige Terminologie, 2013)

Als relevanter Terminus wurde (mit einzelnen Ausnahmen) jeder Terminus betrachtet, der, isoliert genommen, ohne Umwege auf ein naturwissenschaftliches Fachgebiet zurückzuführen ist. Die im Ausstellungstext vorhandenen Termini stammen alle aus der naturwissenschaftlichen Fachsprache, nämlich mit abnehmender Häufigkeit aus den Fachgebieten Physik (Nuklearphysik), Medizin, Chemie, Astronomie, Informatik, Ingenieurwesen und Technologie. Die einzige Ausnahme stellen hierbei einige Termini aus dem Verwaltungswesen dar, welche dort auftreten, wo die Organisation des CERN beschrieben wird.

Im Folgenden soll die vorgenommene Terminologearbeit kurz beschrieben werden. Vom temporalen Standpunkt her betrachtet ist sie nachgeschaltet. Es wurden Überlegungen zu den terminologischen Inhalten eines bestimmten Textes angestellt. Die Terminologearbeit ist folglich textbezogen und es handelt sich nicht um die erschöpfende Auswertung der Terminologie eines bestimmten Fachgebietes (DTT, 2010, M2:1). Sie ist des Weiteren deskriptiv, fand also nach der Übersetzungsarbeit statt und bestand darin, die Fachterminologie im Text zu identifizieren. Grund dafür ist, dass die Revision der Übersetzung Anlass zu verschiedenen Überlegungen gab, was die Verständlichkeit und die Verwendung von Fachtermini einerseits und die Verwendung von Anglizismen andererseits betrifft. Daher findet sich in einigen Anmerkungen, in denen angeregt wird, Anglizismen möglichst zu vermeiden, ein präskriptives Element. Ein weiterer Aspekt einer präskriptiven Terminologearbeit, welcher hier zur Anwendung kommt, ist auch, dass das oberste Ziel bei der Wahl des entsprechenden Terminus das Verständnis des Besuchers ist. Daher kann es sein, dass bei der Übersetzung in einem ersten Schritt ein Term gewählt wurde, bei dem durch die Terminologearbeit auffiel, dass eine Alternative besser verständlich wäre, so dass der deutsche Text mit dem genannten Ziel vor Augen nachträglich noch verändert wurde.

Das Gesamtergebnis der Auswertung ist im Anhang I tabellarisch dargestellt. Die Terminologiarbeit wurde am deutschen Zieltext vorgenommen, wobei auf die Benennungen im Ausgangstext in relevanten Fällen in den Anmerkungen eingegangen wird.

Bei den ausgewerteten Benennungen handelt es sich überwiegend um Komposita, also aus mehr als einem Wort bestehenden, aber zusammengeschriebenen Benennungen (zum Beispiel Laserlicht, Driftröhre, Teilchenbeschleuniger), und seltener um Simplizia (Prozessor, Kaverne, Zerfall). Dies lässt sich damit erklären, dass es bei dem im Text auftretenden Fachwortschatz weniger um die Benennung von kleinen, einfachen Gegenständen (Schraube, Bolzen, Ventil) als vielmehr um unhandlichere Objekte geht, die entweder viel grösser sind (Teilchenbeschleuniger, Spurendriftkammer), oder überhaupt nicht fassbar (Speicherkapazität). Man kann sagen, dass mit Kompositabildungen sofort mehr über das benannte Objekt ausgedrückt wird, da die Wortbestandteile meistens aus der Alltagssprache geläufig sind. (Die Maschine beschleunigt Teilchen. Es handelt sich um eine Kammer, in der Spuren driften.) Es muss etwas gespeichert werden und dafür gibt es soundso viel Platz. Handelt es sich jedoch um Simplizia aus dem technischen Fachwortschatz (z.B. „die Nute“), kann man die Bedeutung nicht unbedingt ableiten.²⁹

Mehrwortbenennungen kommen nur vereinzelt vor. Wenn doch, handelt es sich um Fälle, in denen der Sprachgebrauch eine Kompositabildung nicht zulässt oder in denen die Beziehung zwischen den Termbestandteilen in dieser Weise deutlicher wird.³⁰ Meist handelt es sich im Ausstellungstext dabei um Adjektive, welche die Substantive der Termini (Simplizia oder Komposita) näher beschreiben: „kosmische Hintergrundstrahlung“; „elektromagnetisches Kalorimeter“; „optische Fasern“. Wäre

²⁹ Auch bei Komposita sind nicht immer alle Wortbestandteile ableitbar: In der Benennung Röntgenstrahlen ist der Wortbestandteil „Röntgen“ nach dem Erforscher der Strahlen, Dr. Röntgen, benannt und dies sagt nichts über die Eigenschaft der Strahlen aus („hat keinen Bezug zum Begriffsinhalt“, DTT, 2010, M3:16). Andererseits werden Benennungen mit „Röntgen“ auch in der Alltagssprache verwendet (sogar als Verb „röntgen“). Bei der Benennung „Vertexdetektor“ hingegen ist der erste Bestandteil, „Vertex“, vermutlich vielen Besuchern nicht geläufig. Im Abschnitt, in dem er erwähnt wird, wird auch nicht weiter darauf eingegangen, was das Besondere an einem Vertexdetektor ist. Obwohl dies wie wir gesehen haben in populärwissenschaftlichen Texten nicht so üblich ist, wäre hier vielleicht eine kurze Definition nützlich, da auch das Bild diesbezüglich keinen grossen Informationsgehalt hat: „Vertex-Detektoren sind Teilchendetektoren mit besonders hoher Ortsauflösung. In Großdetektoren befinden sie sich dicht am Strahlrohr, um beispielsweise zu vermessen, wo sich der Zusammenprall der Teilchen ereignet hat. (<http://kworkquark.desy.de/lexikon/lexikon.vertexdetektor/1/>)“

³⁰ Dies ist auch ein Aspekt der Benennungskriterien von Benennungen. Siehe dazu weiter „Motiviertheit“, Kapitel 4.2.2.

es „Kosmoshintergrundstrahlung“, könnte man sich fragen: wie verhält es sich mit der Strahlung des Kosmoshintergrundes? Was ist überhaupt der Kosmoshintergrund? Mit „kosmische Hintergrundstrahlung“ wird klarer, dass es sich um Hintergrundstrahlung *im* Kosmos handelt. Ein weiteres Argument ist hier der Sprachgebrauch: Komposita mit „Elektromagnet“ und „Optik“ sind tatsächlich unüblich.

Die Kriterien (DTT, M3:13-20), mit denen man Benennungen bewerten kann, werden hier kurz erläutert. Zu jedem Kriterium werden passende Beispiele von ausgewerteten Benennungen aus dem Ausstellungstext angegeben.

1. Eineindeutigkeit

„Der Ausdruck Eineindeutigkeit beschreibt die Beziehung zwischen Begriffen und Benennungen“ (DTT, 2010, M3:14). Die Eineindeutigkeit ist „umkehrbar“. Wie wir gesehen haben, führen sowohl Kompositabildung als auch Mehrwortbenennungen zu einer genaueren (eindeutigeren) Benennung eines Gegenstandes oder Sachverhalts (Quantenschaum, Raumzeitblasen). Wenn Reduktionen (zum Beispiel „dieser Schaum“ oder „diese Blasen“) stattfinden, so muss sichergestellt werden, dass diese sich immer noch eindeutig auf den Begriff beziehen und dass dies auch so verstanden wird.

2. Normenkonformität

Die Normen- oder Gesetzeskonformität ist für die terminologische Auswertung des Ausstellungstextes insofern nicht relevant, als sie auf „rechtliche Konsequenzen“ bei der Verwendung einer vielleicht gebräuchlicheren oder verständlicheren Benennung ausgerichtet ist (DTT, 2010, M3:14). Höchstens bei den wenigen Benennungen aus dem Bereich Verwaltung müsste allenfalls darauf geachtet werden. Da der populärwissenschaftliche Ausstellungstext allerdings keinerlei Gewicht in der Rechtsprechung hat, wurde auch in diesem Fall der Verständlichkeit der Vorzug gegeben und es wurden die aussagekräftigsten Benennungen verwendet („Beschaffung“, „Verwaltungsdirektor“).

3. Motiviertheit

Die Motiviertheit wird auch Transparenz genannt und „erlaubt es dem Leser, den Begriff, den eine Benennung repräsentiert, auf Anhieb möglichst umfassend zu verstehen“ (DTT, 2010, M3:15). Dies kann durch die semantische Motiviertheit geschehen, wenn ein Alltagssprachliches Wort per

Analogie auf einen Begriff übertragen wird („Kacheln“). In „Determinativkomposita“ werden „Grundwörter“ durch ein oder mehrere „Bestimmungswörter“ ergänzt und erhalten so weitere Bedeutungselemente. Die Bedeutung lässt sich aus den Wortbestandteilen herleiten. Dies ist bei vielen Benennungen aus dem Ausstellungstext der Fall (Violdraht-Proportionalkammer, Kühlturbine, Magnetspulen, Strahlrichtung). Der Vorteil dabei ist, dass diese Benennungen „durch die Bildhaftigkeit unmittelbar einleuchtend“ sind (DTT, 2010, M3:15).³¹

4. Einheitlichkeit

Die Verwendung immer desselben Grundwortes lässt die semantische Beziehung zwischen den Begriffen deutlich hervortreten. In Bezug auf den Ausstellungstext wären dies zum Beispiel Benennungen mit dem Grundwort „-beschleuniger („Linearbeschleuniger“, „Teilchenbeschleuniger“), die von Benennungen mit dem Grundwort „-detektor („Allzweckdetektor“, „Sub-Detektor“, „Vertexdetektor“, „Strohröhrendetektor“) abgegrenzt werden sollen. Durch eine Kombination der Motiviertheit und der Einheitlichkeit des Grundwortes fällt den Besuchern die Einordnung und Unterscheidung zwischen den beiden Kategorien von Maschinen (und damit vielleicht auch ihren unterschiedlichen Funktionen) leichter. Die Einheitlichkeit ist auch als Folge der im Kapitel 1.3 zum Hypertext erläuterten Besonderheiten wichtig.

5. Sprachgebrauch

Deutsche Benennungen sollten sowohl nach den deutschen Wortbildungsregeln als auch innerhalb der Fachsprache konform und „unauffällig“ sein. Was die Gebräuchlichkeit betrifft, so wurde ihr gegenüber der Normenkonformität die grössere Wichtigkeit beigemessen.³² Andererseits wurde aber im Falle der gebräuchlicheren Benennung „Straw-Detektor“ dem deutschen Determinativkompositum „Strohröhrendetektor“ der Vorzug gegeben, vor allem, da es sich dabei um eine anschauliche

³¹ Zur Motiviertheit ist weiter zu sagen, dass es durch Unkenntnis der Sache zu einem „Scheinverständnis“ kommen kann – so gibt Niederhauser ein sehr passendes Beispiel: Hochtemperatur-Supraleitung spielt sich trotz der Benennung immer noch bei minus 240°C ab, was lediglich im Vergleich zu konventionellen Supraleitern eine „hohe“ Temperatur ist (Niederhauser/Danneberg, 1998:173f.).

³² Siehe dazu auch „Normenkonformität“.

deutsche Benennung handelt, die sich dazu noch unauffällig in die Liste weiterer Komposita mit dem Grundwort „Detektor“ einreihet.

6. Zielgruppengerechtigkeit

Der populärwissenschaftliche Text sollte auf keinen Fall zu sehr „vereinfacht“ werden, um zu vermeiden, dass die Besucher den Eindruck bekommen, man halte sie für dumm. Ein populärwissenschaftlicher Text muss dem Anspruch an einen angemessenen Fachlichkeitsgrad des Textes gerecht werden, der sich u.a. durch den Gebrauch von Fachvokabular ausdrückt. Wichtig ist dabei, dass die Bedeutung der Benennungen aus dem Kontext hervorgeht oder im dazugehörigen Abschnitt erklärt wird.

7. Kürze

Wenn „bei gleicher Genauigkeit“ eine kürzere Benennung verwendet wird, kommt dies „dem Wunsch nach Sprachökonomie nach und [kann] zu einer besseren Sprech- und/oder Merkbarkeit führen“ (DTT, 2010, M3:18). Da die Termini in der Ausstellung aber nicht in erster Linie ausgesprochen werden müssen, wurden hier andere Kriterien stärker gewichtet, so zum Beispiel die Normenkonformität bei „Super-Protonen-Synchrotron“ (statt „Super-Proton-Synchrotron“).

8. Sprechbarkeit

Gleiches gilt für die Sprechbarkeit, da es sich um Ausstellungsbesucher und nicht um Anwender handelt, die mit den Benennungen wirklich arbeiten müssen.

9. Sprachlich-logische Korrektheit

Die Frage der Sprachlogik stellt sich vor allem bei den verschiedenen oben erwähnten Mehrwortbenennungen mit Adjektiv und Substantiv. Der Zusatz „Mikrowelle“ aus der englischen Benennung „cosmic micro wave background radiation“ wird weggelassen, weil er von dem Umstand ablenkt, dass es sich um Strahlung handelt. Wäre „Hintergrundstrahlung im Kosmos“ logischer als „kosmische Hintergrundstrahlung“? Die Hintergrundstrahlung ist ja eigentlich nicht „kosmisch“, sondern „im Kosmos“ oder allenfalls „des Kosmos“. Andererseits lädt diese Verdeutlichung der Beziehung zwischen

den Benennungselementen vielleicht auch zu weitergehenden Überlegungen ein, welche vom eigentlichen Inhalt ablenken, während „kosmische Hintergrundstrahlung“ klar und aussagekräftig genug ist. Ein anderes Beispiel ist der „Test-Fusionsreaktor“. Die Frage stellt sich, was denn eigentlich getestet wird: die Fusionen oder der Reaktor. „Fusionsreaktor für Tests“ ist somit zwar länger aber sprachlich logischer.

10. Konnotationsfreiheit

Es handelt sich dabei um die Vermeidung von „unerwünschten Nebenbedeutungen“ (DTT, 2010, M3:19). Bei der Alltagssprache entlehnten Benennungen wie „Schale“ (einer Zwiebel) oder „Kacheln“ ist die Nebenbedeutung als Verständnishilfe aber gewollt. Ebenso verhält es sich mit den Akronymen, welche als Namen für die verschiedenen Experimente verwendet werden. Nur wenige sind nämlich bloss buchstabierbar³³: CMS, SPS und ISR. Bei den meisten anderen wurden die Wortelemente so arrangiert, dass sie nicht nur sprechbar sind, sondern sich aus dem Akronym ein neues Wort bildet. Meistens sind es Namen, die da wären: ATLAS, ALICE, LEIR, LEAR, ISOLDE. Da die ausgeschriebenen Formen der Akronyme in der Ausstellung nirgends zu finden sind, bleibt es für die Besucher bei den persönlicheren „Eigennamen“ der Experimente, besonders da diese in keiner Sprache den Artikel führen („von ATLAS“, „mit ALICE“).

11. Ableitbarkeit

Mit Ableitbarkeit ist gemeint, dass sich „der Fachwortschatz durch grammatikalische Anpassungen [...] erweitern“ lässt (DTT, 2010, M3:20). Dies geschah bei „Teilchenbeschleuniger“, abgeleitet vom Verb „beschleunigen“, aber auch bei „Spurerkennung“ oder „Strahlführung“. Dies ermöglicht durch die Ableitung vom Verb praktischerweise eine Aussage über die Vorgänge, die dabei stattfinden, was zur Anschaulichkeit des Materials beiträgt.

Im Folgenden sollen einige Benennungen auf sämtliche Bewertungskriterien hin überprüft werden. Dies ist tabellarisch dargestellt. Das Symbol ✓ bedeutet, dass die

³³ Das heisst, nicht als Wort aussprechbar, wie zum Beispiel „UNO“ sondern nur in Einzelbuchstaben, wie „WHO“.

Vorzugsbenennung dem Bewertungskriterium entspricht, **x** bedeutet, dass sie ihm nicht entspricht, $\frac{1}{2}$ bedeutet, dass sie ihm zwar nicht oder nur bedingt entspricht, dass ein anderes Kriterium für diese Benennung aber stärker gewichtet wurde, und **N**, dass das entsprechende Kriterium für diese Benennung nicht relevant ist.

BENENNUNG			BEWERTUNGSKRITERIEN FÜR DIE VORZUGSBENENNUNG										
Benennung im AT	Vorzugsbenennung	Weitere mögliche Benennungen	Eineindeutigkeit	Normenkonformität	Motiviertheit	Einheitlichkeit	Sprachegebrauch	Zielgruppen-gerechtigkeit	Kürze	Sprechbarkeit	Sprachlich-logische Korrektheit	Konnotations-freiheit	Ableitbarkeit
Big Bang	Urknall	Big Bang	✓	N	✓	N	✓	✓	N	N	✓	✓	N
hydrogen	Wasserstoff	Hydrogen	✓	N	✓	X	✓	✓	N	✓	✓	✓	✓
cosmic microwave background	kosmische Hintergrundstrahlung	Hintergrundstrahlung im Kosmos, kosmischer Mikrowellenhintergrund	✓	N	✓	✓	✓	✓	✓	N	✓	✓	✓
particle collision	Teilchenkollision	Teilchenzusammenprall	✓	N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
scanning tunnelling microscope	Rastertunnelmikroskop	Tunnelscanmikroskop	✓	N	½	✓	✓	½	½	N	✓	✓	½
drive	Laufwerk	Drive	✓	N	✓	N	✓	✓	N	N	✓	✓	✓
total cross section	Wirkungsquerschnitt	Gesamtquerschnitt	✓	N	✓	✓	✓	½	N	N	✓	✓	✓
beam line	Strahlführung	Strahllinie, Strahlspur	✓	N	✓	½	✓	✓	N	N	✓	✓	✓
liquid nitrogen	Flüssigstickstoff	flüssiger Stickstoff	✓	N	✓	½	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
straw tubes	Strohröhrendetektor	Straw-Detektor, Übergangsstrahlungsdetektor	✓	N	✓	½	✓	✓	½	✓	✓	½	✓
time projection chamber	Spurendriftkammer	Zeitprojektionskammer	✓	N	✓	✓	½	✓	✓	✓	✓	½	✓
'scintillator' materials	Szintillationsmaterialien	Flimmermaterialien	X	N	X	✓	½	X	X	X	✓	✓	✓
tiles	Kacheln	Platten, Plättchen	½	N	✓	½	✓	✓	✓	✓	✓	½	½
drift tubes	Driftröhren	---	✓	N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
fusion power	Fusionsenergie	Fusionskraft	✓	N	✓	✓	✓	✓	½	½	✓	✓	✓
readout chambers	Nachweiskammern	Ausleseammern, Auswertungskammern	✓	N	✓	✓	✓	✓	N	N	✓	✓	✓
tracker	Spurerkennung	Tracker	✓	N	✓	✓	✓	✓	½	N	✓	✓	✓
air pads	Luftkissen	Luftpads	½	N	✓	N	✓	✓	½	N	✓	½	N
fusion test reactor	Fusionsreaktor für Tests	Test-Fusionsreaktor	½	N	✓	✓	✓	✓	½	N	✓	✓	N

Abb. 3: Ausgewertete Benennungen

Wie man in der Auswertung sehen kann, sind die wichtigsten Kriterien wie Motiviertheit, Eineindeutigkeit und Zielgruppengerechtigkeit meistens oder sogar immer erfüllt. Normenkonformität, Kürze und Sprechbarkeit wurden jedoch nicht als relevant erachtet.

5 Übersetzungswissenschaftliche Aspekte

5.1 Bedeutung der Kommunikationssituation und Textfunktion

Im Folgenden soll auf die besondere Kommunikationssituation des Ausstellungstextes eingegangen werden. Der Ausstellungstext wurde von Experten auf dem Gebiet der Physik verfasst, die Laien die Arbeit des CERN näherbringen wollen. Weil diese Arbeit auch von Steuergeldern der Mitgliedstaaten finanziert wird, muss der Sinn dieser Forschung auch ein bisschen „verkauft“ werden. Vor allem aber ist die Forschungsarbeit von der Alltagswelt der meisten Besucher weit entfernt und ihre Grundlagen und Instrumente müssen ihnen zuerst präsentiert und nähergebracht werden.

Die Besucher ihrerseits sind zum CERN gefahren, das heisst, sie werden ein gewisses Interesse daran haben, mehr über das CERN zu erfahren. Ausserdem werden sie auch ein Vorwissen mitbringen (nämlich zum Beispiel ein mehr oder weniger lange zurückliegendes Schulwissen über Physik). Alles in allem ist die Kommunikationssituation aber nicht ganz einfach, da „es sich um ein ganz eigenes Kommunikationsmedium [handelt]“ (Dawid/Schlesinger, 2002:17). Dawid und Schlesinger beschreiben die Besonderheit des Mediums Ausstellungstext folgendermassen:

Eine Handvoll Kuratoren, Architekten, Texter und Pädagogen spricht zu einer grossen Menge von Menschen,

- deren Anzahl sie nicht überschauen oder vorhersagen können;
- die sie nicht kennen;
- von denen sie räumlich getrennt sind;
- von denen sie zeitlich getrennt sind;
- denen sie niemals von Angesicht zu Angesicht gegenüberstehen und die daher anonym bleiben;
- von denen sie im Augenblick der Kommunikation keine Rückmeldung erhalten können, die Rückschlüsse auf Verständnis, Zustimmung oder Interesse zulassen. (Dawid/Schlesinger, 2002:17f)

Eine weitere Herausforderung ist, dass die Besuchergruppe, was ihre soziale Schicht und ihre Interessen betrifft, sehr „heterogen zusammengesetzt“ ist (Dawid/Schlesinger, 2002:18). Dieser heterogenen Gruppe von Besuchern soll also das CERN als Institution nähergebracht und Wissen darüber vermittelt werden.

Diese Kommunikationsfunktion³⁴ gibt den Ausschlag für die Übersetzung und auch die Übersetzungsstrategie wurde daraus entwickelt. Nord nennt den „Entwurf der Übersetzungsstrategie“ als dritten Schritt „nach der Interpretation des Auftrags und der Analyse des [Ausgangstextes]“ (Nord, 2002:60). Sie übernimmt für ihre Definition der Strategie die folgende Definition aus dem Duden: „Plan des eigenen Vorgehens, der dazu dient, ein [...] Ziel zu erreichen, und in dem man diejenigen Faktoren, die in die eigene Aktion hineinspielen könnten, von vornherein einzukalkulieren versucht“ (<http://www.duden.de/rechtschreibung/Strategie>). Wie wir gesehen haben, sind diese Faktoren die *Kommunikationssituation* (die gleich bleibt, das heisst, der deutsche Text erscheint nicht als illustriertes Buch), die *Textsortenkonventionen* eines „didaktisch-instruktiven“ (Göpferich, 1998:91), populärwissenschaftlichen Ausstellungstextes³⁵ und die *Sprachnormen*, hier darauf bezogen, was für deutschsprachige Besucher ansprechend ist.³⁶ (Nord, 2002:60) Das folgende Zitat von Nord verdeutlicht, wie diese Faktoren letztlich dem Ziel untergeordnet sind:

Auf jeder Ebene ist zu fragen, ob – gemäß dem Übersetzungsauftrag – eine mehr oder weniger genaue Reproduktion der Merkmale des Ausgangstexts oder vielmehr eine Anpassung an die Bedingungen der im Auftrag vorgesehenen zielkulturellen Rezeptionssituation am ehesten zum gewünschten Translationsziel führt. (Nord, 2002:61)

Auch Reiss und Vermeer führen aus, inwiefern das „Primat des Zwecks“³⁷ für alle „Translationsentscheidungen“ wichtig ist (Reiss/Vermeer, 1984:95):

Eine Handlung bezweckt die Erreichung eines Zieles und damit die Änderung eines bestehenden Zustandes. [...] Eine Translationstheorie als spezielle Handlungstheorie geht von einer Situation aus, in der bereits immer schon ein Ausgangstext als „Primärhandlung“ vorhanden ist; die

³⁴ Vergleiche dazu auch Kapitel 1.2.1 zur Textsorte.

³⁵ Siehe dazu insbesondere Kapitel 5.3.1.5 für kommentierte Beispiele zum Registerwechsel in der Übersetzung.

³⁶ Nord versteht unter Sprachnormen „sowohl [...] Regeln des Sprachsystems als auch [...] Gebrauchsnormen und „Üblichkeits“-Bedingungen“ (Nord, 2002:60).

³⁷ Zweck, Ziel, Skopos und Funktion werden bei Reiss/Vermeer synonym verwendet. Vergleiche Reiss/Vermeer 1984:96.

*Frage ist also, [...] ob, was und wie weitergehandelt
[übersetzt/gedolmetscht] werden soll. [...]. (Reiss/Vermeer,
1984:95)*

In dieser Definition, die die theoretische Grundlage für die nachfolgende Diskussion liefert, soll das „Wie“ als Übersetzungsstrategie verstanden werden. Im vorliegenden Fall wurde das „Ob“ aus den folgenden Gründen bejaht: Deutsch ist die erste Landessprache der Schweiz, dem Land, in dem sich die Ausstellung befindet. Darüber hinaus stammen sehr viele der am CERN arbeitenden Forscher aus Deutschland oder Österreich. Wahrscheinlich auch deshalb kommen viele Besucher aus den anderen deutschsprachigen Ländern in die Ausstellung. Diesen sollte die Ausstellung in ihrer Muttersprache verfügbar gemacht werden. „Der Handlungsskopus ist der Handlungsart übergeordnet: Das „Wozu“ bestimmt, ob, was und wie gehandelt wird“ (Reiss/Vermeer, 1984:100).

Was das „Was“ betrifft, so wurde entschieden, das gesamte Textmaterial der Ausstellung inklusive dem Faltblatt zu übersetzen. Der Zweck der Wissensvermittlung und die Ausrichtung (das heisst das Zielpublikum) blieben gegenüber der französischen und englischen Version unverändert. Die deutschsprachigen Besucher haben ebenso wie die französisch- und englischsprachigen die berechnete Erwartung, einen ansprechenden und verständlichen Text vorzufinden. Soweit zur Funktion: *Der Ausstellungstext als ansprechender und leicht rezipierbarer Text (auch) für deutschsprachige Besucher.* Die Art und Weise, in der dieses Ziel erreicht werden soll, war die eigentliche Übersetzungsstrategie. Aufgrund struktureller Unterschiede zwischen der Ausgangs- und der Zielsprache sowie der räumlichen Situation, in der die Besucher sich befinden, mussten daher also vom Ausgangs- zum Zieltext verschiedene Anpassungen vorgenommen werden.³⁸ Es geht dabei, wie wir an verschiedenen Stellen gesehen haben, um die Verständlichkeit und darum, dass der Text anregend ist und schnell rezipiert werden kann. Reiss und Vermeer sagen weiter, dass eine Handlung von ihrem Zweck bestimmt wird und eine Funktion ihres Zwecks ist. „Für die Translation gilt, ‚Der Zweck heiligt die Mittel‘“ (Reiss/Vermeer, 1984:101). Diese Mittel werden in der abschliessenden sprachlichen Untersuchung, bestehend aus

³⁸ Die räumliche Situation, d.h. der Ausstellungsraum ist der gleiche für den Ausgangs- und Zieltext. Seine Gestaltung hat jedoch einen Einfluss auf die Rezeption des Textes. Siehe Kapitel 2 zur Museumspädagogik.

kommentierten Beispielen zu einzelnen sprachlichen Merkmalen, diskutiert, indem gezeigt wird, was sich in der Übersetzung verändert und wie.

5.2 Wiederaufnahme der theoretischen Aspekte in Bezug auf die Übersetzungsstrategie

Die im ersten Teil theoretisch behandelten Aspekte, nämlich das Hypertextkonzept, die Museumspädagogik, Unterschiede zwischen wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Texten und Terminologie sollen im Folgenden konkret auf den Ausstellungstext und die Übersetzungsarbeit bezogen werden. Dabei werden Schlüsse gezogen, wie diese Aspekte den Übersetzungsprozess und das Resultat beeinflusst haben.

5.2.1 Museumspädagogik und Übersetzungsstrategie

Zuerst einmal rezipieren die Besucher die Ausstellung, wie wir eingangs gesehen haben, stehend und in ziemlicher Dunkelheit. Durch daraus resultierende Ermüdungserscheinungen könnte es sein, dass die Besucher sich nur noch den Abbildungen widmen und ihnen die differenzierteren Informationen des Textes entgehen. Diese Problematik muss mit sprachlichen Mitteln angegangen werden. Auch bei der Übersetzungsarbeit muss also darauf geachtet werden, dass der Zieltext sich leicht und schnell lesen lässt. Die räumliche Anordnung und äusseren Gegebenheiten, die die Rezeption beeinflussen, sind wichtige Faktoren, die bei der Erstellung des Zieltextes berücksichtigt werden müssen.³⁹

Im Folgenden sollen vier der von Dawid und Schlesinger aufgestellten Regeln von sprachlichen Merkmalen, die es bei der Formulierung des Zieltextes zu berücksichtigen gilt, ausgeführt. Im Anschluss daran werden kurze Abschnitte der Ausstellung entsprechend der Regeln umformuliert.

- Überschriften

Die Überschriften sind in der Ausstellung wichtig, weil sie ja oft das einzige sind, was die Besucher sehen können, bevor sie darauf tippen und den entsprechenden Textknoten lesen können. Meist sind die Überschriften aber nicht besonders aussagekräftig, sondern es steht lediglich ein Wort, z.B. „ALICE“ oder „Spurerkennung“. Das heisst, die Besucher müssen sich schon für Spurerkennung interessieren, bevor sie überhaupt wissen, worum es sich dabei handelt. Im Ausgangstext wurde mehr auf die Übersichtlichkeit und den Informationsgehalt als

³⁹ Vergleiche dazu Kapitel 5.3 zur sprachlichen Untersuchung.

auf den Unterhaltungswert geachtet. So wissen die Besucher, dass es in diesem Abschnitt um Kalorimeter, ATLAS oder den PET-Scanner gehen wird. Bei der Übersetzung konnte davon nicht allzu sehr abgewichen werden, (zum Beispiel „Flitzende Teilchen aufschnappen“), ohne dass dies eine ganz andere Ausrichtung der Ausstellung zur Folge gehabt hätte. Das würde vielleicht mehr Neugierde wecken, aber auf Kosten der Orientierung gehen und wäre darüber hinaus eine eigentliche Adaptation des Textes.

- Passiv

Dass Dawid und Schlesinger Passivkonstruktionen kategorisch ablehnen, steht im Widerspruch zur Aussage von Göpferich, dass sie „ermöglichen [...], das Bewirkte, Erzeugte, Bearbeitete etc. in Subjektpositionen zu stellen“ (Göpferich, 1998:171), was auch von Vorteil sein kann.

Insgesamt gesehen scheint es etwas radikal, ein grundlegendes Verbot der Passivkonstruktion auszusprechen. Mit ihr lassen sich nämlich unbelebte Subjekte in unbelebte Objekte umwandeln: „Diese Schichten absorbieren alle Teilchen außer Myonen. Die äußersten Schichten messen Myonen.“ ist im Deutschen weniger idiomatisch als: „Diese Schichten absorbieren alle Teilchen außer Myonen. Diese werden in den äußersten Schichten gemessen.“⁴⁰

- Nominalstil

Der Nominalstil liess sich in der Übersetzung in der Regel gut vermeiden. Zum Beispiel wurde nicht: „Dies dient zur Bestimmung des Impulses der Teilchen.“ geschrieben, sondern eine Formulierung im Verbalstil gewählt: „Dadurch lässt sich der Impuls der Teilchen bestimmen.“ Andererseits liesse das Potential an Verben, „die möglichst grosse Aktivität ausdrücken und vor den Augen der Leser Bilder entstehen lassen“ (Dawid/Schlesinger, 2002:55), an manchen Stellen noch etwas mehr ausschöpfen, als dies im Zieltext letztlich der Fall ist: „*Aus der Rekonstruktion der Bahnen und der Energie dieser Teilchen kann Aufschluss über den Urzustand der Materie gewonnen werden.*“ könnte umformuliert werden zu: „*Die Forscher rekonstruieren (oder sogar: verfolgen) die Bahnen und messen die Energie der Teilchen und erfahren so mehr über den Urzustand der Materie*“ (oder: wie die Materie ursprünglich aufgebaut war). Zu kritisieren wäre eventuell, dass die Forscher etc. dann zu oft erwähnt würden. Dazu kommt, dass diese Umstellungen mit den

⁴⁰ Vergleiche dazu den Strukturvergleich im Kapitel 5.3.

Verben den Eindruck erwecken können, dass den Besuchern nicht zugetraut wird, dass sie die Fachsprache verstehen, und der Text dann weniger „wissenschaftlich“ formuliert ist. Es muss also eine gute Balance gefunden werden.

- Komplexe Sätze

Wenn man sich an den Lesevorgang (das Auge erfasst einige Wörter, das Gehirn Sinneinheiten) erinnert, so wird klar, dass ein Schachtelsatz, der als „langer, kompliziert gebauter Satz mit mehrfach untergeordneten Nebensätzen (<http://www.duden.de/rechtschreibung/Schachtelsatz>) definiert werden soll, in Bezug auf die Verständlichkeit das grösste Problem für die Besucher darstellen würde. Daher wurde in der Übersetzung an vielen Stellen entschieden, aus einem Satz mit Nebensätzen stattdessen zwei Sätze zu machen.⁴¹

Im Folgenden die Gegenüberstellung einiger Abschnitte aus dem Zieltext. Die linke Spalte zeigt den Zieltext, wie er in der Ausstellung tatsächlich verwendet wird. In der rechten Spalte sind Beispiele, wie man die oben besprochenen Regeln maximal hätte umsetzen können, auch wenn das Resultat dann oft etwas salopp klingt oder sogar an „vereinfachtes Deutsch“ erinnert⁴² und wie gesagt eigentlich eine Adaptation des Ausgangstextes wäre.

WIE FUNKTIONIERT EIN DETEKTOR?	DICKE SCHICHTEN FINDEN WINZIGE TEILCHEN
<i>WIE FUNKTIONIERT EIN DETEKTOR?</i>	<i>WIE LÄUFT SO EIN DETEKTOR?</i>
<i>Ein Detektor besteht aus mehreren Schalen, wie eine Zwiebel. Jede Schale des Detektor misst bestimmte Teilcheneigenschaften. Die inneren Schichten sind (fast) transparent, während die äußeren Schichten sehr dicht sind.</i>	<i>Ein Detektor besteht aus mehreren Schalen, wie eine Zwiebel. Jede Schale des Detektor misst bestimmte Teilcheneigenschaften. Die inneren Schichten sind (fast) transparent, während die äußeren Schichten sehr dicht sind.</i>
<i>Die inneren Schichten messen die Spuren geladener Teilchen, deren Bahn durch ein Magnetfeld gekrümmt wird. Dadurch lässt sich der Impuls der Teilchen bestimmen.</i>	<i>Ein Magnetfeld lenkt die Bahn der geladenen Teilchen ab. Die inneren Schichten messen dann ihre Spuren und bestimmen den Impuls der Teilchen.</i>
<i>Die nächsten Schichten sind Kalorimeter, um die Energie der Teilchen zu messen. Diese Schichten absorbieren alle Teilchen außer Myonen. Diese werden in den äußersten Schichten gemessen.</i>	<i>Die Kalorimeter in den nächsten Schichten sind Kalorimeter, sie messen die Energie der Teilchen. Diese Schichten absorbieren alle Teilchen außer Myonen. Die äußersten Schichten messen Myonen.</i>

⁴¹ Für Beispiele siehe Kapitel 5.3.1.4.

⁴² In einem Zeit-Artikel wird das „Büro für Leichte Sprache“ in leichter Sprache folgendermassen beschrieben: „In Bremen gibt es ein Büro für Leichte Sprache. Das Büro ist von der Lebenshilfe Bremen. Das Büro gibt es seit dem Jahr 2004. Es war das erste Büro für Leichte Sprache in Deutschland. Heute gibt es ganz viele Büros in Deutschland. Im Büro für Leichte Sprache in Bremen schreiben 7 Menschen Texte in Leichter Sprache“ (Strassmann, 2014). Das ist natürlich nicht die Idee der Ausstellung. Für wirklich verwendete Beispiele siehe Kapitel 5.3.1.1 bis 5.3.1.5.

SPURERKENNUNG	FLITZENDE TEILCHEN AUFSCHNAPPEN
Wenn geladene Teilchen (gasförmige oder feste) Materie passieren, setzen sie Elektronen frei. Durch elektrische Felder können die Elektronen auf Sensoren gesammelt werden. Die Position des Sensors, der eine Ladung gemessen hat, gibt Aufschluss über einen Punkt der Teilchenspur.	Wenn geladene Teilchen (gasförmige oder feste) Materie passieren, setzen sie Elektronen frei. Elektrische Felder sammeln die Elektronen auf Sensoren. Die Position des Sensors, der eine Ladung gemessen hat, zeigt uns einen Punkt der Teilchenspur.
ALICE-DETEKTOR	EXTREM DICHTER ENERGIE!
Dieser Detektor wurde entwickelt, um eine Vielzahl von Teilchen zu erfassen, die entstehen, wenn zwei schwere Kerne (z. B. Blei) kollidieren. Aus der Rekonstruktion der Bahnen und der Energie dieser Teilchen kann Aufschluss über den Urzustand der Materie gewonnen werden.	Diesen Detektor entwickelte das CERN, um eine Vielzahl von Teilchen zu erfassen, die entstehen, wenn zwei schwere Kerne (z. B. Blei) kollidieren. Die Forscher rekonstruieren die Bahnen und messen die Energie der Teilchen und erfahren so mehr über den Urzustand der Materie.

5.2.2 Populärwissenschaft und Übersetzungsstrategie

Für die Übersetzungsstrategie von wissenschaftlichen, aber auch populärwissenschaftlichen Texten spielt vor allem die Terminologie und die Verständlichkeit eine Rolle. Durch den stärkeren Fokus auf die Terminologie ist die Übersetzung von wissenschaftlichen Texten geradliniger, da die Terminologie oft eindeutiger zu übersetzen ist und der ansprechende Stil und die leichtere Verständlichkeit in den Formulierungen eine untergeordnete Rolle spielt. Bei der Übersetzung von populärwissenschaftlichen Texten ergibt sich auf den Text bezogen andererseits ein Vorteil, wenn Übersetzer (das heisst normalerweise nicht Experten auf dem Fachgebiet) einen Text übersetzen: wenn die Übersetzerin eine Äusserung, Erklärung oder Beschreibung im Ausgangstext nicht versteht, kann sie davon ausgehen, dass dies den Rezipienten, die ebenso keine Fachleute auf dem Gebiet sind, ähnlich ergehen dürfte, und kann dann für den Ausgangs- und Zieltext eine andere Formulierung finden, wie dies bei der CERN-Ausstellung an einigen Stellen geschah. Vergleiche dazu insbesondere Kapitel 5.2.5 der vorliegenden Arbeit für praktische Beispiele aus der Übersetzung.

Auch der Gedanke, dass die Besucher einen gewissen Fachlichkeitsanspruch an den Text haben, hat einen Einfluss auf die Übersetzungsstrategie. Dies hatte zur Folge, dass der Zieltext stellenweise fachlicher formuliert wurde als der Ausgangstext. Siehe dazu Kapitel 5.1.3.5 für kommentierte Beispiele.

5.2.3 Hypertext und Übersetzungsstrategie

Die besondere Struktur des Ausgangstextes, das heisst die unterschiedlichen Hierarchiestufen zwischen den Textknoten, haben den Übersetzungsprozess beeinflusst.

Die Abfolge des Ausgangstextes erschloss sich erst durch die Extraktion desselben aus der Datenbank, und zwar so, wie er im Anhang II vorliegt. Dadurch, dass die Abfolge halbfrei war, entsprach die Übersetzungsarbeit der Rezeption durch die Besucher: In der Darstellungsform der Ausstellung bieten sich manche der in der Horizontalen gleichwertigen Titel den Besuchern in einigen Touchballs als in Brown'scher Bewegung durch den Raum gleitende Teilchen dar, die angewählt werden können. Je nach Touchball ergibt sich keine logische Abfolge (zum Beispiel beim Touchball 1 die Titel Raum, Zeit und Temperatur). Die fehlenden mikrotextuellen Bezüge der Knoten zueinander (zum Beispiel durch Konnektoren) machten dies zwar nicht notwendig, dennoch ergab sich bei der Zusammenstellung und Übersetzung mehr oder weniger automatisch das Muster, dass die einzelnen Äste jeweils bis zum Ende verfolgt werden und dann der nächste Ast wieder am stammesnächsten Punkt beginnt. In der Fliesstextversion wurde dies durch unterschiedliche Schriftgrößen grafisch markiert. Tatsächlich wirkt der Text beim Durchlesen abgesehen von der In-sich-Abgeschlossenheit der einzelnen Knoten mitunter seltsam unzusammenhängend und eher im Stile einer Aufzählung (nach dem Schema „das ist das...“, „das ist das...“).

Eine weitere Besonderheit der Übersetzungsarbeit ergab sich durch die „Unabgeschlossenheit“ des Themas als solches. Der Text ist insofern „dauerhaft unabgeschlossen“, als neue Entwicklungen, Ereignisse oder Forschungsergebnisse des CERN vom Verfasser oder im vorliegenden Fall von der Übersetzerin verhältnismässig einfach in das Hypertextgefüge eingespeist werden können, wie dies im Rahmen der Übersetzungsarbeit auch einige Male geschah. Bei einem Sachbuch zum Thema wäre dergleichen nur durch eine neue Auflage möglich (Müller-Hagedorn, 2002:33).⁴³ Storrer nennt diese Eigenschaft „dynamisch“ und merkt an, dass „[a]uch der Inhalt [...] nicht statisch [ist], sondern bei Bedarf jederzeit verändert und aktualisiert werden [kann]“ (Storrer, 2008:8).

⁴³ Vergleiche hierzu auch das Kapitel 5.2.5, „Formale Vorgaben und praktische Probleme“.

Schliesslich werden im Folgenden Überlegungen dazu angestellt, inwiefern multimediale Elemente die Übersetzungsarbeit beeinflussen. Die Gefahr, die dabei besteht, ist natürlich, dass die Besucher, von der ungleich grösseren Unmittelbarkeit des Bildmaterials verführt, den Texten keine Beachtung mehr schenken⁴⁴ und ihnen dadurch der differenziertere Informationsgehalt entgeht. Es ist daher umso wichtiger, die Texte möglichst ansprechend zu gestalten, damit die Besucher einen Einstieg finden und nicht weitergehen oder weiterklicken.

Die unterstützende Wirkung der Bilder, Animationen und Videos war auch bei der Übersetzung hilfreich. Der Suche nach der bestverständlichen Formulierung war insbesondere stellenweise ein Ende gesetzt, als man sich darauf verlassen konnte, dass etwaige Unklarheiten auch durch die Abbildungen behoben werden können.⁴⁵

5.2.4 Terminologie und Übersetzungsstrategie

Auf die Übersetzungsarbeit bezogen, stand bei der Terminologiearbeit der Gedanke im Vordergrund, dass hier bei einem konkreten Projekt, welches dann auch in der Öffentlichkeit erscheinen würde, die Gelegenheit ergriffen werden konnte, als Übersetzer auf die unhinterfragte Übernahme englischer Benennungen so weit wie möglich zu verzichten und bemüht zu sein, eine deutsche Entsprechung zu finden. Dies gelang auch weitestgehend. Mit diesem Element der Übersetzungsstrategie sollte ein kleiner Beitrag gegen den Domänenverlust geleistet werden, indem gezeigt wurde, dass man sich auch mit deutschen Benennungen über technologische und wissenschaftliche Themen unterhalten kann.

Darüber hinaus half die Terminologiearbeit auch bei Überlegungen zur Verständlichkeit der Ausstellung insgesamt, insbesondere durch den Einblick in die Art und Weise, in der Termini zumeist nicht direkt definiert, sondern durch den Kontext oder eine Abbildung erläutert werden. Eine gängige Form, wie das Verständnis der Termini erleichtert werden kann, ist die Berücksichtigung des „Mitteilungswert[s] von Satzteilen“ (Göpferich, 1998:159) in der Thema-Rhema-Syntax, im Folgenden beschrieben von Göpferich:

*Allgemein kann man sagen, dass als Thema derjenige
Satzteil bezeichnet wird, der den niedrigsten
Mitteilungswert besitzt und als Träger bekannter*

⁴⁴ Abgeholfen wird dem auch durch die Struktur der Knoten in Titel-Bild-Text.

⁴⁵ Dies bedeutet natürlich nicht, dass unsorgfältig übersetzt werden konnte, sondern vielmehr, dass die Vermittlung der Inhalte nicht alleine aus dem Text hervorgeht.

Information angesehen werden kann. Bekannt sein kann seine Information dabei aufgrund der Situation, der im Text zuvor gelieferten Informationen oder aufgrund der Tatsache, dass es sich um beim Empfänger voraussetzbares (Allgemein-)Wissen handelt. Rhema wird der Satzteil genannt, der den höchsten Mitteilungswert besitzt und etwas (Neues) über das Thema aussagt. (Göpferich, 1998:159)

Im Folgenden soll bei einigen Beispielen aus dem Ausstellungstext die Markierung von Thema und Rhema vorgenommen werden. Das erste Beispiel stammt aus dem Touchball 8 („Spin-Offs“).

Prozessor (CPU)

1. Satz: Der Prozessor (Thema 1) eines modernen Computers enthält Millionen von Transistoren (Rhema 1).
2. Satz: Um die ersten Transistoren (Thema 2 = Rhema 1) bauen zu können, musste man die Quantenphysik von Halbleitern (Rhema 2) verstehen.
3. Satz Dies (Thema 3) gelang erstmals Walter Brattain, John Bardeen und William Shockley 1947.

Hier wird über das erste Thema, den Prozessor, gesagt, dass er Transistoren enthält. Somit wird die im Abschnittitel aufgeführte Benennung in einem ersten Schritt näher beschrieben. Im nächsten Satz werden dann die Transistoren zum Thema. Sie werden in ihrem Aufbau nicht genauer definiert, da es in dem Abschnitt um die Erfindung des Prozessors geht. Darum beschreibt das Rhema dieses Satzes auch die der Erfindung zugrundeliegende Physik. Das Bild eines Transistors, das in der Ausstellung zu sehen ist, vervollkommen das Verständnis. Im dritten Satz wird es als Thema wieder aufgenommen, aber nicht definiert, da dies zu weit führen würde. Man kann sich als Besucher sagen, dass es genügt, wenn die drei genannten Wissenschaftler die erwähnte „Quantenphysik von Halbleitern“ verstehen und man selbst als Laie einfach den Computer verwenden kann, dessen Funktionsweise auf der Entdeckung beruht. Das zweite Beispiel ist aus dem Touchball 5 („Detector Engineering“). Mit diesem Abschnitt sollen Myonkammern erklärt werden.

MYONKAMMER

1. Satz: Die Myonkammern (Thema 1) befinden sich an der Außenseite des Detektors und registrieren Myonen (schwere Elektronen) (Rhema 1).
2. Satz: Myonen (Thema 2 = Rhema 1) sind die einzigen geladenen Teilchen, die den gesamten Detektor durchqueren können (Rhema 2).

3. Satz: Myonen (Thema 2) hinterlassen eine Ionisationsspur in den Driftröhren, die es erlaubt, ihren Weg zu rekonstruieren (Rhema 3).

Das Muster ist hier ähnlich wie im ersten Beispiel, nur dass hier zur „Myonkammer“ als erstes gesagt wird, was sie mit den Myonen macht. Als nächstes müssen dann die Myonen selbst erklärt werden. Dies geschieht in den nächsten beiden Sätzen, indem durch das Rhema des Themas „Myonen“ mehr Informationen über diese gegeben wird.

Die Auswertung der Terminologie war aus verschiedenen Gründen hilfreich. Verschiedene Schlüsse konnten daraus gezogen werden. Einerseits wurde in den Sätzen, in denen ein Terminus ausgewertet wurde, darauf geachtet, inwiefern der Terminus motiviert ist, das heisst sozusagen selbsterklärend, oder inwiefern sich die Bedeutung aus dem Zusammenhang oder der Abbildung besser erschloss. Diese Auseinandersetzung mit den Bewertungskriterien ermöglichte eine andere Sichtweise auf die Thematik der Verständlichkeit. Die meisten der Termini erwiesen sich als motiviert oder aus dem Kontext erklärbar. Wenn dies nicht der Fall war, wurde eine Benennung vorgezogen, die diesen Kriterien entsprach.

Eine weitere Herangehensweise an die Verständlichkeit der Terminologie ist folgende: Göpferich erwähnt eine Theorie von Fillmore über Kognition, bei welcher auf die Terminologie bezogene Elemente ausgewertet werden können. Es handelt sich dabei um die „Scenes-and-Frames-Semantik“:

Nach Fillmore (1977b: 62 f.) läuft der Kommunikations- und Verstehensprozess so ab, dass sprachliche Formen unterschiedlicher Komplexität (frames) im Gedächtnis des Rezipienten bestimmte Vorstellungen (scenes) wachrufen, die auf seinen Erfahrungen beruhen. (Göpferich, 1998:193)

Von einem Experten geschriebene Ausstellungstexte müssen durch die gewählten Begriffe (oder „Frames“) in den Köpfen der Besucher „Scenes“ hervorrufen, die sie in ihr Wissen integrieren können. Daran schliessen auch Evelyn Dawid und Robert Schlesinger an und sprechen von einer „Sprachbarriere“ zwischen Sprechern und Empfängern: Die Sprachbarriere besteht in den unterschiedlichen Scenes und Frames, da „Sprecher und Empfänger über unterschiedliche sprachliche Zeichenvorräte [verfügen], das heisst der Sprecher verwendet Wörter, die der Empfänger nicht kennt“

(Dawid/Schlesinger, 2002:19). Die Ausstellungsmacher müssen sich also in die Ausstellungsbesucher hineinversetzen, wenn sie die Texte schreiben.

Durch die terminologische Untersuchung sollte sichergestellt werden, dass der verwendete Fachwortschatz auf die eine oder andere Weise, sei es durch direkte Definitionen oder durch Beschreibungen, verständlich vermittelt wird und diese „frames“ die passenden „scenes“ bei den Besuchern wachrufen. Dabei war der Übersetzungsprozess auch ein gutes Mittel, die Verständlichkeit des Ausgangstextes und auch des Zieltextes zu untersuchen. Die Terminologiarbeit führte auch dazu, bei der Suche nach dem bestverständlichen Terminus einen Schritt weiterzugehen und sich nicht auf die bloße Übernahme eines englischen Terminus zu beschränken. Aus Gründen der Gewichtung innerhalb der Arbeit findet sich die Tabelle mit 176 ausgewerteten Benennungen im Anhang I. Viele von ihnen sind mit Anmerkungen versehen, die Gedankenprozesse veranschaulichen sollen.

5.2.5 Formale Vorgaben und praktische Probleme

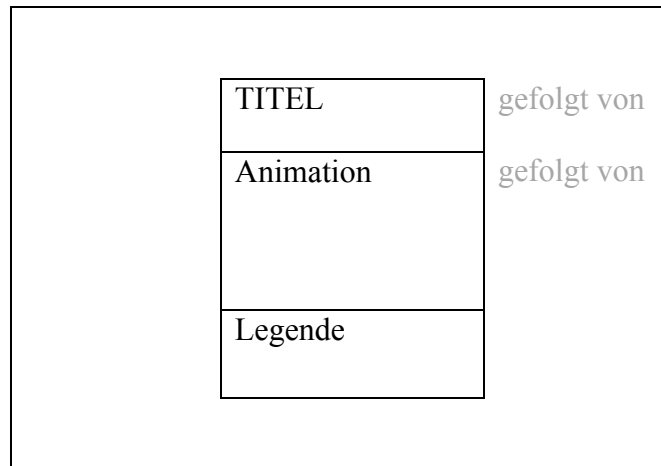
Bei der Übersetzung des Ausstellungstextes kamen auch praktische Fragen in verschiedener Form auf, die einen veränderten Umgang mit dem Zieltext oder teilweise sogar dem Ausgangstext erforderlich machten. Dazu gehörte unter anderem der Umstand, dass gewisse Aussagen oder ganze Abschnitte des Textes in der Zwischenzeit überholt waren oder dass der Übersetzerin vereinzelte schwer verständliche Sätze aufgefallen waren. Diese Elemente wurden nach Rücksprache mit dem Verfasser des Ausgangs- und Lektor des Zieltextes entsprechend angepasst. Dabei handelte es sich vor allem um Personalwechsel im siebten Touchball, das heisst Personen, die jetzt andere Funktionen haben als im Ausstellungstext erwähnt.

Ein weiteres durch die deutsche Zielsprache bedingtes Problem war der Umstand, dass deutsche Wörter, Titel und Sätze meist etwas länger sind als die englischen im Ausgangstext. Das heisst, die Darstellung auf den Bildschirmen der Touchballs war nicht immer einwandfrei. In verschiedenen Fällen mussten Titellängen angepasst werden, da sie sonst nicht mehr auf eine Zeile passten und sich ein Teil des Titels nach unten und ausserhalb des Bildschirms verschob. Auch mussten einige lange Wörter in den Textknoten selbst mit Bindestrichen getrennt werden.

Im Folgenden sind praktische Beispiele aufgeführt.

5.2.5.1 Titellängen

Dieses Problem war vor allem durch die Darstellung auf dem relativ kleinen Bildschirm des vierten Touchballs bedingt:



Wenn der Titel zu lange war, nahm er den Platz von zwei Zeilen ein, was zur Folge hatte, dass die zweizeilige Legende aus dem sichtbaren Ausschnitt des Bildschirms rutschte. Dies führte dazu, dass ein Kompromiss gefunden werden musste zwischen ansprechenden und idiomatischen Titeln und der Länge derselben. Im Folgenden wird dieser Prozess veranschaulicht. Zwischen den verschiedenen Etappen liegen Besuche in der Ausstellung, bei denen die Darstellung nach einer Änderung kontrolliert wurde, da sie im Inhaltsverwaltungssystem, in dem der Text geändert werden konnte, anders war als die endgültige Darstellung der Ausstellung, so dass man nur in der Ausstellung sehen konnte, ob der Titel weiter gekürzt werden musste oder nicht.

Die erste Zeile zeigt den Titel im Ausgangstext, die erste graue Zeile die erste und daher vielleicht natürlichste oder idiomatischste deutsche Übersetzung, die aber zu lang war. Die zweite graue Zeile zeigt jeweils die Versuche, die Titel so zu kürzen, dass sie sprachlich immer noch akzeptabel sind, aber kurz genug.

CMS Central Barrel	CMS Barrel Assembly
Der Zentraldetektor von CMS	<i>Der Bau des zentralen Elements von CMS</i>
CMS: Zentraldetektor	Zentralelement von CMS: Bau
CMS Barrel lowering	CMS Barrel Assembly
<i>Senkung des Zentraldetektors von CMS</i>	<i>Die Montage des zentralen Elements von CMS</i>
Senken des CMS-Zentraldetektors	Montage des CMS-Zentralelements
CMS-Zentraldetektor: Absenkung	CMS-Zentralelement: Montage

5.2.5.2 Titelbezüge

Dieses Problem stellte sich im ersten Touchball. Wenn die Besucher an den Touchball herantreten, sehen sie oben in der englischen Version die Überschrift „EXPLORE...“ und unten drei runde „Teilchen“, die sich durch den Raum bewegen. Diese sind die Menütitel „SPACE“, „TIME“ und „TEMPERATURE“. Nun ist es so, dass „EXPLORE...SPACE“ etc. auf Englisch grammatikalisch möglich ist. Nicht aber „ERFORSCHEN SIE...RAUM“. Deshalb wurden die Menütitel auf Deutsch durch die bestimmten Artikel ergänzt, um die Sätze zu vervollständigen, auch wenn diese nicht zusammengeschrieben sind: „ERFORSCHEN SIE...DIE TEMPERATUR“, „ERFORSCHEN SIE...DEN RAUM“, „ERFORSCHEN SIE...DIE ZEIT“.

5.2.5.3 Für Besucher unverständlicher Satz im Ausgangstext

Im ersten Touchball bei der Einordnung der verschiedenen Größen im Raum fanden sich am Schluss zwei Sätze, die aus verschiedenen Gründen Verständnisprobleme bereiteten.

<i>The smallest distance scale that may exist in Nature is called the 'Planck length'. At this distance, space and time may be quantized, as a 'space-time foam'.</i>	<i>Die kleinste Entfernungsskala, die in der Natur existieren kann, ist die sogenannte „Planck-Länge. In dieser Längenskala können Zeit und Raum als Raumzeitschaum quantisiert werden.</i>
---	---

Das Problem ist in erster Linie ein terminologisches. Wie wir gesehen haben, werden in populärwissenschaftlichen Texten Termini oft nicht definiert, sondern stattdessen aus dem Kontext erklärt. Hier wäre der zu erläuternde Terminus die Planck-Länge, aber der zweite Satz trägt nichts zum Verständnis bei, sondern führt im Gegenteil zwei neue Konzepte ein: „quantisieren“, ein auch nicht unbedingt verständliches Verb, und „Raumzeitschaum“, ein Terminus, der immerhin motiviert ist, so dass man sich etwas darunter vorstellen kann, der aber dennoch in diesem Kontext sehr abstrakt bleibt, weil durch das „nichtssagende“ Verb nicht klar wird, was genau damit geschieht.

Dieser Abschnitt wurde auf Anregung der Übersetzerin auch im Ausgangstext dahingehend abgeändert:

<i>The smallest distance scale that may exist in Nature is called the 'Planck length'. On this scale, small, short-lived „space-time bubbles“ may come into being: the so-called „quantum foam“.</i>	<i>Die kleinste Entfernungsskala, die in der Natur existieren kann heißt 'Planck-Länge'. Vermutlich entstehen auf dieser Längenskala spontan kleine, kurzlebige Raumzeit-'Blasen': der sogenannte 'Quantenschaum'.</i>
--	--

Das unverständliche Verb „quantisieren“ wurde weggelassen; stattdessen wurde erklärt, was auf dieser Skala vermutlich mit Raum und Zeit vor sich geht. Der anschauliche, motivierte Terminus „Raumzeitschaum“ wurde durch „Raumzeit-„Blasen““ ersetzt, so dass im Anschluss gesagt werden konnte, dass es sich dabei um „Quantenschaum“ handelt. Durch den Vermerk mit „sogenannt“ wurde deutlich gemacht, dass die Besucher nicht genau verstehen müssen, was bei diesem Konzept alles dahintersteckt, indem die Benennung als „Fachwort“ markiert wurde.

5.3 Sprachliche Untersuchung: Komparative Stilistik

In der im Folgenden durchgeführten mikrostrukturellen Untersuchung des Ausgangs- und Zieltextes werden in einem ersten Schritt einige grundlegenden Prinzipien der komparativen Stilistik aufgeführt, und in einem zweiten Schritt Beispiele aus dem Ausgangs- und Zieltext verschiedenen Kategorien zugeordnet und kommentiert. Ausschlaggebend ist dabei, dass die Mikrostruktur der beiden Sprachen verschieden ist. Darunter sollen die lexikalischen und grammatischen Systeme verstanden werden. Eine immer wieder aufkommende Überlegung bei der Übersetzung war, welche Anpassungen am Zieltext vorgenommen werden müssen, damit der Text möglichst ansprechend, verständlich und leicht rezipierbar ist und um die gleiche Wirkung zu erzielen, wie der Ausgangstext.

5.3.1 Methode der komparativen Stilistik

Bei der komparativen Stilistik handelt es sich um eine Methode, „die durch systematische Komparation der grammatischen und lexikalischen Inventare zweier Sprachen die stilistischen Besonderheiten einer Sprache zu ermitteln sucht (Goebl et al. 1996:146). Daraus schliessen wir, dass es in jeder Sprache systematische und konventionelle (grammatische, lexikalische und stilistische) Besonderheiten gibt und dass man sich bei der Übersetzung, wenn man idiomatisch übersetzen möchte, automatisch von einem „Set“ von Besonderheiten in ein anderes bewegt. Stolze beschreibt das theoretische Vorgehen folgendermassen: „Die Vertreter der *Stylistique comparée* initiierten eine systematische Beschreibung von Übersetzungsverfahren aufgrund des Vergleichs der Oberflächenstrukturen von Sprachen“ (Stolze, 2005:69). Bei Vinay-Darbelnet (1958) finden sich diese Verfahren in folgender Form:

- *l'emprunt*: „Trahissant une lacune, généralement une lacune métalinguistique, (technique nouvelle, concept inconnu), l'emprunt est le plus simple de tous les procédés de traduction“ (Vinay/Darbelnet, 1958:47). Aufschlussreich ist

dabei, dass auf neue Technologien und unbekannte Konzepte verwiesen wird. Wie wir gesehen haben, wurde als Teil der Übersetzungsstrategie darauf geachtet, Lehnwörter aus dem Englischen zu vermeiden. Allgemein gesehen sollten, statt englische Wörter für „neue Technologien“ einfach 1:1 zu übernehmen, stattdessen Wörter in den Zielsprachen gebildet werden.

- *le calque*: „[On] emprunte à la langue étrangère le syntagme, mais on traduit littéralement les éléments qui le composent“ (Vinay/Darbelnet, 1958:47). Dies geschah zum Beispiel beim „straw detector“: Das anschauliche Element der „Strohröhren“ wurde beibehalten, aber auf Deutsch übersetzt.
- *la traduction littérale*: Die wörtliche Übersetzung ist je nach Sprache an verschiedenen Stellen möglich und wird hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt.
- *la transposition*: Dabei handelt es sich oft um einen Wortartenwechsel, („remplacer une partie du discours par une autre sans changer le sens“, Vinay/Darbelnet, 1958:50). Die Transposition wird aus stilistischen Gründen vorgenommen, oder aber wenn es die entsprechende Wendung in der Zielsprache nicht gibt. Ein Beispiel aus dem Ausstellungstext:

The picture shows how antihydrogen is destroyed <i>when it touches the wall of the trap</i> .	Das Bild zeigt ein Antiwasserstoff-Atom, das <i>bei Berührung der Fallenwand</i> vernichtet wird.
---	---

Hier wäre es auf Deutsch recht schwerfällig, die wörtliche Übersetzung „wenn es die Fallenwand berührt“ zu wählen. Ausserdem wird dabei nicht klar, dass es zeitgleich geschieht.

- *la modulation*: Dies bezeichnet den „Wechsel von Denkkategorien“ (Stolze, 2005:73). Vinay und Darbelnet nennen es „variation dans le message, obtenue en changeant le point de vue“ und fügen an, dass sie sich anbietet, wenn die Übersetzung zwar grammatikalisch stimmt, aber dem „Geist“ der Zielsprache nicht entspricht (Vinay/Darbelnet, 1958:51).
- *l'équivalence*: Im von Vinay und Darbelnet angeführten Beispiel sagt ein Franzose „aïe“, wenn er sich mit dem Hammer auf den Finger schlägt, ein Engländer aber „ouch“ (Vinay/Darbelnet, 1958:52). Weitere Beispiele sind Redensarten. Ein Beispiel für eine Äquivalenz aus dem Ausstellungstext ist der Vergleich, der mit dem TGV angestellt wird, um die Masse zu

veranschaulichen: „This is about as energetic as a 400-ton train, like the French TGV, travelling at 150 km/h.” Wenn die Ausstellung sich in Deutschland befände, könnte man stattdessen ICE sagen. Dies wäre dann aber für die Schweizer und Österreicher wiederum nicht klar. Aus dem Kontext geht hervor, dass es sich um einen Zug handelt, so dass man „z. B. dem französischen TGV“ lassen kann. Das internationale „Hochgeschwindigkeitszug“ wäre zu lange und würde vom eigentlichen Inhalt des Satzes ablenken.

- *l'adaptation*: Die „Kompensation von soziokulturellen Unterschieden“ (Stolze, 2005:102) scheint nicht nötig. Wenn im Touchball 6 steht: „The size of ATLAS (43 m length, 22 m high) is about half the size of the Notre Dame cathedral in Paris“, so ist dieser Vergleich für deutschsprachige Leser ebenso verständlich. Anders wäre es, wenn der Text in eine asiatische Sprache übersetzt würde und das Zielpublikum vielleicht nicht genau weiss, wie gross eine Kathedrale ist.

Im Folgenden sollen einige auffällige Aspekte des Sprachvergleiches der beiden Versionen mit Beispielen belegt und kommentiert werden.

5.3.1.1 Unbelebtes/belebtes Subjekt

Auch wenn Sätze mit unbelebten Subjekten und Verben, die einen Willen oder eine Absicht ausdrücken grammatikalisch durchaus möglich sind, so erscheinen sie doch nicht wirklich idiomatisch im Deutschen, während dies im Ausgangstext kein Problem ist. Dies wurde besonders deutlich, wenn es sich um Experimente oder Detektoren handelte, so dass die Subjekte des englischen Satzes in der Übersetzung jeweils mit einer Präposition in die Objektposition gesetzt wurden:

Each detector layer detects different types of particles.	Mit jeder Schale des Detektor werden bestimmte Teilcheneigenschaften gemessen.
In 2002, the ATHENA experiment was first to produce millions of slow moving antihydrogen atoms, made of an antiproton and a positron.	Im Jahr 2002 gelang es im ATHENA-Experiment erstmals, ausgehend von einem Antiproton und einem Positron, Millionen von Antiwasserstoff-Atomen mit geringer kinetischer Energie zu erzeugen.
Only the experiments at the LHC will find out which theory is correct.	Einzig durch die Experimente am LHC werden wir erfahren, welche Theorie richtig ist.
The ALICE experiment will study this state - and there are strong hints that at these temperatures, the proton and neutron 'prisons' open and quarks and gluons can roam freely.	Forscher am ALICE-Experiment werden diesen Zustand untersuchen. Es gibt deutliche Hinweise, dass sich bei diesen Temperaturen die Protonen- und Neutronen-"Gefängnisse" öffnen und Quarks

	und Gluonen sich frei bewegen können.
This force is so strong that no experiment has succeeded in isolating individual quarks or gluons.	Diese Kraft ist so stark, dass es noch in keinem Experiment gelungen ist, einzelne Quarks oder Gluonen zu isolieren.
The facility is like a small alchemical factory, changing one element to another.	Die Anlage ist wie ein kleines alchemistisches Labor, in dem ein Element in ein anderes umgewandelt wird.
LHCf is a small experiment installed close to ATLAS. It studies the emission of particles close to the beam direction.	LHCf ist ein kleines Experiment, welches sich in der Nähe von ATLAS befindet. Dort wird die Emission von Partikeln in der Nähe der Strahlrichtung untersucht .
The ALICE experiment studies the quark-gluon plasma, a state of matter that should have existed just after the Big Bang before protons and neutrons formed.	Im ALICE-Experiment wird das Quark-Gluon-Plasma untersucht . Dies ist ein Zustand der Materie, der kurz nach dem Urknall geherrscht haben soll, bevor sich Protonen und Neutronen bilden konnten.

5.3.1.2 Passiv

Obwohl Dawid und Schlesinger Passivkonstruktionen ablehnen, scheint dies auf den naturwissenschaftlichen Text nur schlecht übertragbar.⁴⁶ In der Übersetzung wurde häufig die Passivform gewählt, insbesondere wenn nicht klar ist, wer der eigentliche Urheber ist: „[Der Querschnitt] zeigt die verschiedenen Schichten, mit denen die Teilchen in der Kollision identifiziert werden. (Wir wissen nicht, ob es ein Computer ist, der die Teilchen ... identifiziert oder die Forscher. Des Weiteren sind es oft entweder Forscher oder Computer, was dann auch sehr repetitiv wäre.) „Der 4'500 Tonnen schwere Detektor des Experiments wurde eigens entworfen, um diese Teilchen und deren Zerfallsprodukte herauszufiltern. (Wir wissen nicht, wer den Detektor entworfen hat, und es ist auch nicht sehr wichtig, dies zu wissen. Es ist hier besser, wenn der Detektor in der Subjektposition des Satzes ist, da der Detektor – sein Gewicht und wozu er dient – beschrieben wird.) Ausserdem kommt es in der Satzstellung somit zu einer „Betonung des sinntragenden Verbs“: „In Passivkonstruktionen wird das Verb aus der wenig betonten Stelle, an der es in Aktivsätzen erscheinen würde, herausgelöst und in die stark betonte rhematische Endposition gebracht“ (Göpferich, 1998:172), wie in diesem Beispiel: „Licht wird durch ‚Gravitationslinsen‘ gekrümmt“. Andernfalls („Die ‚Gravitationslinsen‘ krümmen das Licht“) liegt der Fokus auf dem Licht, aber darum geht es in diesem Satz nicht, es geht um den Vorgang der Krümmung durch die Linsen.

⁴⁶ Ein möglicher Grund dafür ist, dass die Empfehlungen eher auf historische oder Kunstmuseen ausgerichtet sind: „Preussen wurde von Karl dem Grossen erobert“ oder „Die Mona Lisa wurde von Leonardo da Vinci 1506 gemalt“ ist tatsächlich weniger ansprechend als „Karl der Grosse eroberte Preussen“ oder „Leonardo da Vinci malte die Mona Lisa 1506“.

5.3.1.3 Transposition

Es folgen hier sechs Beispiele für Sätze, in denen ein Element der Ausgangssprache durch eine andere Wortart oder Konstruktion der Zielsprache wiedergegeben wurde, sei es aus stilistischen oder aus lexikalischen Gründen. In den ersten beiden Beispielen wurden englische Verben nominalisiert, was laut Dawid und Schlesinger zu vermeiden ist (Dawid/Schlesinger, 2002:55). Es gibt aber andere Gründe, die hier für den Nominalstil sprechen:

<i>„Indem sie ... untersuchen“ wäre hier sehr schwerfällig, vor allem kommt der deutsche Satz im folgenden Beispiel ohne Verursacher aus, was sinnvoll ist, da es nicht darum geht, wer die Temperaturschwankungen untersucht, sondern was dabei herauskommt. Für das Gerundium „by studying“ gibt es keine direkte Entsprechung im Deutschen. Häufig wird es als Verbalsubstantiv übersetzt.</i>	
By studying tiny fluctuations of this temperature, it is possible to learn much about the history and composition of the Universe.	Durch das Untersuchen geringster Temperaturschwankungen lässt sich viel über die Geschichte und die Zusammensetzung des Universums erfahren.
<i>Die folgende Bildunterschrift wird auf Deutsch durch die Nominalisierung knapper und direkter. Andernfalls kämen Nebensätze dazu („zeigt, wie ... vernichtet wird, wenn es ... berührt“), was zu einem schwerfälligeren und weniger eingängigen Satz führen würde.</i>	
The picture shows how antihydrogen is destroyed when it touches the wall of the trap.	Das Bild zeigt die Vernichtung des Antiwasserstoff-Atoms bei Berührung der Fallwand.
<i>(Zur Thematik der Experimente und Detektoren als handelnde Subjekte, siehe 5.3.1.1.) Das hier verwendete englische Partizip Präsens hat keine direkte Entsprechung im Deutschen und wird hier mit einem finiten Verb übersetzt. (Das Partizip Präsens ist im Deutschen sehr selten und gehört zum literarischen Stil.)</i>	
The facility is like a small alchemical factory, changing one element to another.	Die Anlage ist wie ein kleines alchemistisches Labor, in dem ein Element in ein anderes umgewandelt wird.
<i>„Comparable to...“ ist hier eine Art Ellipse (gemeint ist „which is comparable to...“) und diese verkürzte Nebensatzkonstruktion ist im Deutschen nur möglich, wenn das Bezugswort "Gewicht" als Subjekt beibehalten wird. Die wörtliche Übersetzung „...vergleichbar mit dem Gewicht...“ wäre hier zwar grammatikalisch möglich, aber es kämen verschiedene schwerfällige und wenig ansprechende Sätze heraus, zum Beispiel „ATLAS wiegt rund 7000 Tonnen, was mit dem Gewicht der Metallstruktur des Eiffelturms vergleichbar ist“. Es soll aber eben so griffig wie möglich formuliert werden. Die vorgeschlagene Lösung ist knapp und prägnant.</i>	
The weight of ATLAS is about 7000 tonnes, comparable to the weight of the metallic structure of the Eiffel tower.	ATLAS wiegt rund 7000 Tonnen: etwa so viel wie die Metallstruktur des Eiffelturms.
<i>Im Englischen ist die Kausalität (was erzeugt was) durch das Partizip Präsens implizit, im Deutschen muss ein finites Verb verwendet werden. Um den Satz nicht unnötig zu beschweren, wurde entschieden, die Kausalität ebenfalls implizit zu lassen und nicht etwa „was ein Magnetfeld von ...erzeugt“ zu schreiben.</i>	
A current of 20000 Ampere flows without resistance, producing a magnetic field of up to 1 Tesla.	Ein Strom von 20'000 Ampere kann ohne Widerstand fließen und erzeugt ein Magnetfeld von bis zu 1 Tesla.

5.3.1.4 Aus einem Satz mach zwei

Die Übersetzungsentscheidung, aus einem englischen Satz zwei deutsche zu machen, ergab sich aus der Zielsetzung, den Text so eingängig und ansprechend wie möglich zu gestalten. Oft ersetzten zwei deutsche Sätze eine Konstruktion mit einem Nebensatz (zum Beispiel einem Relativsatz). Diese Lösung wurde als geradliniger empfunden. Dazu kommen, wie wir gesehen haben, kürzere und einfacher strukturierte Sätze den Besuchern entgegen, da sie dem Leseverhalten entsprechen. (Zur Erinnerung: kurze, vom Auge erfasste Leseinheiten sind nicht deckungsgleich mit den vom Hirn verarbeiteten Sinneinheiten, siehe Kapitel 2.)

<i>Im folgenden Beispiel wird zuerst in einem einfachen Satz gesagt, was ist. Nach dem Punkt (und der damit zusammenhängenden geistigen Pause) wird dann erklärt, was das bedeutet.</i>	
All fundamental constituents of matter (quarks and electrons) have „mass“, which means that they have an „inertia“ resisting acceleration by a force.	Alle Grundbausteine der Materie (Quarks und Elektronen) haben eine „Masse“. Das bedeutet , dass sie der Beschleunigung durch ihre „Trägheit“ einen Widerstand entgegensetzen.
<i>Auch hier wird durch den Punkt der „Atemlosigkeit“ eines langen Satzes entgegengewirkt. Im ersten Satz wurde zudem gegen die Nominalisierung entschieden (expansion/sich ausdehnt), die den Satz hier unnötig beschwert hätte.</i>	
We know of dark energy because it is responsible for speeding up the expansion of our universe, a phenomenon that has been detected in astronomical observations.	Wir wissen von dunkler Energie, weil sie dafür verantwortlich ist, dass sich das Universum immer schneller ausdehnt. Dieses Phänomen wurde anhand astronomischer Beobachtungen erkannt.
<i>Der Anschluss im Stile des englischen Satzes wäre hier im Deutschen schwierig: „erzeugt worden, mit Halbwertszeiten von“ oder „welche Halbwertszeiten von ... haben“ sind schwerfällig. Praktischer und ansprechender sind zwei Sätze.</i>	
More than 600 isotopes - from helium to radium - have been produced, with half-lives down to milliseconds.	Mehr als 600 Isotope - von Helium bis Radium - sind dabei erzeugt worden. Sie haben manchmal Halbwertszeiten von wenigen Millisekunden.
<i>Die im Englischen implizite Kausalität wurde im Deutschen durch den Neuanfang und das Adverb „dadurch“ explizit gemacht. Vergleiche dazu Baker: „German seems to be generally more conjunctive than English“ (Baker, 2011:209).</i>	
Studying how collisions inside the LHC cause cascades of particles will help scientists to interpret and calibrate large-scale cosmic-ray experiments that can cover thousands of kilometres.	Die Wissenschaftler untersuchen Teilchenkaskaden, die von den Kollisionen im LHC ausgehen. Dadurch können sie riesige Experimente für kosmische Strahlen, welche zum Teil Tausende von Kilometern abdecken, kalibrieren und deren Resultate besser interpretieren.
<i>Auch in diesem Beispiel ist der erste Satz eine einfache (und somit eingängige) Aussage, die im zweiten Satz ausgeführt wird. (Dies gilt auch für das nächste Beispiel.) Diese Art der Vermittlung hat die Vorteile einer Definition (Klarheit) ohne deren Nachteile (Lehrbuchhaftigkeit), da der zweite Satz mit der Erklärung nicht wie eine klassische Definition formuliert wurde.</i>	
The ALICE experiment studies the quark-gluon plasma, a state of matter that should have existed just after the Big Bang before protons and neutrons formed.	Im ALICE-Experiment wird das Quark-Gluon-Plasma untersucht. Dieser Zustand der Materie soll kurz nach dem Urknall geherrscht haben, bevor sich Protonen und Neutronen bilden konnten.

In a large volume of gas, charged particles produce electrons by ionization that drift to readout chambers due to a strong electric field.	In einem grossen Gasvolumen entstehen durch geladene Teilchen Elektronen (Ionisation). Diese driften in einem starken elektrischen Feld zu Nachweiskammern.
<i>Im folgenden Beispiel wurden aus einem Satz drei, um einen komplexen Satz zu vermeiden. Jeder Satz des Zieltextes thematisiert isoliert ein einzelnes Element: Der erste Satz macht eine einfache Aussage über einen Vorgang im Inneren des Detektors. Der zweite Satz thematisiert das Licht und der dritte gibt genauere Informationen dazu. Dieses Beispiel veranschaulicht, wie die Übersetzungsentscheidungen darauf abzielten, komplexe Vorgänge Schritt für Schritt und in kurzen Einheiten darzustellen.⁴⁷</i>	
Depending on its type (electron, pion, proton), a particle traversing a Ring Imaging Cherenkov (RICH) counter emits a cone of light with a varying angle, which is reflected by mirrors onto an array of sensors.	Wenn ein Teilchen einen „Ring Imaging Cherenkov“ (RICH) durchläuft, strahlt es einen Lichtkegel aus. Das Licht trifft dann mittels Spiegeln auf eine Vielzahl von Sensoren. Der Öffnungswinkel des Kegels hängt von der Teilchensorte (Pion, Elektron, Proton) ab.

5.3.1.5 Registerwechsel

Der Registerwechsel wurde in der Übersetzung von Englisch auf Deutsch normalerweise als „Erhöhung des Registers“ beobachtet, das heisst die Formulierungen in der Zielsprache scheinen stellenweise fachlicher. Dies liegt einerseits daran, dass lateinische Wörter in deutschen Texten generell eher auf einen höheren Fachlichkeitsgrad hindeuten als in englischen Texten (vergleiche dazu die Tabelle in Kapitel 4.1.1), und andererseits daran, dass im Englischen Formulierungen oder Ausdrücke möglich sind, die auf Deutsch in einem Fachtext nicht akzeptabel wären:

<i>„Der LHC ist mehr als 200 Mal stärker“ klingt wenig fachlich (Kindersprache) und scheint störend.</i>	
The LHC is more than 200 times more powerful .	Der LHC erreicht eine mehr als 200-mal grössere Kollisionsenergie .
<i>Durch die Vorsilbe wird das Verb spezifischer und somit fachlicher.⁴⁸</i>	
The Linear Accelerator takes the protons from the hydrogen source, accelerates them to 50 MeV, and shoots them into the PS Booster.	Der Linearbeschleuniger beschleunigt die Protonen aus der Wasserstoffflasche auf 50 MeV und speist sie in den PS-Booster ein .
Long fibres then carry the light to devices where the light intensity from many tiles is measured.	Lange Glasfaserkabel leiten das Licht dann zu Geräten weiter , in denen die Lichtintensität von vielen Kacheln gemessen wird.
<i>Im folgenden Beispiel wäre „Auswahl“ unpassend, da zu allgemeinsprachlich. („Hier finden Sie eine grosse Auswahl an Krawatten.“)</i>	
A very fast data selection in two stages is able to select about 100 events per second - out of up to 600 million per second!	Eine sehr schnelle Datenselektion in zwei Stufen kann etwa 100 aus bis zu 600 Millionen Ereignissen pro Sekunde auswählen!
<i>Das Englische kann im folgenden Beispiel das gleiche Wort verwenden, das auch für Kuchenstücke benutzt wird. Im Deutschen wurde an einer anderen Stelle auch „Scheiben“ verwendet, um die Form</i>	

⁴⁷ Vergleiche dazu auch die Aussage von Baker in ihrer Beschreibung der Thema-Rhema-Syntax: „It is clearly easier to follow a message that announces its subject and then says something about it than the other way around“ (Baker, 2011:174). Die Thema-Rhema-Syntax wird in der vorliegenden Arbeit in Kapitel 5.2.4 ausführlich besprochen.

⁴⁸ Leisen nennt als morphologische Besonderheiten der Fachsprache unter anderem „viele Verben mit Vorsilben“ (Leisen, 2011:7).

*anschaulich zu beschreiben. Hier wurde aber die fachlichere und präzisere Ausdrucksform gewählt, um dem Anspruch der Besucher an den populärwissenschaftlichen Text gerecht zu werden.*⁴⁹

They are used to move the slices of the CMS detector around with a precision of 1 mm.	Sie werden verwendet, um die zylinderförmigen Teile des CMS-Detektors mit einer Genauigkeit von 1 mm zu verschieben.
--	---

Dazu gehören auch Konstruktionen mit dem Verb „to be“ im Englischen. Im Deutschen erscheint der Text deswegen fachlicher, weil ein idiomatisches Verb mit einem eigentlichen Sinngehalt verwendet wurde:

Although the LHC beams contain about 100 million million protons, their total mass is only 2 nanograms.	Obwohl die Strahlen des LHC ungefähr 100'000'000'000'000 Protonen enthalten, beträgt deren Gesamtmasse gerade einmal 2 Nanogramm
The amount of data from the LHC is about 15 million Giga-Byte (15 PB) per year.	Die Datenmenge des LHC beläuft sich auf etwa 25 Millionen Giga-Byte (25 PB) pro Jahr.
The aim of the LHCb experiment is to record the decay of particles containing b and anti-b quarks, collectively known as B mesons.	Das Ziel des LHCb-Experiments besteht darin , den Zerfall von Teilchen mit b- und Anti-b-Quarks, zusammen B-Mesonen genannt, zu messen.

Durch die Untersuchung und Auseinandersetzung mit dem Ausgangs- und Zieltext konnten die in den Kapiteln zum Hypertext, zur Museumspädagogik und zur Terminologie erwähnten sprachlichen Merkmale auf ihre Umsetzbarkeit überprüft werden. Mit der sprachlichen Untersuchung wurden auch auf der Übersetzungsstrategie beruhende Übersetzungsentscheidungen veranschaulicht.

⁴⁹ In dieser Hinsicht unterscheiden sich die Textsortenkonventionen des Deutschen und des Englischen, ein Umstand, der an Stellen wie dieser auf die Übersetzungsstrategie einwirkte (vgl. Nord, 2002:61).

6 Zusammenfassung in Form eines Leitfadens

Der folgende Leitfaden ist in Form von Stichpunkten und Fragen abgefasst und vereint die erarbeiteten Themen und Ideen. Übersetzer, die sich mit der Übersetzung einer Ausstellung befassen, können die aufgelisteten Fragen für sich beantworten und Schlüsse für die Übersetzung daraus ziehen. Die Tipps sind auf populärwissenschaftliche Ausstellungen ausgerichtet, die auf Deutsch übersetzt werden sollen.

Der Text

Ausstellungstexte haben oft keine Gliederung, die einem Fliesstext in einem Buch entsprechen würde. Sie sind oft in kürzere Einheiten gegliedert und in der Reihenfolge ihrer Rezeption freier.

Welche Gliederung hat der Ausstellungstext? Welches sind die verschiedenen Hierarchieebenen? Wie verhält es sich mit Titeln, Überschriften, Bildunterschriften? Gibt es in diesen verschiedenen Kategorien wiederkehrende Muster (z. B. Formulierungen)? Dies herauszuarbeiten gibt bei der Übersetzung einen Überblick und bereitet auf die weiteren Fragestellungen vor. Je freier die Lesereihenfolge durch die Besucher wählbar ist, desto mehr muss darauf geachtet werden, dass die einzelnen Textabschnitte auch in der Übersetzung sprachlich und kausal in sich geschlossen sind.

Der Raum

Wie ist der Raum gestaltet? Ist es hell, halbdunkel oder dunkel? Wie bewegen sich die Besucher im Raum? Haben die Besucher zum Beispiel durch einen Übersichtsplan einen Überblick darüber, was die Ausstellung beinhaltet, oder ist es besonders wichtig, dass sie sich rasch im Text orientieren können, um das lesen zu können, was sie interessiert?

Die Medien

Welche Medien nehmen an der Vermittlung der Inhalte teil? Unterstützen gezeigte Bilder, Animationen, Videos und Objekte die Besucher bei der Rezeption? Ist die Ausstellung so gestaltet, dass in der naturgemäss heterogenen Gruppe von Besuchern möglichst viele angesprochen werden? Welche Rolle spielt der Text als Teil der

Ausstellung? An welchen Stellen wird das Verständnis durch Abbildungen etc. unterstützt?

Die Funktion

Bleibt die Funktion des Zieltextes gleich wie die Funktion des Ausgangstextes? Mögliche Funktionen können sein: die Besucher möglichst gut zu unterhalten, den Besuchern möglichst viel Wissen zu vermitteln, möglichst verständlich und ansprechend zu sein, kindgerecht zu sein, fachlichen Ansprüchen gerecht zu werden (oder eine Kombination davon).

Welche Schlüsse für die Übersetzungsstrategie werden aus der festgelegten Funktion gezogen?

Die Terminologie

Gibt es viel Terminologie? Zu einem Thema oder zu mehreren Themen? Werden Termini definiert, erklärend umschrieben und/oder sind sie motiviert (selbsterklärend durch ihre Wortbestandteile)? Sind sie zielgruppengerecht? Welche Lösungen können/müssen in der Übersetzung gefunden werden, wenn einzelne Termini nicht motiviert, erklärt oder zielgruppengerecht sind? Können multimediale Aspekte (Bilder etc.) das Verständnis in diesem Fall unterstützen?

Wie soll mit Anglizismen umgegangen werden? Wie mit lateinischen oder griechischen Wörtern? Ist der Zieltext durch die Verwendung von Fremdwörtern letzten Endes fachlicher oder weniger fachlich als der Ausgangstext und entspricht dies der Übersetzerischen Absicht?

Je freier die Lesereihenfolge durch die Besucher wählbar ist, desto mehr muss darauf geachtet werden, dass Termini konsequent einheitlich verwendet werden und nicht als bekannt vorausgesetzt werden, weil sie an anderer Stelle (die der Besucher vielleicht nicht gelesen hat) erklärt werden.

Aus diesem Grund sollten Abkürzungen (ausser alltagssprachlich verwendeten wie cm, km, kg, etc.) konsequent ausgeschrieben werden.

Die Sprache

Das Deutsche verwendet kausale, temporale (etc.) Konjunktionen häufiger als andere Sprachen. An welchen Stellen kann dies sinnvoll sein, auch wenn diese im Ausgangstext vielleicht nicht stehen?

Hat der Zieltext letzten Endes ein (leicht) anderes Register als der Ausgangstext und entspricht dies der Übersetzerischen Absicht?

Kürzere, einfacher gebaute Sätze empfehlen sich, da die Besucher sich nicht in einer bequemen Leseposition befinden und sich mit einem ihnen unbekannten Thema auseinandersetzen. Beim Lesen erfasst das Auge Gruppen von Wörtern nacheinander, die nicht unbedingt den Sinneinheiten entsprechen, die das Hirn erfasst, um den Text zu verstehen. Wenn man den Text nur kurz überfliegen kann und versteht, ist es besser, als wenn man immer wieder ansetzen muss.

Welche der im Folgenden aufgeführten Vorgaben erweisen sich in Bezug auf den Text, das Zielpublikum, das Thema etc. als sinnvoll und welche nicht? Welche Vorgaben können an bestimmten Stellen von Vorteil oder von Nachteil sein?

- Passiv ist zu vermeiden. Die Rezeption eines Ausstellungstextes ist an sich schon passiv genug.
- Passivische Satzkonstruktionen haben verschiedene Vorteile: der Verursacher muss nicht erwähnt werden, das Verb ist in der betonten Endposition des Satzes, das Bewirkte wird unterstrichen, etc.
- Der Nominalstil ist wenig ansprechend, entspricht nicht dem alltäglichen Sprachgebrauch, sondern der Beamtensprache und sollte vermieden werden. Verben sind besser geeignet, um anschaulich und ansprechend zu formulieren.
- Nominalisierungen können sich aus syntaktischen Gründen als sinnvoll erweisen und haben manchmal kürzere oder kompaktere Sätze zur Folge.

Worauf sonst noch zu achten ist

Populärwissenschaftliche Texte stellen mit Vergleichen, Analogien und weiteren Mitteln den Bezug zum Alltag der Besucher her. Dazu gehört auch, dass die Inhalte als besonders relevant oder spektakulär dargestellt werden. Dies sind wichtige Elemente, die zum Verständnis beitragen. Dies ist bei der Übersetzung zu beachten.

Für die Revision

Ist der Zieltext an allen Stellen so eingängig und ansprechend wie möglich und so fachlich wie nötig formuliert?

Sind die Sätze möglichst kurz und geradlinig, ohne platt zu wirken?

7 Schlusswort

Das Schlusswort beantwortet die im Leitfaden gestellten Fragen auf die Übersetzung der CERN-Ausstellung bezogen und gibt so zusammenfassend Aufschluss über die gewonnenen Erkenntnisse.

Der Text

Der Text hat die Arbeit des CERN zum Thema und die Touchballs bilden die daraus ableitbaren Nebenthemen. Der Text liegt in einer Baumstruktur in verlinkten Textabschnitten vor. Die Titel sind die Links und oft werden die Titel im dazugehörigen Abschnitt beschrieben oder erklärt.

Die Lesereihenfolge ist halbfrei. Die einzelnen Textabschnitte sind auch in der Übersetzung sprachlich und kausal in sich geschlossen, das heisst, jeder Abschnitt behandelt einen eigenen Aspekt eines Themas. Manche dieser Aspekte hängen enger zusammen als andere, was aus den Titeln hervorgeht.

Der Raum

Im Raum ist es ziemlich dunkel. Die Besucher haben keinen Übersichtsplan über die Ausstellung. Die Inhalte gehen erst aus den Texten hervor, wenn diese angewählt worden sind. Es ist daher besonders wichtig, dass die Besucher sich rasch im Text orientieren können, um das lesen zu können, was sie interessiert. Darin werden die Besucher unterstützt durch die Titel, die auf den Bildschirmen der Touchballs eingeblendet werden.

Die Medien

Die gezeigten Bilder, Animationen und Videos unterstützen die Besucher bei der Rezeption der Texte, indem sie die teilweise abstrakten oder schwer vorstellbaren Inhalte illustrieren, veranschaulichen oder zeigen. Das heisst, die Ausstellung ist so gestaltet, dass in der naturgemäss heterogenen Gruppe von Besuchern möglichst viele angesprochen werden. Der Text hat in der Wissensvermittlung die wichtigste Rolle, da Texte Informationen ungleich differenzierter vermitteln als andere Medien. Dennoch wäre die Ausstellung monomedial sprachlich kaum denkbar, da die Besucher darauf angewiesen sind, Inhalte auch gezeigt zu bekommen. An verschiedenen Stellen wird das Verständnis gerade auch von Termini durch Abbildungen etc. unterstützt.

Die Funktion

Die Funktion des Zieltextes bleibt gleich wie die Funktion des Ausgangstextes. Es geht darum, den Besuchern auf möglichst verständliche und ansprechende Art möglichst viele Informationen zu vermitteln und dabei fachlichen Ansprüchen gerecht zu werden.

Die Schlüsse, die daraus für die Übersetzungsstrategie gezogen wurden, werden im Folgenden beschrieben.

Die Terminologie

Besonders in den Titeln der Abschnitte traten viele Termini auf. Diese sollten interessant genug sein, um die Besucher zu ermuntern, sie anzuwählen.

Termini werden, wie für populärwissenschaftliche Texte üblich, nicht eigentlich definiert, sondern gegebenenfalls erklärend umschrieben; oft geschieht dies in den dazugehörigen Abschnitten. Diese Erklärungen müssen dann verständlich sein. Bei der Übersetzung wurde darauf geachtet, dass die Termini zielgruppengerecht und motiviert sind oder aus dem Kontext oder mithilfe der Abbildungen erklärt wurden. Im Zweifelsfall wurde motivierten Termini der Vorzug gegeben.

Anglizismen wurden nach Kräften vermieden. Durch die Verwendung von Fremdwörtern ist der Zieltext letzten Endes leicht fachlicher als der Ausgangstext. Dies entspricht der übersetzerischen Absicht, indem der Fachlichkeitsgrad den Ansprüchen der Besucher an den populärwissenschaftlichen Text gerecht wird.

Durch die halbfreie Lesereihenfolge, musste darauf geachtet werden, dass Termini konsequent einheitlich verwendet wurden und nicht als bekannt vorausgesetzt wurden, weil sie an anderer Stelle (die Besucher vielleicht nicht gelesen haben) erklärt werden.

Aus diesem Grund wurde entschieden, Abkürzungen (ausser alltagssprachlich verwendeten wie cm, km, kg, etc.) konsequent auszuschreiben (z.B. Tesla).

Die Sprache

Das Deutsche verwendet kausale, temporale (etc.) Konjunktionen häufiger als andere Sprachen. An manchen Stellen wurde aus Gründen der Leserfreundlichkeit bei der Übersetzung entschieden, die Kausalität oder den temporalen Aspekt explizit

hervortreten zu lassen, auch wenn die Konjunktionen im Ausgangstext nicht erscheinen.

Bei der Übersetzung aus dem Englischen wurden stellenweise eine fachlichere Ausdrucksweise oder Ausdrücke eines höheren Registers gewählt, da dies den deutschen Konventionen besser entspricht. Dadurch hat der Zieltext ein leicht höheres Register als der Ausgangstext.

Weiter wurde bei der Übersetzung insbesondere darauf geachtet, kürzere, einfacher gebaute Sätze als im Ausgangstext zu verwenden, da die Besucher sich nicht in einer bequemen Lese-position befinden und sich mit einem ihnen unbekannten Thema auseinandersetzen. Übersetzungsentscheidungen liefen immer wieder darauf hinaus, aus einem englischen Satz zwei oder mehr deutsche zu machen. Dies entsprach der Strategie, den Text so zugänglich und lesbar wie möglich zu machen.

Es schien angebracht, passivische Satzkonstruktionen zu verwenden, da so der Verursacher nicht erwähnt werden muss, der in der Ausstellung oft entweder irrelevant oder repetitiv (Forscher, Computer, Detektor...) ist. Ausserdem steht so das Verb in der betonten Endposition des Satzes und der Ablauf des Vorganges wird unterstrichen. Nominalisierungen erwiesen sich vereinzelt in Bildunterschriften als sinnvoll, da sie kürzere oder kompaktere Sätze zur Folge hatten.

Für die Revision

Es wurde insbesondere in einem zweiten Schritt bei der Revision darauf geachtet, dass der Zieltext an allen Stellen so eingängig und ansprechend wie möglich und so fachlich wie nötig formuliert ist und dass die Sätze möglichst kurz und geradlinig sind und komplexe Vorgänge in nicht unnötig komplizierter Sprache vermitteln.

Die erörterten Themen ermöglichten einen vertieften Einblick in verschiedene situative und theoretische Faktoren, die einen Einfluss auf den Text und die Übersetzung haben. Durch die daraus gewonnenen Erkenntnisse konnten praktische Übersetzungs- und Revisionsentscheidungen begründet und gerechtfertigt werden. Die deutsche Übersetzung der Ausstellung „Universe of Particles“ ist im „Globus der Wissenschaft und Innovation“ zugänglich und wird von den Besuchern rege genutzt.

8 Bibliographie

Monographien

- Baker, Mona (²2011/1992) *In Other Words, A Coursebook on Translation*. New York: Routledge.
- Brinker, Klaus (⁷2010/1985) *Linguistische Textanalyse: eine Einführung in Grundbegriffe und Methoden*. Berlin: Erich Schmidt.
- Bryson, Bill (2009) *Mother Tongue: The Story of the English Language*. London: Penguin Books Limited (UK).
- Dawid, Evelyn/Schlesinger, Robert (Hg.) (2002) *Texte in Museen und Ausstellungen. Ein Praxisleitfaden*. Bielefeld: Transcript Verlag.
- Deutscher Terminologie-Tag (DTT) (2010) *Best Practices in der Terminologearbeit*. Köln: DTT-Publikationen.
- Fry, Stephen (2010) *Paperweight*. London: Random House.
- Goebl, Hans/Nelde, Peter/Stary, Zdenek/Wölck, Wolfgang (1996) *Kontaktlinguistik/Contact Linguistics/Linguistique de contact*. Berlin: De Gruyter.
- Göpferich, Susanne (1998) *Interkulturelles Technical Writing: Fachliches adressatengerecht vermitteln : ein Lehr- und Arbeitsbuch*. Tübingen: Narr.
- Lewalter, Doris (2009) „Bedingungen und Effekte von Museumsbesuchen“, in: Kunz-Ott, Hannelore/Kudorfer, Susanne/Weber, Traudel (Hg.) *Kulturelle Bildung im Museum. Aneignungsprozesse - Vermittlungsformen - Praxisbeispiele*. Bielefeld: transcript, 45-56.
- Müller-Hagedorn, Silke (2002) *Wissenschaftliche Kommunikation im multimedialen Hypertext: Bestandsaufnahme und Umsetzung am Beispiel germanistischer Mediävistik*. Tübingen: Stauffenburg.
- Niederhauser, Jürg (1999) *Wissenschaftssprache und populärwissenschaftliche Vermittlung*. Tübingen: Narr.
- Niederhauser, Jürg/Danneberg, Lutz (1998) (Hg.) *Darstellungsformen der Wissenschaften im Kontrast: Aspekte der Methodik, Theorie und Empirie*. Tübingen: Narr.
- Nord, Christiane (2002) *Fertigkeit Übersetzen: ein Selbstlernkurs zum Übersetzenlernen und Übersetzenlehren*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Potter, Simeon (1950) *Our Language*. Harmondsworth: Penguin.
- Reiss, Katharina/Vermeer, Hans (1984) *Grundlegung einer allgemeinen Translationstheorie*. Tübingen: Niemeyer.
- Stolze, Radegundis (2005) *Übersetzungstheorien: eine Einführung*. Tübingen: Narr.
- Vinay, Jean-Paul/Darbelnet, Jean-Louis (1958) *Stylistique comparée du français et de l'anglais*. Paris: Didier.

Artikel

- Arbeitskreis Deutsch als Wissenschaftssprache (ADAWIS) (2014) „Die Leitlinien des Arbeitskreises Deutsch als Wissenschaftssprache“, in:
http://www.adawis.de/index.php?navigation=1&level=0&navigation_cat2_id=40&navigation_cat_id=1 [12.2.2014].
- Evans, Lyndon/Bryant, Philip (2008) „The Cern Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments; LHC Machine“, in:
https://cds.cern.ch/record/1129806/files/jinst8_08_s08001.pdf [18.10.2013].
- Degener, Janna (2011) „Wissenschaftliche Mehrsprachigkeit ist innovationsfördernd“, in:
<http://www.goethe.de/wis/fut/fuw/ftm/de8201485.htm> [12.2.2014].
- DESY's KworkQuark (Online-Lexikon)
<http://kworkquark.desy.de/lexikon/lexikon.vertexdetektor/1/> [14.5.2014].
- Dole, Janice/Sinatra, Gale (1998) „Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge“, in: *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 53(2/3), 109-128.
- Duden-Definitionen:
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Strategie> [26.5.2014].
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Multimedia> [8.11.2013].
http://www.duden.de/rechtschreibung/Lingua_franca [26.5.2014].
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Schachtelsatz> [11.5.2014].
- Fiebach, Constanze (2010) „Deutsch als Wissenschaftssprache – deutsche Sprache, quo vadis?“, in: <http://www.goethe.de/ges/spa/siw/de6992833.htm> [12.2.2014].
- German Patent DE112006002496
<http://www.freepatentsonline.com/DE112006002496.html> [12.3.2014].
- Helle, Kristine/Fehlker, Dominik/Sandaker, Heidi/Stugu, Bjarne (2009) „ATLAS upgrade & 3D development“, in:
<https://wikihost.uib.no/ift/images/3/3e/3D.pdf> [12.5.2014].
- Kock, Boris (2012) „Laserdiagnostik in Verbrennungsprozessen: Rußende Flammen“, in: https://www.uni-due.de/ivg/rf/forschung/fo_ru_spek.shtml [12.3.2014].
- Leisen, Josef (2011) „Praktische Ansätze schulischer Sprachförderung – Der sprachensible Fachunterricht“, in:
www.hss.de/download/111027_RM_Leisen.pdf [26.5.2014].
- Mocikat, Ralph (2011) „Soll Deutsch als Wissenschaftssprache überleben?“, in: *Die Zeit*, 25.01.2011, <http://www.zeit.de/wissen/2010-04/deutsch-forschungssprache> [12.3.2014].
- Pekarik, Andrew/Schreiber, James/Hanemann, Nadine/Richmond, Kelly/Mogel, Barbara (2014) „IPOP: A Theory Of Experience Preference“, in: *Curator The Museum Journal*, 57:1, 5-27,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cura.12048/full> [5.6.2014].

- Rat für Deutschsprachige Terminologie (RaDT) (2013) „Terminologisches Basiswissen für Fachleute“, in: <http://radt.org/veroeffentlichungen.html> [5.6.2014].
- Storrer, Angelika (2004) „Kohärenz in Hypertexten“, in: *Zeitschrift für germanistische Linguistik* 3:2, 274-292, http://www.studiger.tu-dortmund.de/images/Storrer_2004_Kohaerenz_in_hypertexten.pdf [5.6.2014].
- Storrer, Angelika (2008) „Hypertextlinguistik“, in: Janich, Nina (Hg.) *Textlinguistik. 15 Einführungen*. Tübingen: Narr Studienbücher, 211-227. http://www.hytex.tu-dortmund.de/pdf/Storrer_2008_Hypertextlinguistik.pdf [5.6.2014].
- Strassmann, Burkhard (2014) „Deutsch light“, in: Die Zeit, 30.01.2014, <http://www.zeit.de/2014/06/leichte-sprache-deutsch> [6.5.2014].

Ausstellungstext

- „Universe of Particles“ *Englisches Original verfasst von Dr. Rolf Landua (2004)*
 „Universum der Teilchen“ *Deutsche Übersetzung von Nadine Buchmann (2013)*

Bei den deutsch- oder englischsprachigen Ausschnitten aus dem Ausstellungstext ist jeweils vermerkt, aus welchem Touchball sie stammen.

9 Anhang I: Ausgewertete Terminologie

Die folgende Tabelle enthält die von Hand ausgewerteten Termini in chronologischer Abfolge (nach Reihenfolge ihres Auftretens).

	Benennung	Sachgebiet	Quelle	Anmerkung
Touchball Theory Basics (Touchball 1)				
1	Urknall	Astronomie		Deutsche Benennung dem ebenfalls gebräuchlichen „Big Bang“ bevorzugt.
2	Krebsnebel	Astronomie	http://www.bbc.co.uk/science/space/tniv	Die Benennung ist eine Übertragung der englischen Benennung, die von Lord Rosse aufgrund des Erscheinungsbildes gegeben wurde.
3	Wasserstoff	Chemie		Ein gutes Beispiel für eine sinngemäss in die deutsche Sprache übertragene Benennung.
4	Helium	Chemie		Hier wurde interessanterweise nicht analog zu „Wasserstoff“ „Sonnenstoff“ gesagt. Grund dafür könnte sein, dass „Hydrogen“ eine Beschreibung des Stoffes ist, der sinngemäss auf Deutsch übertragen wurde, während und „Helium“ eine Ableitung des Eigennamens des altgriechischen Sonnengottes Helios ist. Es liegt nahe, einen vom Eigennamen abgeleiteten Terminus nicht zu übersetzen.
5	Fusionsreaktionen	Chemie		Kompositabildung, wobei anzumerken ist, dass das lateinische Wort „Fusion“ im wissenschaftlichen Zusammenhang gebräuchlicher ist als „Verschmelzung“.
6	Wasserstoffatome	Chemie		Kompositabildung
7	Heliumatome	Chemie		Kompositabildung
8	kosmische Hintergrundstrahlung	Astronomie		Mehrwortbenennung mit griechischem Adjektiv und eins zu eins eingedeutschem Kompositum als Hauptwort; „kosmisch“ muss von „universal“ oder „räumlich“ abgegrenzt werden
9	Protonen	Physik		Die (griechische) Endung –on wird konsistent für subatomare Teilchen (nicht: Elementarteilchen) verwendet. Dies müsste bei einer allfälligen Benennungsbildung berücksichtigt werden. Der Plural –en entspricht den deutschen Grammatikregeln.
10	Neutronen	Physik		
11	Atomkerne	Physik	http://www.duden.de/rechtschreibung/Nukleus	Griechisch-deutsches Kompositum, wobei zu bemerken ist, dass Nukleus als Synonym für Zellkern gebraucht wird und hier nicht in Frage käme. In Komposita wird im Allgemeinen „Kern“ verwendet (Biologie: Zellkern, Anatomie: Nervenkerne). Sehr unüblich wäre also „Atomnukleus“.
12	Ursuppe	Astronomie		Die Benennung ist einerseits deutsch und andererseits bildhaft, so dass man sich darunter gut etwas vorstellen kann.

13	Quarks	Physik	http://www.quarked.org/askmarks/answer26.html	Die Benennung ist in vielen Sprachen identisch (was darauf hindeutet, dass er zu wenig Bezug zur Alltagssprache hatte, als dass man sich zu einer Neubenennung überhaupt Gedanken gemacht hätte) und wurde 1963 von Murray Gell-Mann anhand eines passenden Ausdruckes aus „Finnegans Wake“ geschaffen. Auf Deutsch erinnert sie leider an den Frischkäse, drückt aber sonst durch den ungewöhnlichen Klang die schwer fassbare Art der Teilchen gut aus.
14	Gluonen	Physik		Die Benennung wurde anhand des englischen Wortes „glue“=Leim geschaffen und mit dem Suffix -on (analog zu Neutron etc.) versehen. Die Benennung ist insofern eingedeutscht, als dass der Plural -en den deutschen Grammatikregeln entspricht. Im fraglichen Satz in der Ausstellung geht aus dem Kontext hervor, dass die Gluonen die anderen Teilchen „zusammenhalten“. Andererseits entgeht Besuchern, die das englische „glue“ nicht kennen, inwiefern diese Eigenschaft sich in der Bezeichnung niedergeschlagen hat.
15	kollidieren	Physik		Hier schien das lateinische und gut eingebürgerte Fremdwort passender als „zusammenprallen“, was eher die Konnotation eines Verkehrsunfalles hat.
16	LHC	Physik	http://cds.cern.ch/record/971033/files/brochure-2006-002-ger.pdf	Die Abkürzung kommt im Ausstellungstext noch vor der Ausschreibung, es wird davon ausgegangen, dass der Beschleuniger den Besuchern ein Begriff ist. Eine deutsche Bezeichnung („grosser Hadronen-Speicherring“) existiert, ist aber weniger gebräuchlich als die Abkürzung LHC.
17	Teilchenkollision	Physik		Siehe „kollidieren“, hier wäre „Zusammenprall“ noch unpassender.
18	Galaxie	Astronomie		Griechisch, bedeutet eigentlich Milchstrasse. Dieses Fachwort ist in vielen von der griechischen Kultur beeinflussten Sprachen gleich.
19	astronomische Einheit	Astronomie		Mehrwortbenennung, deren Bedeutung sich aus der Benennung erschliesst. Dies ist eine motivierte Benennung (siehe Kriterien unten).
20	Elektronen	Physik		Siehe Anmerkung bei 9 und 10
21	Rastertunnel-mikroskop			Motivierte Benennung.
22	Elementarteilchen	Physik		Hybridbenennung/Kompositum bestehend aus einem Fremd- und einem deutschen Wort, welches „Partikel“ klar vorzuziehen ist, da letzteres entweder eine Wortart oder aber im technischen Kontext Staubpartikel bezeichnet.
23	Up-Quark	Physik		Was die Quarks betrifft, so wurden keinerlei Versuche unternommen, eine deutsche Entsprechung zu finden – sogar der Plural (-s) ist

24	Down-Quark	Physik		englisch geblieben. Dies erhält die Auffassung aufrecht, dass Deutsch nicht dafür „geeignet“ ist, bei solch bahnbrechenden Forschungsthemen in seinen eigenen Worten „mitzureden“.
25	Neutrino	Physik	http://de.wikipedia.org/wiki/Neutrino	Benennung mit griechischen, italienischen, und englischen Einflüssen. „kleines Neutron (gr.) wurde vom italienischen Physiker Enrico Fermi in den USA mit „-ino“ ‚italianisiert‘ und behielt auch im Deutschen sein englisches Plural-S, wahrscheinlich auch aus Gründen der Sprechbarkeit (*Neutrinoen). Trotzdem ist es interessant, zu sehen, wie beim 1962 entdeckten Teilchen eher auf eine Eindeutschung verzichtet wurde als bei den althergebrachten subatomaren Teilchen (siehe Anmerkung bei 9 und 10).
26	Teilchen- beschleuniger	Physik		„Akzelerator“ ist eine Benennung aus der Wirtschaftslehre und kommt an dieser Stelle überhaupt nicht in Frage. Insgesamt ein gutes Beispiel für eine gelungene Eindeutschung.
27	Lepton	Physik		Leicht problematisch, da ohne Kontext angeführt. Dies ist jedoch ein Einzelfall und von daher akzeptabel.
28	Planck-Länge	Physik		Nicht motiviert, im Kontext erklärt.
29	Raumzeitblasen	Physik		Motivierte Benennung.
30	Quantenschaum	Physik		Rhema zum Thema von 29.
31	Protonen- kollisionen	Physik		Siehe Anmerkung bei 15 und 17
32	Antiprotonen	Physik		Anti- ist ein gut eingebürgerter griechischer Präfix
33	Antiprotonen- Entschleuniger	Physik		Siehe Anmerkung bei 26. Die deutschen Präfixe „Be-“ und „Ent-“ bezeichnen bei Verben oft gegensätzliche Handlungen. („befüllen“/ „entnehmen“)
34	Fusionsreaktor	Physik		Nicht motiviert
35	ionisieren	Physik	http://www.duden.de/rechtschreibung/Ion	Der Rechtschreibduden gibt zur Wortherkunft folgendes an: <i>englisch ion < griechisch íon = Gehendes, Wanderndes, 1. Partizip Neutrum von: íēnai = gehen; also eigentlich = wanderndes Teilchen, wie es sich z. B. bei der elektrochemischen Spaltung chemischer Verbindungen zu den Elektroden hinbewegt: geprägt von dem englischen Physiker und Chemiker M. Faraday (1791 bis 1867)</i> Es ist interessant festzuhalten, dass der englische Wissenschaftler Faraday sich vermutlich keine Gedanken zu einer englischen Übertragung machte, so wie Englisch ja insgesamt gerne Fremdwörter übernimmt.
36	Plasmakugel	Physik		Nicht motiviert, nicht aus dem Kontext erklärt, aber auf dem Begleitbild abgebildet.
37	Magnetspulen	Physik		Eine gelungene Übertragung des englischen „coil“, wobei der Vorteil für die Ausstellung ist, dass es sogar eine motivierte Benennung ist. Eine Magnetspule sieht wirklich etwas wie eine Fadenspule aus.

38	Niob-Titan	Chemie		Aus dem Satz geht hervor, dass es ein Material ist
39	supraleitend	Physik	http://www.duden.de/rechtschreibung/supra_	Eindeutschung von „superconductive“, wobei die Abänderung von „super-“ zu „supra-“ bemerkenswert ist: der Duden zur Herkunft von „ <i>Präfix mit der Bedeutung »über; oberhalb«</i> , z. B. <i>supranational, suprasternal</i> “. Super- hingegen wird laut Duden anscheinend eher in allgemeinsprachlichen Wortverbindungen verwendet. Siehe auch Anmerkung 46.
40	Ampere	Physik		Physikalische Einheit benannt nach dem französischen Physiker André-Marie Ampère. Obwohl in der Ausstellung versucht wird, zum Beispiel Grössenordnungen möglichst zu veranschaulichen, gelingt dies bei den Einheiten nicht so gut – diese werden einfach angegeben. Siehe auch 97.
41	Bose-Einstein-Kondensat	Physik		Das Konzept, das diese Benennung bezeichnet, wird vorangestellt erklärt.
Touchball Theory Mysteries (Touchball 2)				
42	Trägheit (inertia)	Physik		Die deutsche Benennung ist wesentlich weniger wissenschaftlich konnotiert als die englische und wird in der Alltagssprache auch als Synonym für Faulheit verwendet.
43	Ruhemasse	Physik		Im Gegensatz zu „Trägheit“ ist diese Benennung auf das Anwendungsgebiet der Physik beschränkt, auch wenn sie nicht sehr „fachsprachlich“ anmutet.
44	Higgs-Feld	Physik		Warum wird das deutsche Wort „Feld“ verwendet? Weil es ein sich einfach vorzustellender räumlicher Begriff ist. Ebenso Magnetfeld.
45	Higgs-Boson	Physik		Sollte interessierten Besuchern als „Gottesteilchen“ ein Begriff sein.
46	Supersymmetrie	Physik		Die Benennung als solche ist zwar sehr fachgebietsspezifisch, die Bedeutung erschliesst sich aber zumindest annähernd aus den Wortbestandteilen, welche auch in der Alltagssprache Verwendung finden (im Falle von „super“ natürlich mit einer leicht verschobenen Bedeutung).
47	dunkle Materie	Physik		Motivierte Benennung
48	dunkle Energie	Physik		Motivierte Benennung
49	Gravitationslinsen	Physik		„Schwerkraftlinse“ ist eine seltener verwendete Alternative zu „Gravitationslinse“. Die Bedeutung erschliesst sich einerseits aus der Benennung und andererseits aus dem Kontext.
50	schwarze Mikro-Löcher	Physik		Der griechische Wortbestandteil „Mikro-“ ist durch seine Verwendung in Wörtern wie „Mikroskop“ verständlich genug. „Schwarze Mini-Löcher“ wäre vermutlich klarer aber unpassend, da nicht wissenschaftlich genug.
51	Antimaterie	Physik		Siehe Anmerkung 32.
52	Antiteilchen	Physik		
53	Zerfallsrate	Chemie		
54	Zerfall	Chemie		Die deutsche Vorsilbe zer- bezeichnet immer eine Umwandlung oder Auflösung. „Auflösung“ wäre hier aber unpassend, da sich die Atome nicht auflösen sondern in ihre Bestandteile zerfallen.
Interactive Table (Touchball 3)				

55	Positron	Physik		Siehe Anmerkung 9 und 10.
56	kinetische Energie	Physik		Hier ist zur besseren Verständlichkeit „Bewegungsenergie“ angebracht, wenn auch weniger wissenschaftlich.
57	ISR (Proton-Speicherring)	Physik		Bei dieser Abkürzung ergibt sich ausnahmsweise kein Wort oder Name. Sie ist aber trotzdem relativ einfach auszusprechen.
58	Kollisionsenergie	Physik		Siehe Anmerkung 15
59	Rechenzentrum	Informatik		Hier wäre Computerzentrum unpassend. Die Benennung bezeichnet hier die Vorgänge im Zentrum, nämlich das Rechnen und nicht dessen Ausstattung (Computer), da man sonst an ein Fachgeschäft erinnert ist.
60	Petabyte	Informatik		Auch wenn die griechischen Bezeichnungen den Besuchern vielleicht nicht in ihrer Bedeutung geläufig sind, geht dennoch aus dem Kontext hervor, dass es sich um ausserordentlich viel Speicherplatz handeln muss.
61	Gigabyte	Informatik		
62	Plattenspeicher	Informatik		Motivierte Benennung
63	Laufwerk	Informatik		Ein gutes Beispiel für eine Eindeutschung eines Begriffes aus der Informatik.
64	Bandspeicher	Informatik		Motivierte Benennung
65	Kassettenspeicher	Informatik		Motivierte Benennung
66	Tier (Tier)	Informatik		Das englische Wort „tier“ für deutsch „Lage“ oder „Schicht“ wird auch im Deutschen für die Bezeichnung von Hierarchiestufen in Systemen verwendet. Dies ist etwas unglücklich, da sich diese Bedeutung schlecht erschliessen lässt und das Wort zudem homograph zum deutschen Wort „Tier“ ist.
67	Nanogramm	Physik		Hier wurde darauf geachtet, ob sich aus dem Satz erschliesst, dass es viel weniger als ein Gramm ist. Sonst wäre es nämlich für deutschsprachige Besucher nicht sehr klar, da das griechische Wort für „Zwerg“ nur in den romanischen Sprachen in die Allgemeinsprache eingegangen ist (frz. „nain“, ital. „nano“).
68	Linearbeschleuniger	Physik		Der Vorgang erschliesst sich gut aus der Kompositabildung, das lateinische Fremdwort ist vollständig eingebürgert.
69	MeV	Physik		Die Einheiten sind insgesamt etwas problematisch, da sehr abstrakt. Andererseits werden oft Vergleiche gemacht.
70	PS-Booster	Physik	http://home.web.cern.ch/about/accelerators/proton-synchrotron-booster	Einer der wenigen Anglizismen, die durch das Raster geschlüpft sind. Der PS-Booster heisst aus historischen Gründen nicht „Beschleuniger“: „Before the Booster received its first beams on 26 May 1972, protons were injected directly from the linac into the [Proton-Synchrotron], where they were accelerated to 26 GeV. The low injection energy of 50 MeV limited the number of protons the [Proton-Synchrotron] could accept. The Booster allows the [Proton-Synchrotron] to accept over 100 times more protons, which greatly enhances the beam's use for experiments.“ Man könnte entweder trotzdem Beschleuniger verwenden oder eine Benennung für „Booster“, z. B. „Treiber“/„Förderer“ schaffen.

71	Protonen-Synchrotron	Physik		Seine Funktion wird im Satz erklärt.
72	Low Energy Ion Ring (LEIR)	Physik		Die Akronyme der CERN-Experimente (ALICE, ATLAS, etc.) wurden oft so festgelegt, dass ein Wort daraus entsteht, auch auf Kosten des Sinngehaltes der ausgeschriebenen Form ⁵⁰ . Dadurch stellt sich die Frage, wie bei der Übersetzung damit umzugehen ist, damit dieser Effekt nicht untergeht.
73	Low Energy Antiproton Ring (LEAR)	Physik		Siehe Anmerkung 72.
74	On-Line Isotope Mass Separator (ISOLDE)	Physik		
75	Halbwertszeit	Physik		Interessanterweise keine direkte Übertragung von „half-life“; „demi-vie“ o. ä.
76	nukleare Astrophysik	Physik		Es gibt kein Adjektiv zu „Kern-“, deshalb muss auf das lateinische Wort ausgewichen werden.
77	Festkörperphysik	Physik		Motivierte Benennung.
78	Biowissenschaften	Wissenschaft		Wäre besser verständlich, wenn Beispiele gegeben würde.
79	Allzweck-Detektor	Physik		Motivierte Benennung.
80	torusförmig	Physik		Bedeutung geht aus der Abbildung hervor.
81	zylindrisch	Physik		
82	Strahlrohr	Physik		Motivierte Benennung.
83	Kalorimeter	Physik		Wird in einem eigenen Abschnitt erklärt.
84	Antiproton-Proton-Speicherring	Physik		Seine Funktion wird im Satz erklärt.
85	W-Boson, Z-Boson	Physik		Siehe Anmerkung zu 9 und 10.
86	Antiprotonstrahl-Kühlung	Physik		Motivierte Benennung.
87	Emission	Physik		Siehe Anmerkung zu 136.
88	Strahlrichtung	Physik		Motivierte Benennung.
89	Ereignis			Dieses an und für sich allgemeinsprachliche Wort wird verwendet, um „events“ zu bezeichnen, d. h. wenn sich im Rahmen eines Experimentes etwas Nennenswertes oder Erwartetes ereignet.
90	Teilchenschauer	Physik	http://indico.cern.ch/event/133403/content	Um diesen Vorgang („particle cascade“) bildhaft umzusetzen, wurde hier „Schauer“ und nicht „Kaskade“ gewählt.
91	kalibrieren	Physik	http://www.duden.de/rechschreibne/kalibrier	Dieses ursprünglich lateinische Fremdwort wurde eins zu eins aus dem englischen Original übernommen. Vom Duden angegebene Synonyme wie „bestimmen“, „messen“ oder „kontrollieren“ sind nicht spezifisch bzw. fachsprachlich genug.
92	Super-Protonen-Synchrotron	Physik		Bei Eigennamen werden sich die Besucher wahrscheinlich nicht lange aufhalten. Das heisst, auch wenn sich die genaue Bedeutung für die

⁵⁰ So wurde, um den Eigennamen ISOLDE bilden zu können, „Isotope Separator On Line Device“ gegenüber dem vielleicht logischeren „On Line Isotope Separator Device“ der Vorzug gegeben.

				Besucher vielleicht nicht erschliesst, so wird davon ausgegangen, dass sie die Benennung als Eigennamen für die Maschine verstehen und dies für das unmittelbare Verständnis genügt.
93	Large Hadron Collider	Physik		Eine deutsche Benennung existiert und wird im Zieltext auch verwendet; mit der englischen Benennung wird hier die Abkürzung hergeleitet.
94	Kontrollzentrum			Anschauliche Benennungen, die keine Verständnisprobleme bereiten sollten.
95	Tiefemperaturkühlung	Physik		
96	Quark-Gluon-Plasma	Physik		Aus dem Kontext erklärt.
97	Tesla	Physik		Aussagekräftiger als die Abkürzung „T“
98	Wirkungsquerschnitt	Physik		Anschauliche Benennungen, die keine Verständnisprobleme bereiten sollten.
99	Strahlführung	Physik		
100	b-Quark, Anti-b-Quark	Physik		siehe Anmerkung zu den Quarks (13, 23 und 24)
101	Sub-Detektor	Physik		Der lateinische Präfix Sub- wird hier dem deutschen Unter- bevorzugt, da bei „Unterdetektor“ der Eindruck entstünde, dieser befände sich lokal unterhalb des eigentlichen Detektors. Sub- sollte den meisten Besuchern aus Wörtern wie „Subkultur“ oder „Subkontinent“ geläufig sein.
102	B-Meson	Physik		
103	Strahlaustritt	Physik		Anschauliche Benennung, der keine Verständnisprobleme bereiten sollte.
104	Mega-Joule	Physik		Masseinheit für Energie
105	Radiofrequenzkavität	Physik		
106	Kavität	Physik		
107	Dipolmagnet	Physik		
108	Ultrahochvakuum	Physik		
109	Kühlflüssigkeit	Physik		
110	Flüssigstickstoff	Physik		nicht: flüssiger Stickstoff
111	Kühlturbine	Ingenieurwesen		
112	Superfluid			
Touchball LHC Engineering (Touchball 4)				
113	Zentraldetektor	Physik		
114	CMS (Artikel)	Physik		
115	Kaverne	Physik		Das Wort „Höhle“ würde hier keine guten Dienste leisten, da es nicht die Bedeutung von „menschgemacht“/„technisch“ vermittelt. „Hohlraum“ wäre zu klein. Die Bedeutung des lateinischen Fremdwortes geht aus dem Zusammenhang hervor.
116	zentrales Element	Physik		Motivierte Benennung.
Touchball Detector Panorama (Touchball 5)				
117	Spurerkennung	Physik		Die deutsche Benennung ist deutlich präziser, d. h. ausformulierter als das englische „tracking“, was eine Verständnishilfe darstellt. Es wird ersichtlich, was mit den Spuren geschieht.
118	elektromagnetisches Kalorimeter	Physik		Der Benennung ist ein Abschnitt gewidmet.
119	Pion	Physik		Dieses Teilchen wird nur ein einziges Mal in

				einem Atemzug mit Protonen und Neutronen erwähnt. Neben der Endung –on, die auf ein Teilchen hindeutet (siehe Anmerkung zu 9 und 10) trägt auch dieser Umstand dazu bei, dass die Benennung verstanden wird.
120	hadronisches Kalorimeter	Physik		Der Benennung ist ein Abschnitt gewidmet.
121	Toroid	Physik	http://elektronik-kurs.net/elektrotechnik/induktivitat-von-spuelen/	„Ringkernspule“ wäre besser, da motiviert. (Form wird ersichtlich.)
122	Toroidspule	Physik		
123	Magnetfeld	Physik		Motivierte Benennung.
124	Myon	Physik		Siehe Anmerkung zu 9 und 10
125	Myonenkammer	Physik		
126	Endkappe	Ingenieurwesen		Motivierte Benennung.
127	Impuls	Physik		Was genau gemessen werden soll, wird nicht klar.
128	Vertex	Physik	http://workquark.desy.de/lexikon/lexikon.vertexdetektor/1/	Erster Bestandteil vermutlich vielen Besuchern nicht geläufig. Im Abschnitt, in dem er erwähnt wird, wird auch nicht weiter darauf eingegangen, was das Besondere an einem Vertexdetektor ist. Obwohl dies wie wir gesehen haben in populärwissenschaftlichen Texten nicht so üblich ist, wäre hier vielleicht eine kurze Definition nützlich, da auch das Bild diesbezüglich keinen grossen Informationsgehalt hat: „Vertex-Detektoren sind Teilchendetektoren mit besonders hoher Ortsauflösung. In Großdetektoren befinden sie sich dicht am Strahlrohr, um beispielsweise zu vermessen, wo sich der Zusammenprall der Teilchen ereignet hat.“
129	Vertexdetektor	Physik		
130	„Silikonstreifen“-Detektor	Physik		
131	„Beauty“-Teilchen	Physik		siehe Anmerkung zu den Quarks (13, 23 und 24)
132	Präzisions-Spurerkennung	Physik		Bei dieser Kompositabildung ist der Trennstrich unabdingbar, da sonst unklar wäre, ob es sich um die Erkennung der Präzisionsspur handelt oder die Spurerkennung präzise ist.
133	Strohröhren-detektor	Physik		Hier wurde aus oben erwähnten Gründen dem eingedeutschten Wort gegenüber „Straw-Detektor“ der Vorzug gegeben obwohl erstere weniger gebräuchlich ist.
134	Spurendrift-kammer (TPC)	Physik		Motivierte Benennung.
135	Nachweis-kammern	Physik		Motivierte Benennung.
136	vorderer Absorber	Physik		Das lateinische Wort wird fachsprachlich verwendet, undenkbar wäre „Aufsauger“.
Touchball Detector Engineering (Touchball 6)				
137	Schale/Schicht (layer)	Eigentlich Alltagssprache		Benennung aus der Allgemeinsprache.
138	Teilchenschauer	Physik		Durch die Analogie mit „Regenschauer“

				anschaulich.
139	Szintillationsmaterialien	Physik		Die Bedeutung des lateinischen Fremdwortes wird aus dem Kontext erklärt. Dennoch erscheint die Eindeutschung nicht besonders elegant. Man könnte sich überlegen, „Flimmermaterialien“ zu prägen.
140	Kacheln	Physik		Benennung aus der Allgemeinsprache.
141	Ionisationsspur	Physik		Siehe Anmerkung 35.
142	Driftröhre	Physik		Aus der Benennung ableitbar, ≠ röntgen
143	Zerfallsprodukte	Chemie		Motivierte Benennung.
	Interactive Sphere (Touchball 7)			
144	Computernetzwerk	Informatik		Motivierte Benennung.
145	Lenkungsorgan (governing body)	Verwaltungswesen		Motivierte Benennung.
146	Verwaltung	Verwaltungswesen		Das CERN verfügt nicht über eine offizielle deutsche Unternehmenssprache, die hätte konsultiert werden können, aber auch hier wurden in der Übersetzung deutsche Benennungen bevorzugt verwendet.
147	Verwaltungsdirektor	Verwaltungswesen		
148	Beschaffung	Verwaltungswesen		
149	Personaldienst	Verwaltungswesen		
150	Blasenammer	Physik		Als Teil der Geschichte des CERN werden die Nobelpreisträger und ihr Forschungsgebiet genannt. In diesem Zusammenhang ist es nicht so wichtig, dass die Terminologie verstanden wird, da sie eher zur Kenntnis genommen werden soll und hier die Erwähnung der Nobelpreisträger wichtiger ist.
151	Vieldraht-Proportionalkammer	Physik		
152	Driftkammer	Physik		
153	stochastische Strahlkühlung	Physik		
	Touchball Spin Offs (Touchball 6)			
154	Prozessor (CPU)	Informatik		Das Wort „Prozess“ ist ein technischer (auch: juristisch) geprägtes Synonym für „Vorgang“ und wird allgemein gebraucht. Von da ist es ein kleiner Schritt zu „Prozessor“. Was dabei allerdings wegfällt ist die ausgeschriebene Bedeutung von „zentrales Steuerelement“.
155	Transistor	Informatik		
156	Festplatte	Informatik		Gutes Beispiel für Übertragung und Wortschöpfung auf Deutsch.
157	Speicherkapazität	Informatik		Für Speicher, siehe Anmerkung 156.
158	Elektronenspin	Informatik		„Spin“ bezeichnet eine Drehbewegung. Man könnte sich vorstellen, dass dies für deutsche Besucher aufgrund des Wortfeldes „Spinne“/ „spinnen“ etc. verständlich ist. Andererseits wird dieser Terminus im Französischen ebenso verwendet.
159	Rechenleistung	Informatik		Motivierte Benennung.
160	Hypertext Markup Language (HTML)	Informatik	http://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/html	Der Terminus „Hypertext-Auszeichnungssprache“ wird fachsprachlich verwendet. („HTML ist eine Auszeichnungssprache, die zur Erstellung von Inhalten im World Wide Web genutzt wird.“) Im Informatikbereich sind deutsche Benennungen aber nur wenig etabliert.
161	optische Fasern	Physik		Direkte Übertragung.
162	Laserlicht	Physik		Eigentlich ein Akronym von „light amplification by stimulated emission of radiation“.

				Bemerkenswert ist, dass die deutsche Aussprache der englischen treu blieb („leize“) während die französische bei der Einbürgerung einen Schritt weiter geht („lazer“). Dies ist ein Beispiel für die vermutlich verwandtschaftlich bedingte grössere Durchlässigkeit der deutschen für die englische Sprache, die bestimmt auch phonetische Gründe hat.
163	GPS	Technologie		Allgemeinsprachlich etabliert, da das Gerät im alltäglichen Leben verwendet wird.
164	Datenträger-schicht	Informatik		Motivierte Benennung.
165	ladungsgekoppeltes Element	Informatik		Motivierte Benennung.
166	Halbleiter	Physik		Motivierte Benennung.
167	Fusionsenergie	Physik		Motivierte Benennung.
168	Fusionsreaktor	Physik		Das Konzept der Fusion wird in den vorhergehenden beiden Abschnitten im Detail erklärt, und es wird nach der Benennung gesagt, dass der Fusionsreaktor „zur Energiegewinnung“ dienen würde.
169	Jod-131	Chemie		Aus dem Satz geht hervor, dass es sich dabei um „radioaktive Isotope“ handelt. Wenn der Besucher aber aus dem Chemieunterricht in der Schule nicht mehr weiss, was das ist, hilft ihm das leider nicht weiter.
170	Technetium-99m	Chemie		
171	Computertomographie	Medizin		Diese Benennung (Titel) wird im dazugehörigen Abschnitt eingehend erläutert. Dies gilt auch für Benennung 175.
172	Magnetresonanz	Medizin		Aus dem Satz geht hervor, was bei der Magnetresonanz vor sich geht.
173	Bildgebung	Medizin		Motivierte Benennung.
174	Radiofrequenzfeld	Medizin		Aus dem Satz geht hervor, was dieses Feld bewirkt, so dass sich die Besucher vielleicht nicht allzulange damit aufhalten werden, den Term genau zu verstehen.
175	Positronen-Emissions-Tomographie	Medizin		Siehe Benennung 171.
176	DNA	Biologie		Auf Deutsch wird DNS nicht oft verwendet. Wenn das Wort aber ausgesprochen wird, wird „-säure“ gesagt. Insgesamt werden Abkürzungen oft nicht eingedeutscht (ILO, WHO, AIDS) sondern nur die ausgesprochenen Formen übersetzt („Weltgesundheitsorganisation“). Dies ist im Französischen weniger der Fall (ADN, SIDA, OMS). Die französische Sprache wird auch von offizieller Seite her besser vor äusseren Einflüssen geschützt. Vergleiche dazu das Gesetz „Loi Toubon“: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005616341&dateTexte=vig

10 Anhang II: Ausgangstext

Touchball 1: Theory Basics

TIME *History of the Universe*

TODAY Today, we are living on our planet Earth that formed about 4 570 million years ago together with the Solar System. The Big Bang happened 13 700 million years ago. MEDIA: *(Earth) Our planet today*

SOLAR SYSTEM Our solar system formed about 9 billion years after the Big Bang. The inner planets, like the Earth, are mainly made of materials that stem from the violent explosions of ancient stars. MEDIA: *(Solar System) Solar System*

SEEDS OF LIFE At the end of their lifetime, stars explode and produce heavy elements, which are essential for the formation of life. The Crab Nebula is a remnant of a supernova explosion in the year 1054. MEDIA: *(Supernova) An exploding star produces all heavy elements needed for planets and life*

THE FIRST STARS More than 200 million years after the Big Bang, hydrogen and helium clouds clump together under the force of gravity. In their interior, fusion reactions start to produce energy - and the first stars begin to shine. MEDIA: *(First Stars) The first stars of the Universe begin to shine*

FIRST ATOMS After 380,000 years, the universe has cooled down sufficiently for the first hydrogen and helium atoms to form. The light emitted from these atoms is still visible today, as the cosmic microwave background radiation. MEDIA: *(First Atoms) The Cosmic Microwave Background (CMB) consists of light emitted by the first atoms*

FIRST NUCLEI Protons and neutrons form less than a second after the Big Bang. For a few minutes, the temperature in the Universe is still high enough to allow for their fusion and the lightest nuclei, mainly He-4, are produced. MEDIA: *(First Nuclei) The lightest nuclei formed by fusion of protons and neutrons.*

PRIMORDIAL SOUP Protons and neutrons are made of quarks that are held together by gluons. In the first millionth of a second after the Big Bang, the Universe was so hot that protons and neutrons could not form, and quarks and gluons roamed freely in a 'primordial soup'. MEDIA: *(Primordial soup) The 'quark-gluon plasma' is believed to be the primordial state of matter in the Universe.*

LHC ERA Colliding particles at the LHC reproduce conditions similar to those in the Universe just a trillionth of a second after the Big Bang. MEDIA: *(LHC era) Particle collision at the LHC*

BIG BANG In the beginning, there was just a little dot of energy that started to expand rapidly, about 13.7 billion years ago. What exactly happened when our Universe came into existence? MEDIA: *(Big Bang) The Big Bang started from a tiny point containing an immense energy*

SPACE *The size scale of matter*

UNIVERSE Our visible universe today has a size of more than 50 billion light years, and is filled by more than 100 billion galaxies. MEDIA: *(Universe) A small part of the Universe on a photo of the Hubble telescope*

GALAXIES Galaxies are made of a hundreds of billions of stars, with a typical size of 100,000 light years. Our own galaxy, the Milky Way, rotates around its centre in about 200 million years. Scientists believe that it is held together by dark matter. MEDIA: *(Galaxies) Galaxies*

SOLAR SYSTEM Light needs about 1 day to traverse our solar system. However, it would need four years to reach the next star, which may also have planets.
MEDIA: *(Solar system) Our solar system*

SUN The Sun has a diameter of about 1.5 million km. The distance between Sun and Earth is about 150 million km, also called 'Astronomical Unit'. Light takes about 8 min to travel from Sun to Earth. MEDIA: *(Sun) Sun*

EARTH Our Earth is a rather small planet, with a diameter of 12800 km. MEDIA: *(Earth) Our planet*

HUMANS The human size of about 1.7 m lies somewhere in the middle between the largest and smallest dimensions of the Universe. MEDIA: *(HUMANS) A study of the human body by Leonardo da Vinci*

CELLS The basic unit of all organisms is the cell, with a typical size of 1/100 mm. MEDIA: *(CELLS) These cancer cells have been made visible with an electron microscope.*

ATOMS All that we can see and touch is made of atoms, with a typical size of 0.1 nm (0.1 billionth meter). There are 92 different types of atoms in the periodic system. They differ in the number of protons, neutrons and electrons. MEDIA: *(ATOMS) This picture of Xe atoms on a Ni surface has been taken using a scanning tunnelling microscope.*

NUCLEI A tiny nucleus in the centre of each atom contains practically all its mass. It has a size of 1/100000 of an atom, i.e. a millionth of a billionth of a meter. MEDIA: *(NUCLEI) Nuclei are made of protons and neutrons, which consist of three quarks each.*

PARTICLES The smallest constituents of matter are the fundamental particles: up- and down quark, the electron and its neutrino. Their size is too small to be measured, and the upper limit is 1/10000 of the size of a nucleus. In accelerator experiments, physicists have found two more families of quarks and leptons. MEDIA: *(HUMANS) The spectrum of fundamental particles and fields.*

SMALLEST SCALE? The smallest distance scale that may exist in Nature is called the 'Planck length'. At this distance, space and time may be quantized, as a 'space-time foam'. MEDIA: *(Particles) At the smallest length scales, space and time may exist in the form of 'space-time foam'.*

POWERS OF 10

TEMPERATURE *The temperature scale of matter*

BIG BANG What was the temperature (or energy) at the time of the Big Bang? Nobody knows for sure. At temperatures corresponding to 10^{32} K, the known laws of physics will not apply any more. MEDIA: *(BIG BANG) What happened at the Big Bang?*

LHC COLLISIONS Particle collisions in the LHC concentrate the kinetic energy of the particles in the size of an atomic nucleus, creating a temperature 100 million times higher than inside the Sun. These collisions create a vast amount of known - and perhaps unknown - particles. MEDIA: *(LHC collision) Collisions between protons recreate the situation just after the Big Bang*

ANTIMATTER When particles collide with an energy that corresponds to a temperature of 10 trillion degrees (10^{13} K), pairs of protons and antiprotons are created. This principle is used in the Antiproton Decelerator (AD) at CERN to make

antimatter. MEDIA: *(Antiproton annihilation) When antimatter and matter collide, they destroy each other, creating short-lived particles and radiation.*

FUSION In a fusion reactor (JET), a temperature of 100 million degrees permits hydrogen nuclei to overcome their electrical repulsion and fuse to become helium nuclei. In this process, mass is converted to energy. MEDIA: *(Fusion JET) Fusion in JET reactor*

IONIZATION In lightning, the temperature reaches 30,000 degrees, and neutral matter is ionized. A similar phenomenon can be observed in plasma balls, shown in this photo. MEDIA: *(Ionization) Plasma ball*

WATER BOILS At atmospheric pressure, water boils at a temperature of 373 K (100 degrees Celsius) and becomes steam. MEDIA: *(Boiling water) A volcano with a lot of steam*

ICE MELTS At 273 K (= 0 deg Celsius), ice melts and becomes water. MEDIA: *(Ice melts) An iceberg*

UNIVERSE TODAY Our Universe is filled with the cosmic microwave background, a relict from its violent past. The radiation was emitted 380000 years after the Big Bang, when the Universe had a temperature of about 3000 K. Today, the radiation has cooled down to 2.7 K. MEDIA: *(CMB) The Cosmic Microwave Background*

LHC MAGNETS The LHC magnets are cooled to 1.9 K. At this temperature, the magnet coils (made of Nb-Ti) become superconducting and a current of 11700 Ampere can flow without resistance. MEDIA: *(LHC Magnets) LHC Magnets - the coils are made of superconducting material*

ZERO K At zero temperature, all movement stops. The lowest temperature that has been reached is 0.0000001 K, where a new state of matter ('Bose-Einstein condensate') appears. MEDIA: *(Zero Kelvin) Bose-Einstein condensate*

Touchball 2: Theory Mysteries

MASS *WHAT IS MASS? All fundamental constituents of matter (quarks and electrons) have "mass", which means that they have an "inertia" resisting acceleration by a force. Massless particles move with the speed of light. Particles with a rest mass can only approach the speed of light, but never reach it.*

THE MYSTERY How do particles acquire their mass or inertia? How can a (almost?) point-like object - such as an elementary particle - have a mass? Why do the known particles have such different mass scales?

A SOLUTION? *Higgs field* Peter Higgs and several other physicists proposed in 1964 that particles acquire mass through their interactions with an all-pervading 'Higgs field'. The search for the 'Higgs boson', the carrier of this new field, is one of the main objectives for the LHC.

ANOTHER SOLUTION? *SUPERSYMMETRY* But there are also other possible explanations. One of them is a theory called "Supersymmetry" that even predicts (at least) five 'species' of Higgs bosons. Only the experiments at the LHC will find out which theory is correct.

DARK UNIVERSE *THE DARK UNIVERSE* From observations of distant galaxies, exploding stars and the cosmic microwave background, it has

become clear that only 4 % of our universe consists of 'ordinary' matter, made of protons, neutrons, and electrons. About 26 % is made of 'dark matter', and about 70% is made of 'dark energy'. But what are these mystery ingredients?

COSMIC FINGERPRINT THE STRANGE COMPOSITION *HOW DO WE KNOW?*

The cosmic microwave background radiation was emitted 380000 years after the Big Bang. Today its temperature has cooled to 2.7 K. By studying tiny fluctuations of this temperature, it is possible to learn much about the history and composition of the Universe.

WHAT IS DARK MATTER? WHAT IS DARK MATTER? *WHAT IS DARK*

MATTER? We know of dark matter because we can 'see' it indirectly through its gravitational effect: galaxies rotate much faster than expected, and light is bent by 'gravitational lenses', made of dark matter. It might consist of 'supersymmetric particles' - very heavy particles that would be found at the LHC.

WHAT IS DARK ENERGY? WHAT IS DARK ENERGY? *WHAT IS DARK*

ENERGY? We know of dark energy because it is responsible for speeding up the expansion of our universe, a phenomenon that has been detected in astronomical observations. Dark energy seems to fill space and time evenly. It could be linked to other fields that fill our universe since the time of the Big Bang.

EXTRA DIMENSIONS *DIMENSIONS OF SPACE How many dimensions*

does space have? From studying Newton's law, we conclude that it must be 3, because this number is linked to the $1/r^2$ law. But is this also true for very small distances?

EXTRA-DIMENSIONS? EXTRA-DIMENSIONS? *EXTRA-DIMENSIONS?*

Why is gravity many orders of magnitude weaker than other interactions? A new theory says that gravity only appears so weak because its force is being shared with other spatial dimensions. But if such a fourth dimension exists, we know from experiment that it must be smaller than about 0.01 mm.

NEW PHENOMENA NEW PHENOMENA? *NEW PHENOMENA?*

If extra-dimensions exist, the energy of particle collisions in the LHC may allow particles to move into these dimensions. We may observe a sudden disappearance - or an unexpected appearance - of a particle in an experiment. We may even observe 'micro-black holes' for the fleeting moment of their existence, before they decay into ordinary particles!

ANTIMATTER *What is antimatter? Each particle has an 'antiparticle', with the same mass but opposite charge. In particle collisions, both particles and antiparticles are created in equal amounts.*

But when particle and antiparticle meet, they destroy each other, converting all their mass into energy ($E=mc^2$).

MIRROR UNIVERSE? A MIRROR UNIVERSE? *A MIRROR UNIVERSE?*

Antiparticles are perfectly equal to particles, except for their charge. A universe made of antimatter could therefore exist, and it would look exactly the same as our universe.

THE MYSTERY... A COSMIC MYSTERY *A COSMIC MYSTERY* Equal amounts of matter and antimatter must have been produced in the Big Bang. But a tiny fraction of a second after, they did not destroy each other completely. Instead, a tiny surplus of matter survived - enough to make all stars, planets, and us. Why?

A SOLUTION? *A SOLUTION?* *A SOLUTION?* Particles called 'b-quark' and 'anti-b-quark' show small differences in their decay rates. Both are produced in collisions at the LHC. By comparing their decays very precisely, the LHCb experiment hopes to find valuable clues as to why nature prefers matter over antimatter.

PRIMORDIAL MATTER *PRIMORDIAL MATTER* *The primordial matter after the Big Bang was a dense soup of free quarks and many other particles. Only after about one millionth of a second, the quarks became confined in 'protons' and 'neutrons'.*

THE INGREDIENTS... *THE INGREDIENTS...* *THE INGREDIENTS* Protons and neutrons are made of quarks that are stuck together by 'gluons', the carrier particles of the strong force. This force is so strong that no experiment has succeeded in isolating individual quarks or gluons. But is it possible to create conditions that would 'free' quarks and gluons from their proton (or neutron) "prison"? Such a state must have existed just after the Big Bang.

THE PRIMORDIAL SOUP *THE PRIMORDIAL SOUP*

THE PRIMORDIAL SOUP Lead nuclei are made of 82 protons and 126 neutrons. When two lead nuclei collide at LHC energies, they create an extremely dense and hot 'soup' of particles with a temperature of about 2000 billion degrees - about 100000 times hotter than the core of the Sun! The ALICE experiment will study this state - and there are strong hints that at these temperatures, the proton and neutron 'prisons' open and quarks and gluons can roam freely.

Touchball 3: Interactive Table

ANTIMATTER

ANTIMATTER The 'Antimatter Decelerator (AD)' is the antimatter 'factory' of CERN. Antiprotons are produced and slowed down to 10% of the speed of light. Antiprotons can even be stored in a trap!

Antihydrogen In 2002, the ATHENA experiment was first to produce millions of slow moving antihydrogen atoms, made of an antiproton and a positron. The picture shows how antihydrogen is destroyed when it touches the wall of the trap.

ISR

ISR The Intersecting Storage Ring was the world's first proton-proton collider in 1971. It collided protons at 30 GeV per beam. The LHC is more than 200 times more powerful.

COMPUTING

Computer Center The Computer Center provides the infrastructure for analysing the enormous amount of LHC data: roughly 25 petabytes (25 million gigabytes) of data per year! At CERN, there are more than 30000 CPUs at work. But that's not enough...

LHC data If the LHC data were written to standard CDs, a stack about 20 km tall would be produced each year. The computer centre provides currently 14 PB of disk space (on 42600 drives) and 34 PB of tape space (45000 cartridges).

Computing Grid The LHC data is distributed via the Worldwide LHC Computing Grid to eleven large computer centres (Tier-1) and from there to another 140 computing centres (Tier-2) world-wide.

The GRID Grid computing has also become important for other disciplines, including bioinformatics, medical imaging, education, climate change, energy, agriculture and more.

SOURCE

Proton Source The protons of the LHC beams start from this bottle of hydrogen. Although the LHC beams contain about 100 million million protons, their total mass is only 2 nanograms. It would take about one million years to accelerate one gram of hydrogen.

Linear Accelerator The Linear Accelerator takes the protons from the hydrogen source, accelerates them to 50 MeV, and injects them into the PS Booster.

PS Booster The PS booster collects many proton bunches from the linear accelerator and accelerates them to 1.4 GeV before sending them to the Proton Synchrotron.

LEIR

LEIR Lead ions for the LHC start from a source of vaporised lead. They are collected and accelerated in the Low Energy Ion Ring (LEIR), and then follow the same route to maximum acceleration as the protons.

LEAR Before 1996, the same ring was called Low Energy Antiproton Ring (LEAR). It hosted a large number of experiments using antiproton beams. LEAR became famous in 1995 when the first 9 antihydrogen atoms were produced here.

PS

Proton Synchrotron The Proton Synchrotron (PS) has a diameter of 200 m and has been in operation since 1959. Its principal role today is to supply particles to the LHC. The PS accelerates protons delivered by the PS Booster from 1.4 to 25 GeV and injects them into the SPS.

ISOLDE

ISOLDE ISOLDE (On-Line Isotope Mass Separator) is a unique source of atomic nuclei that have too many or too few neutrons to be stable. The facility is like a small alchemical factory, changing one element to another.

ISOLDE experiments More than 600 isotopes - from helium to radium - have been produced, with half-lives down to milliseconds. These are used for studies of nuclear and atomic physics, nuclear astrophysics, solid-state physics and life sciences.

ATLAS

ATLAS is a general-purpose detector designed to cover the widest possible range of physics, from the search for the Higgs boson to supersymmetry (SUSY) and extra dimensions. The ATLAS collaboration consists of more than 3000 scientists and engineers from 37 countries.

From Space to ATLAS An animated voyage from space to the inside of the ATLAS detector.

ATLAS animation This animation shows a proton-proton collision in the ATLAS detector.

ATLAS detector The detector has a cylindrical shape of 25 m diameter and 46 m length. The main feature is its enormous doughnut-shaped magnet system. It consists of eight 25-m long superconducting magnet coils, forming a cylinder around the beam pipe through the centre of the detector.

ATLAS inner detector This image was taken in 2008, when the inner detector and the calorimeters were installed.

ATLAS events In early 2010, the ATLAS detector observed the first collisions at an energy of 7 TeV.

NOBEL BOSONS

Antiproton Proton Collider In the 1980s, the SPS was transformed into an antiproton-proton collider, with a collision energy of up to 540 GeV.

UA1 The UA1 (Underground Area 1) experiment discovered the W and the Z bosons in 1983. Carlo Rubbia, the leader of UA1, was awarded the Nobel Prize in 1984.

UA1 event This event from the UA1 detector shows the production of a Z boson.

Nobel Prizes Carlo Rubbia (the leader of UA1) and Simon Vandermeer (the inventor of antiproton beam cooling) were awarded the Nobel prize in 1984.

UA2 The UA2 experiment confirmed the existence of the W and Z bosons.

LHC-F

LHC-f LHCf is a small experiment installed close to ATLAS. It studies the emission of particles close to the beam direction. This will help to understand the behaviour of cosmic rays at very high energy.

LHC-f events Studying how collisions inside the LHC cause cascades of particles will help scientists to interpret and calibrate large-scale cosmic-ray experiments that can cover thousands of kilometres.

SUPER PS

Super Proton Synchrotron The Super Proton Synchrotron measures 7 km in circumference and is the second largest machine in CERN's accelerator complex. It takes particles from the PS and accelerates them to 450 GeV. It provides beams for the Large Hadron Collider and for other experiments.

SPS magnets The SPS has 744 dipole magnets at room temperature (photo) to bend the beams round the ring. It has handled many different kinds of particles—sulphur and oxygen nuclei, electrons, positrons, protons, and antiprotons.

CONTROL CENTRE

CERN CONTROL CENTRE The CERN control centre combines all the control rooms for the laboratory's 8 accelerators and the cryogenic distribution system. There are 39 operation stations for 4 different areas – the LHC, the SPS, the PS complex and the technical infrastructure.

ALICE

ALICE The ALICE experiment studies the quark-gluon plasma, a state of matter that should have existed just after the Big Bang before protons and neutrons formed.

ALICE detector The ALICE detector is designed for measuring lead-ion collisions. It is 26 m long, has a diameter of 16 m and weighs 10000 tons.

ALICE Collaboration The ALICE collaboration has more than 1500 scientists from 30 countries.

ALICE event When two lead ions collide at LHC energies, many new particles are created, that tell the story of a new state of matter where quarks and gluons are no longer confined.

CMS

CMS CMS is a general-purpose detector designed to cover the widest possible range of physics at the LHC, from the search for the Higgs boson to supersymmetry (SUSY) and extra dimensions.

CMS detector The CMS detector has the shape of a cylinder with a diameter of 15 m and a length of 21 m, and it has a weight of 12500 tonnes.

CMS Magnet CMS is built around a huge superconducting solenoid, generating a magnetic field of 4 Tesla, about 100'000 times that of the Earth.

CMS central tracker The CMS collaboration consists of more than 3000 scientists and engineers from 38 countries. This photo shows the central part of the CMS detector with the LHC beam pipe.

CMS animation This animation shows a proton-proton collision in the CMS detector

TOTEM

TOTEM The TOTEM experiment is a relatively small experiment located close to the CMS detector. It measures the probability that two protons interact with each other ("total cross section") at LHC energies. *Totem Detectors* The three TOTEM detectors are each about 3 m long, but they are installed over a length of 440 m extension along the LHC beam line.

LHCb

LHCb LHCb is a specialized experiment for studying the slight asymmetry between matter and antimatter that is present in interactions of particles containing a "b-quark" and an anti-b-quark. The LHCb collaboration has more than 650 members from 15 countries.

LHCb Detector To optimize the efficiency of detecting particles containing "b-quarks" and anti-b-quarks, the sub-detectors cover the collision point and the forward region over a length of 20 m.

LHCb

event The LHCb detector is able to pick out B-mesons (with a lifetime of about 1 trillionth of a second) by measuring the distance between the proton-proton interaction point and the decay point of the B-mesons. The detector locates these positions to within 1/100 mm.

NEUTRINOS

NEUTRINOS to GRAN SASSO Neutrinos are very light, neutral particles that interact very little with matter. To find out more their properties, CERN sends a neutrino beam through the rock, in direction of the Gran Sasso laboratory in Italy. The voyage through the Earth takes the neutrinos only 2.4 milli-seconds!

BEAM EXIT

Energy in LHC beams At full energy and intensity, the total energy in each beam is about 350 Mega-Joules. This is about as energetic as a 400-ton train, like the French TGV, travelling at 150 km/h. The beam energy is enough to melt around 500 kg of copper.

Emergency exit When the beam becomes unstable, beam loss sensors will detect it and within three revolutions (< 0.3 milliseconds) a set of magnets will extract the beam from the LHC. The beam is then absorbed by a stack of graphite plates.

ACCELERATE!

ACCELERATE! The particles are accelerated by electromagnetic waves that are generated in "radio-frequency cavities". There are eight superconducting cavities per beam, operating at -268.7°C .

Principle of acceleration Like a water wave accelerates a surfer, the electromagnetic wave in the cavity accelerates the protons and ions in the LHC. The cavities deliver an accelerating field of 5 MV/m.

LHC MAGNETS

LHC Magnets The main part of the LHC consists of about 9600 magnets that are needed to keep the particles in their (nearly) circular orbits and to focus them. The biggest magnets are the 1232 'dipole' magnets of 15 m length and 35 tons weight.

LHC material The coils of the LHC magnets are made of a special material (niobium-titanium) that becomes superconducting at very low temperature: a current of 13000 Ampere can flow in the coils without any electrical resistance.

Two beams in one magnet The LHC dipoles allow two beams of particles to travel in opposite directions in separate beam pipes, both kept at ultrahigh vacuum. The coils are wound in such a way that the magnetic field points up in one beam pipe and down in the other one.

Connecting the magnets All 9600 magnets have to be connected to each other. This required welding of hundreds of thousands of cables.

RECORD SPEED!

RECORD SPEED! Protons at full energy move with 99.9999991 % of the speed of light. They go round the 27 km LHC ring about 11245 times a second.

EXTREME COLD!

EXTREME COLD The LHC is the largest and one of the coldest refrigerators on Earth. The cryogenic system has to cool 37600 tons of material to a temperature colder than outer space: -271.3°C !

Cooling liquids 10000 tons of liquid nitrogen is needed to cool helium gas to 80 K. The refrigerator turbines then cool 120 tons of helium to 1.9 K. At this temperature, helium becomes 'superfluid', a liquid without friction and an ideal coolant.

VERY EMPTY! VERY EMPTY! The particle beams can only circulate in the LHC if no collisions with gas molecules take place. The pressure in the beam pipes is 10^{-13} atm, like in the vacuum of outer space.

Touchball 4: LHC Engineering

ATLAS Assembly

ATLAS Assembly The assembly of the ATLAS detector in two minutes (instead of three years).

CMS Central Barrel

CMS Barrel lowering The central barrel of the CMS detector (2500 tonnes) is lowered into the cavern, an 8 h operation!

CMS Barrel Assembly

CMS Barrel Assembly Web-cam movie showing the complete construction of one of the five barrel wheels of CMS.

Touchball 5: Detector Engineering

HOW DETECTORS WORK

HOW DETECTORS WORK A detector is made of several layers, like an onion. Each detector layer detects different types of particles. The inner layers are (almost) transparent, while the outer layers are very dense.

The inner sections measure the tracks of charged particles, which are bent by a magnetic field. This allows determining the particle momentum. The next layers are 'calorimeter' devices to measure the energy of particles. These layers absorb all particles except muons, which are measured in the outermost layers.

MEDIA: Detector general

TRACKER When charged particles go through matter (either gaseous or solid), they liberate electrons. By applying electric fields, the electrons can be collected on sensors. The position of the sensor that has collected a charge shows where the particle went. *MEDIA: Ionization*

CALORIMETER When a high-energy particle passes through a dense material, it produces a shower of new particles that cause the emission of light in suitable materials. The amount of light produced is measured and is used to calculate the energy of the incoming particle. *MEDIA: Hadronic calorimeter*

***Electromagnetic Calorimeter** The 'electromagnetic' calorimeter detects electrons and photons and measures their energy. The animation shows how an electron produces a shower of particles that is detected. MEDIA: Ecal principle*

***Hadron calorimeter** Hadron calorimeters measure the energy of e.g. protons going through the detector. They produce showers that make 'scintillator' materials emit light. Long fibres then carry the light to devices where the light intensity from many tiles is measured. MEDIA: Hcal ATLAS*

MUON CHAMBER The muon chambers are located at the outside of the detector and detect 'muons' (heavy electrons). Muons are the only charged particles that traverse all of the detector. Muons leave an ionization trail in the drift tubes that allows reconstructing their path.

DATA FLOW

DATA FLOW To cope with the massive amount of data generated by the LHC experiments, CERN has created a global computing system called the 'Grid'. All data are first stored at CERN, but then sent to hundreds of computer centres around the world for analysis.

DATA SELECTION The 'interesting' events at the LHC are extremely rare: theory predicts that only 1 out of 10,000,000,000,000 events contains signs of yet unknown particles.

A very fast data selection in two stages is able to select about 100 events per second - out of up to 600 million per second!

DATA PROCESSING The amount of data from the LHC is about 15 million Giga-Byte (15 PB) per year. These data are analysed in (almost) real time by the 'Worldwide LHC Computing Grid' that is distributed in computer centres around the world.

ANALYSIS

DATA ANALYSIS *Each event is reconstructed, according to the tracks and hits found in the detector. The goal is to find out if there are signs of very short-lived particles, like the Higgs boson.*

DATA ANALYSIS DATA ANALYSIS STRATEGY How can a needle in a haystack be found?

ATLAS ATLAS Installation *This animation shows how the different parts of the ATLAS detector were installed.*

CMS CMS DETECTOR *This is a cross-section through the CMS detector, showing the different layers for identifying the particles produced in the collision.*

LHCb LHCb DETECTOR *The aim of the LHCb experiment is to record the decay of particles containing b and anti- b quarks, collectively known as 'B mesons'. The experiment's 4,500 tons detector is specifically designed to filter out these particles and the products of their decay.*

ALICE ALICE Detector *This detector has been designed to detect a large multitude of particles that emerge when two heavy nuclei (lead) collide. Reconstructing these particle tracks and measuring their energy give information about the primordial state of matter.*

Touchball 6: Detector Panorama

ATLAS

BEAM BEAM PIPE The proton beams enter through the beam pipe and collide in the center of the detector. MEDIA: *ATLAS Beam Pipe*

TRACKER Inner Detector This is the position of the inner detector of ATLAS. MEDIA: *The inner detector of ATLAS consists of millions of sensors that measure particle tracks to a precision of 5 micrometers.*

ECAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER The electromagnetic calorimeter contains liquid argon (at a temperature of -183°C) and measures the energy of photons and electrons. MEDIA: *ATLAS Electromagnetic Calorimeter*

HCAL HADRON CALORIMETER The hadron calorimeter measures the energies of particles like protons and neutrons. It consists of metal plates (absorbers) and sensing elements (plastic). Interactions in the absorbers produce a "shower" of particles that cause the plastic to emit light which is detected. MEDIA: *ATLAS HCAL*

FRAME MECHANICAL STRUCTURE The support structure of the ATLAS detector weighs 1000 tonnes. The concrete floor under the detector is 5 m thick steel-enforced slab. The cavern is 53 m long, 35 m high and 30 m wide. The floor is 92 m underground. MEDIA: *Frame*

TOROID *TOROID COILS* This is one of 8 coils forming the huge superconducting toroid magnet of ATLAS. A current of 20000 A flows without resistance, producing a magnetic field of up to 1 Tesla. Each coil weighs 45 tonnes. MEDIA: *Coils of the ATLAS toroid magnet*

MUONS *MUON CHAMBERS* Muons are like heavy electrons and are the only detectable particles that can traverse all the detector. The muon spectrometer surrounds the calorimeter (photo: the endcap) and measures muon paths to determine their momenta with high precision. MEDIA: *Muon chambers*

WEIGHT *WEIGHT OF ATLAS DETECTOR* The weight of ATLAS is about 7000 tonnes, comparable to the weight of the metallic structure of the Eiffel tower. MEDIA: *Eiffel tower*

SIZE *SIZE OF ATLAS DETECTOR* The size of ATLAS (43 m length, 22 m high) is about half the size of the Notre Dame cathedral in Paris. MEDIA: *ATLAS Notre Dame*

CMS

BEAM *BEAM PIPE* The two proton beams circulate in opposite directions in the beam pipe and collide in the center of the CMS detector (collision point is hidden to the right). MEDIA: *CMS Beam Pipe*

TRACKER *INNER TRACKING SYSTEM* Very finely segmented sensors, made of silicon strips and pixels, surround the collision point and measure the tracks of particles that are produced in the collisions with a precision of 0.01 mm.

Inner Tracker System

MAGNET *CMS MAGNET* The CMS magnet (12.5 m long, 6 m diameter) is the largest superconducting solenoid ever built. It operates at -268.5 °C and produces a magnetic field of 4 Tesla. Its job is to bend the paths of particles emerging from collisions.

HCAL *HADRON CALORIMETER* The energy of hadrons (= protons, neutrons, pions) is measured using layers of dense material (brass or steel) interleaved with plastic scintillators or quartz fibres.

ECAL *ELECTROMAGNETIC CALORIMETER* Nearly 80000 crystals of lead tungstate are used to measure precisely the energies of electrons and photons.

SUPPORT *AIR PADS* The small orange disks underneath the detector are air pads that can lift heavy loads like a hovercraft. They are used to move the slices of the CMS detector around with a precision of 1 mm.

CRANE *CRANE* Overhead crane capable of lifting 'small' objects - less than 80 tonnes.

MUONS *MUON DETECTORS* The muon detectors are interleaved with a 12-sided iron yoke that surrounds

the magnet coils and acts as a 'particle filter': it only lets muons (=heavy electrons) pass through, all other charged particles are absorbed.

ENDCAP *ENDCAP WITH MUON DETECTORS* Endcap steel disk (weighing about 1300 tonnes) covered with muon detectors.

Endcap muon detectors

SIZE *SIZE OF CMS* The CMS experiment is 21 m long, 15 m wide and 15 m high, and sits in a cavern that could contain all the residents of Geneva; albeit not comfortably.

WEIGHT *WEIGHT OF CMS* The CMS detector with its magnet weighs about 13800 tonnes, almost twice as much as the Eiffel tower.

LHCB

VERTEX *VERTEX LOCATOR* The 'Vertex Locator' surrounds the collision point. 21 layers of high precision

('Silicon strip') detectors measure the vertex of the proton collision and the decay point of short-lived "beauty" particles.

LHC TUNNEL *LHC TUNNEL* The LHC tunnel is located behind this wall.

PARTICLE ID *PARTICLE ID* Depending on its type (electron, pion, proton), a particle traversing a "Ring Imaging Cherenkov" (RICH) counter emits a cone of light with a

varying angle, which is reflected by mirrors onto an array of sensors.

TRACKER *PRECISION TRACKER* Four large layers of precision detectors (made of Silicon strips) measure the tracks of charged particles to a precision of a few millionths of a meter.

MAGNET *MAGNET* The LHCb magnet consists of two coils, both weighing 27 tonnes. A magnetic field of about 1 Tesla bends the path of charged particles (total bending power: 4 Tm)

BEAM PIPE *BEAM PIPE* The beam pipe is made of beryllium. Inside it, two proton beams circulate in opposite directions.

STRAW TUBES *STRAW TUBES* This detector part is made of thousands of gas-filled "straw tubes" to measure the tracks of charged particles.

TRACKER *PRECISION TRACKER* This precision tracker (made of 'silicon strips') is placed very close to the beam pipe to detect the position of charged particles with high precision.

ALICE

TRACKER *INNER TRACKING SYSTEM* The Inner Tracking System (ITS) is closest to the collision point. It consists of several million silicon pixel and strip sensors to measure tracks of charged particles with sub-mm precision.

TPC *TIME PROJECTION CHAMBER (TPC)* The TPC (underneath blue cover) gives 3-dimensional position information for the trajectories of charged particles. In a large volume of gas, charged particles produce electrons by ionization that drift to readout chambers due to a strong electric field.

ALU BARS *ALUMINIUM BARS* These Aluminium bars were mounted temporarily for supporting the TPC during installation.

BEAM *BERYLLIUM BEAM PIPE* The two counter-rotating particle beams travel in ultra-high vacuum inside the central beryllium beam pipe and collide in the centre of the ALICE detector.

ABSORBER *FRONT ABSORBER* The Front Absorber is a conical structure that is used to absorb all charged particles except muons. The muons are detected in the forward muon spectrometer that follows.

MAGNET *MAGNET COOLING* The huge ALICE magnet needs a special cooling system that is hidden behind these covers.

Touchball 7: Interactive Sphere

EDUCATION

{empty}

THE GRID

GRID World Map

What is the GRID? The Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) is a global collaboration of more than 170 computing centres in 34 countries. The mission is to build and maintain a data storage and analysis infrastructure for the LHC community. It presently provides the computing power of about 100,000 state of the art PCs.

How much LHC data? The LHC will produce 15 million gigabytes of data every year - equal to a 21 km high tower of CDs. These data must be processed in real time to exploit the full potential of the LHC.

Why GRID computing? The LHC data flood will exceed by far the capacity of single computing centres in the world. The GRID provides a solution, by allowing to combine the capacities of many computing facilities world-wide.

GRID Structure The LHC Grid consists of three layers ('tiers'). Tier-0 is CERN. Tier-1 consists of 11 sites in Europe, the USA, and Asia. In Tier-2, there are around 160 sites covering most of the globe.

The last tier (Tier-3) is the PC of the end user.

Many uses for the GRID GRID computing has many applications: biologists study new molecules; earth scientists track ozone levels; physicians analyse large amounts of data for tumour prevention. Artists even use it for complex animations.

TRIUMF Vancouver *Tier-1 TRIUMF Vancouver* Tier-1 Centre

KIT Karlsruhe *Tier-1 KIT Karlsruhe* Tier-1 Centre

PIC Barcelona *Tier-1 PIC Barcelona* Tier-1 Centre

IN2P3 Lyon *Tier-1 IN2P3 Lyon* There are 5 Tier-2 centres in France (Ile de France, Strasbourg, Annecy, Clermont-Ferrand, Nantes)

INFN Bologna *Tier-1 INFN Bologna* Tier-1 Centre

NDF Copenhagen *Tier-1 NDF Copenhagen* The "Nordic Data Grid Facility" (NDF) is a collaboration between Denmark, Finland, Norway, and Sweden.

NIKHEF Amsterdam *Tier-1 NIKHEF Amsterdam* Tier-1 Centre

ASGC Taipei *Tier-1 ASGC Taipei* Tier-1 Centre

GRIDPP Oxford *Tier-1 GRID-PP* The UK Grid is contributing more than the equivalent of 20,000 PCs to the worldwide effort LHC GRID effort. GridPP is a collaboration of 19 UK universities and the STFC.

Fermilab Batavia *Tier-1 Fermilab* One of the two Tier-1 centres in the United States, located at Fermilab, near Chicago.

BNL Brookhaven *Tier-1 BNL Brookhaven* One of the two Tier-1 centres in the United States, located at Brookhaven National Laboratory, Long Island, near New York.

THE WORLD OF CERN

- AUSTRIA** CERN Member State since 1959 CERN Users: 128 Contribution to CERN budget: 2.2251 % Two Austrian Directors General: - Victor Weisskopf (1961-65) - Willibald Jentschke (1971-75) Participation in CERN experiments: ATLAS, CMS, ASACUSA, CLOUD, nTOF
- BELGIUM** CERN Member State since 1954 CERN Users: 152 Contribution to CERN budget: 2.7746 % Director General: - Leon van Hove (1976-1980) Participation in CERN experiments: CMS, ISOLDE, OPERA, NA62, nTOF
- BULGARIA** CERN Member State since 1999 CERN Users: 52 Contribution to CERN budget: 0.2794 % Participation in CERN experiments: CMS, AEGIS, NA61, NA62, NTOF, OPERA
- CZECH REPUBLIC** CERN Member State since 1992 CERN Users: 197 Contribution to CERN budget: 1.7694 % Participation in CERN experiments: ATLAS, ALICE, TOTEM, AEGIS, COMPASS, DIRAC, NA62, nTOF, OSQAR
- DENMARK** CERN Member State since 1954 CERN Users: 71 Contribution to CERN budget: 1.7694 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, ACE, ALPHA, ASACUSA, CLOUD, ISOLDE, NA63
- FINLAND** CERN Member State since 1991 CERN Users: 103 Contribution to CERN budget: 1.4274 % Participation in CERN experiments: ALICE, CMS, CLOUD, ISOLDE
- FRANCE** CERN host and member state since 1954 CERN Users: 918 Contribution to CERN budget: 15.5674 % Two Directors General: - Bernard Gregory (1966-1970) - Robert Aymar (2004-2008) Nobel prize for Georges Charpak (1992) Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, AEGIS, CAST, COMPASS, ISOLDE, NA61, nTOF, OPERA, OSQAR
- GERMANY** CERN member state since 1954 CERN Users: 1316 Contribution to CERN budget: 20.2901 % Two Directors General: - Herwig Schopper (1981-1988) - Rolf Heuer (2009-2013) Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, ACE, AEGIS, ASACUSA, ATRAP, CAST, CLOUD, COMPASS, ISOLDE, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA
- GREECE** CERN Member State since 1954 CERN Users: 111 Contribution to CERN budget: 1.7865 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, ACE, CAST, DIRAC, NA61, nTOF
- HUNGARY** CERN Member State since 1992 CERN Users: 62 Contribution to CERN budget: 0.6797 % Participation in CERN experiments: ALICE, CMS, ASACUSA, NA61, TOTEM
- ITALY** CERN Member State since 1954 CERN Users: 1422 Contribution to CERN budget: 11.7765 % Two Directors General: - Luciano Maiani (1999-2003) - Carlo Rubbia (1989-1993) Nobel prize for Carlo Rubbia (1984) Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM, LHCf, AEGIS, ASACUSA, CAST, COMPASS, DIRAC, ICARUS, ISOLDE, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA
- NETHERLANDS** CERN Member State since 1954 CERN Users: 177 Contribution to CERN budget: 4.6116 % Nobel prize for Simon van der Meer in 1984 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, LHCb, NA63, nTOF
- NORWAY** CERN Member State since 1954 CERN Users: 88 Contribution to CERN budget: 2.5011 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, ISOLDE, NA61, AEGIS, CLOUD
- POLAND** CERN Member State since 1991 CERN Users: 220 Contribution to CERN budget: 2.7208 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, COMPASS, ICARUS, ISOLDE, NA61, nTOF, OSQAR, RD50

PORTUGAL CERN Member State since 1986 CERN Users: 125 Contribution to CERN budget: 1.2281 % Participation in CERN experiments: ATLAS, CLOUD, CMS, COMPASS, ISOLDE, NA63, nTOF

SLOVAK REPUBLIC CERN Member State since 1992 CERN Users: 60 Contribution to CERN budget: 0.5057 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS

SPAIN CERN Member State since 1983 CERN Users: 354 Contribution to CERN budget: 8.5334 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, CAST, DIRAC, ISOLDE, nTOF

SWEDEN CERN Member State since 1954 CERN Users: 93 Contribution to CERN budget: 2.5456 % Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, ISOLDE, nTOF

SWITZERLAND CERN Host and Member State since 1954 CERN Users: 379 Contribution to CERN budget: 2.1917 % First Director General of CERN: - Felix Bloch (1954-1955) Participation in CERN experiments: ATLAS, CMS, LHCb, ACE, AEGIS, ASACUSA, CAST, CLOUD, COMPASS, DIRAC, NA61, NA62, nTOF, OPERA

UNITED KINGDOM CERN Member State since 1954 CERN Users: 803 Contribution to CERN budget: 14.5150 % Two Directors General: - John Adams (1976-1980) - Chris Llewellyn-Smith (1994-1998) Tim Berners-Lee developed the WWW Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, AEGIS, ALPHA, ASACUSA, CLOUD, ISOLDE, MERIT, NA62

ROMANIA CERN Accession Candidate CERN Users: 88 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, LHCb, DIRAC, ISOLDE

INDIA CERN Observer State since 1996 CERN Users: 146 Participation in CERN experiments: ALICE, CMS, COMPASS, ISOLDE

ISRAEL CERN Observer State since 1991 CERN Users: 63 Participation in CERN experiments: ATLAS, ALPHA, COMPASS, OPERA, RD50, ISOLDE

JAPAN CERN Observer State since 1996 CERN Users: 238 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, LHCf, ALPHA, ASACUSA, COMPASS, DIRAC, MERIT, NA61, nTOF, OPERA

RUSSIA CERN Observer State since 1996 CERN Users: 883 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, AEGIS, ASACUSA, CAST, CLOUD, COMPASS, DIRAC, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA

TURKEY CERN Observer State since 1986 CERN Users: 94 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, CAST, ISOLDE, NA63, OPERA

UNITED STATES CERN Observer state since 1996 CERN Users: 1757 Participation in CERN experiments: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, ACE, ALPHA, ATRAP, CAST, CLOUD, ICARUS, ISOLDE, MERIT, NA62, nTOF, RD39, RD42, RD50

ORGANISATION

ORGANISATION OF CERN

DIRECTOR GENERAL CERN is led by the Director-General, Rolf Heuer, who is also the formal representative of the Organization.

CERN COUNCIL The Council is composed of the delegates from 20 member states and is the governing body of CERN. The Council is responsible for CERN programs, budget, and for appointing the management. (Photo: Michel Spiro, president of Council).

EXTERNAL RELATIONS The External Relations Office, led by Felicitas Pauss, advises and assists the DG concerning relations with governments, international organizations, funding agencies and research institutions.

ADMINISTRATION

DIRECTOR FOR ADMINISTRATION *The Director of Administration, Sigurd Lettow, is responsible for finances, procurement, planning, human resources and the general infrastructure.*

FP - FINANCE & PROCUREMENT Leader: Thierry Lagrange. The FP department is responsible for the financial administration of CERN in compliance with the Financial and Procurement Rules.

HR - HUMAN RESOURCES Leader: Anne-Sylvie Catherin. HR department is responsible for all aspects of human resources administration (e.g. recruitment, employment conditions, training).

GS - GENERAL SERVICES Leader: Thomas Petterson. The GS Department provides and maintains CERN's infrastructure, the buildings and underground civil engineering, and all information systems.

RESEARCH DIRECTOR FOR RESEARCH The Director of Research, Sergio Bertolucci, is responsible for all aspects of physics research and computing

PH – PHYSICS Leader: Philippe Bloch. The PH department carries out basic research in particle physics, hosts about 10000 visiting scientists, and contributes to the education and training of young scientists.

IT - INFORMATION TECHNOLOGY Leader: Frederic Hemmer. The IT Department provides the information technology required for CERN's mission, through technical analysis, design, procurement, implementation, operation and support of computing infrastructure and services.

ACCELERATORS DIRECTOR FOR ACCELERATORS & TECHNOLOGY *The Director for Accelerators and Technology, Steve Myers, is responsible for the operation and exploitation of the whole accelerator complex, particularly the LHC and for the development of the new projects and technologies.*

BE – BEAMS Leader: Paul Collier. The BE department is responsible for the beam generation, acceleration, diagnostics, controls and performance optimization for the whole CERN accelerator complex.

EN – ENGINEERING Leader: Roberto Saban. The EN department provides engineering support for CERN's technical infrastructure, accelerators and experiments. This includes electrical and mechanical engineering, heavy handling, control systems, and technical computing.

TE – TECHNOLOGY Leader: Frederic Bordry. The TE department is responsible for technologies specific to existing particle accelerators, facilities and future projects.

HISTORY OF CERN

1949 Physics Nobel Prize winner Louis de Broglie, at a European Cultural conference in Lausanne, calls for the establishment of a multi-national laboratory.

1952 The provisional CERN Council at its 3rd session in Amsterdam, when Geneva was chosen as the site for the Laboratory.

1953 The foundation charter of CERN, signed in Paris at a session of the CERN council.

1954 First excavation work for the new laboratory starts in Meyrin, near Geneva.

1957 The first accelerator of CERN, the 0.6 GeV "Synchro-Cyclotron", begins operation and provides beams for CERN's first experiments.

1959 The first operation of the 28 GeV Proton Synchrotron (PS) is announced by the project leader, John Adams. *MEDIA: Die Inbetriebnahme des 28 GeV Proton-Synchrotron (PS) wird von Projektleiter, John Adams (links) beobachtet.*

- 1963** The first beams of neutrinos are produced at CERN. Their interactions are recorded by taking pictures of and measuring particles tracks in "bubble chambers".
- 1968** George Charpak invents the "multiwire proportional chamber" and "drift chambers". This allows building much faster detectors that can be read out by using computers. Charpak is awarded the Nobel Prize in 1992.
- 1971** The world's first proton-proton collider, the ISR (Intersecting Storage Rings), comes into operation.
- 1973** Neutrinos interacting in the "Gargamelle" bubble chamber show the first experimental evidence for the existence of a Z boson, in strong support of a theory unifying the weak and the electromagnetic interaction.
- 1976** The SPS ("Super Proton Synchrotron") starts operation. It measures 7 km in circumference and accelerates proton beams to an energy of 400 GeV.
- 1981** The SPS is transformed into a proton-antiproton collider. This is made possible by an invention named 'stochastic beam cooling', by Simon van der Meer (Nobel Prize 1984).
- 1983** The UA1 and UA2 experiments at CERN announce the discovery of the W and Z particles, the 'messenger' particles of the weak interaction.
- 1984** Carlo Rubbia and Simon van der Meer are awarded the Nobel Prize in physics.
- 1986** The first heavy ions (nuclei containing many protons and neutrons) are accelerated in the SPS, in search for hints of the "quark-gluon plasma".
- 1989** The Large Electron-Positron Collider (LEP) is completed and starts operation. It is located in a tunnel 100 m underground with a circumference of 27 km.
- 1990** Tim Berners-Lee invents the World Wide Web as a tool for physicists working at CERN. He conceived HTML, http, URL, and put up the first WWW server.
- 1991** The precision experiments at LEP show that there are exactly three types of (light) neutrinos, and hence three families of particles.
- 1993** Evidence for 'direct CP violation' is found by experiment NA31, giving clues why the Universe has a preference for matter over antimatter. This is later confirmed by the NA48 experiment (photo).
- 1994** The CERN Council approves the construction of the Large Hadron Collider (LHC) that will be housed in the LEP tunnel.
- 1995** The first nine antihydrogen atoms, moving almost with the speed of light, are produced and observed at the Low Energy Antiproton Ring (LEAR).
- 2000** Heavy ion collisions provide evidence for "quark-gluon plasma", a state of matter that should have existed about one millionth of a second after the Big Bang.
- 2001** After the closure of LEP in 2000, the construction of the LHC and the four LHC experiments is now in full swing (photo: LHC dipole).
- 2002** The ATHENA experiment is the first to produce millions of slow moving antihydrogen atoms. The photo shows the reconstructed annihilation of an antihydrogen atom.
- 2004** A gift by the Swiss Confederation for CERN's 50th anniversary, the Globe of Science and Innovation is inaugurated and is to become CERN's visitor and networking centre.
- 2006** The CNGS ("CERN neutrinos to Gran Sasso") experiments starts. CERN sends neutrino beams 732 km through the Earth, for experiments under the Gran Sasso Mountain in Italy.
- 2008** After more than 10 years of preparation, the first beam circulates in the Large Hadron Collider on 10 September 2008.

2010 The LHC produces the first collisions of protons at 7 TeV. The physics programme of the LHC has started, and new discoveries are awaited eagerly.

[Die Liste, in welchem Mitgliedstaat welche Universitäten und Institute an welchen Experimenten beteiligt sind, wurde in dieser Fassung ausgelassen.]

Touchball 8: Spin-Offs

SEEDS OF TECHNOLOGY

COMPUTING CENTRE

CPU The CPU of a modern computer contains tens of millions of transistors. Building the first transistor required understanding the quantum behaviour of semiconductors, an achievement of Walter Brattain, John Bardeen and William Shockley in 1947. Modern CPU chip

Basic research The principle of programming followed from the theories of Alan Turing (1936) and John von Neumann (1945), as well as from the first prototype computer, built by Konrad Zuse in 1936. MEDIA: *The inventors of the transistor*

HARD DISK The first hard disk, developed by an IBM team in 1954, used the magnetization of a thin layer of ferromagnetic material to store data as zero (magnetization down) or one (up). MEDIA: *Computer hard disk*

Basic research In 1988, Albert Fert and Peter Grünberg discovered « Giant Magnetic Resonances ». By manipulating the spin direction of electrons, the electrical resistance of a material can be changed. Applying this principle to hard disks led to a dramatic increase in their storage capacity. MEDIA: *Peter Grünberg and Albert Fert*

Very fundamental! The spin of the electron was first explained by Paul Dirac in 1927, by unifying quantum physics and special relativity. MEDIA: *Paul Dirac*

GRID *Basic research* The GRID is an infrastructure for sharing computing power and data storage capacity over the internet. It allows hundreds of thousands of computers to do complex calculations together and to store and access massive amounts of data. MEDIA: *A world-wide computing and data grid*

BASIC RESEARCH GRID computing is used by scientists from the whole world for climate and weather modeling, earthquake simulations, protein folding, and for analysing the huge amount of data from the LHC experiments at CERN.

GRID computing has been proposed by Ian Foster and Carl Kesselmann in 1999, mainly as a tool for advancing fundamental research. MEDIA: *Ian Foster and Carl Kesselmann invented the GRID*

COMMUNICATION

WWW *World Wide Web* The World-Wide Web (WWW) uses the internet to make information available for everybody. The WWW is based on the 'Hypertext Markup Language' (HTML), a common language for computers allowing to share information in a simple way. MEDIA: *The World Wide Web has become part of our life*

Basic research The WWW was invented by Tim Berners-Lee in 1989 while working at CERN, the European Laboratory for Particle Physics in Geneva. His goal was to develop an easy method of information exchange for particle physicists from all over the world. MEDIA: *Tim Berners-Lee, inventor of the WWW*

OPTICAL FIBRE *Optical Fibre* Optical fibres allow the high-speed transmission of huge amounts of data, by modulating the intensity of laser light that is sent through the fibres. They are now at the core of data transmission in the internet.

Optical fibres are also at the origin of endoscopy in medicine. MEDIA: *Internal reflection of light*

Basic research Transmitting signals with optical (glass) fibres over long distances was first demonstrated by Charles Kao in 1966. He had found out that impurities in glass had to be removed to achieve a sufficiently long range for light transmission. MEDIA: *Charles Kao proved the feasibility of optical data transmission.*

GPS GPS Navigation The Global Positioning System (GPS) has become an essential tool of our daily life, allowing us to locate any place on Earth with a precision of a few meters. The GPS is based on 24 satellites orbiting the Earth at a distance of 20,183 km. By comparing the time of emission of the GPS radio signals from 3 satellites with the time of reception, the GPS receiver can calculate its position. MEDIA: *The GPS system consists of 24 satellites*

Basic research The GPS would not work properly without taking into account the effects of special relativity and general relativity, discovered by Albert Einstein in 1905 and 1916. Compared to a clock on the ground, the GPS would go wrong by 12 km per day! MEDIA: *Albert Einstein*

ELECTRONICS SHOP

Radio, TV and Phone Radios, TVs or mobile phones have in common that they communicate using electromagnetic waves. The first radios were built in the 1890s, the first cathode-ray TV in 1929, and the first mobile phone in 1973. MEDIA: *Mobile phones are a key part of our daily life*

Basic research Mobile communication would not be possible without an understanding of electromagnetic waves, predicted by James Clerk Maxwell in 1865 and confirmed in the laboratory by Heinrich Hertz in 1886. MEDIA: *James Clerk Maxwell*

CD and DVD The key ingredient of a CD- or a DVD-player is a laser whose light is focused on a disc containing a sequence of microscopic bumps which represent the data in digitized form.

Laser light is used to read and write DVDs

Basic research The first practical laser was built in 1960. Today, lasers have hundreds of practical uses, from eye surgery to information technology to consumer electronics. But initially, the laser was called an invention looking for a job!

Media: First laser

Very basic! The principle of the laser ('stimulated emission of radiation') goes back to Albert Einstein, who described the underlying physical process in 1917. MEDIA: *Albert Einstein*

CCD CAMERA *Photo and video cameras* The central element of all digital cameras is the "charged coupled device" (CCD).

It is an array of light-sensitive cells that stores electrons in amounts proportional to the intensity of incoming light. The charge of each cell is read out sequentially, transforming an optical image into a digital one. MEDIA: *CCDs are the central part of digital cameras*

Basic research The CCD was developed by Willard Boyle and George Smith in 1969. It gave rise to an explosion in digital imaging, with the first CCD-based video cameras appearing in the early 1970s. MEDIA: *Willard Boyle and George Smith in 1969*

Very basic! The principle of the CCD is related to the photoelectric effect, explained by Albert Einstein in 1905.

POWER STATION

ELECTRICAL POWER How can the energy from the wind, water or steam be converted into electrical energy? The heart of each power plant is a power generator: an electrical potential difference is generated between the ends of an electrical conductor that moves perpendicular to a magnetic field. MEDIA: *Wind power generator*

Basic research The principle of modern power generators was discovered in 1831, when Michael Faraday studied phenomena of electricity and magnetism. When asked by the British prime minister about the usefulness of electricity, he said: "There is every possibility that you will soon be able to tax it". MEDIA: *Michael Faraday*

SOLAR POWER How to convert light into electricity? The 'photovoltaic effect' transfers electrons from the valence to the conduction bands of a material and results in a build-up of a voltage between two electrodes.

The first solar cell was built in 1883 by C. Fritts, but only had 1% efficiency. The first modern solar cell was built in 1946 MEDIA: *Photovoltaic cells convert sunlight into electricity*

Basic research Photosensitive materials were discovered in 1839, when Alexandre Becquerel studied the conduction of electrical currents in semiconductors. The explanation of the (related) photoelectric effect goes back to Albert Einstein (1905). MEDIA: *Alexandre Becquerel*

NUCLEAR POWER *Nuclear power* $E = mc^2$: this most famous equation means that mass can be transformed into energy. It explains where the Sun gets its energy from, and why nuclear fission produces energy. MEDIA: *Nuclear power plant*

Basic research Albert Einstein discovered this surprising result in 1905, when thinking about the relation between space and time. Only in 1938, when Otto Hahn and Liese Meitner studied the decay products of uranium, it became clear that Einstein's equation may really have practical consequences. MEDIA: *Otto Hahn and Liese Meitner*

FUSION POWER *Fusion power* What powers our sun and the stars? Hans Bethe realized in 1939 that stars produce energy by the fusion of protons to form helium nuclei. According to Einstein's famous equation $E = mc^2$, the fusion process converts a tiny percentage of the mass of the protons into energy. MEDIA: *Hans Bethe*

Basic research The year 1947 marks the start of plasma research, with the goal of bringing the power of fusion to Earth. But containing extremely hot plasmas proved to be very difficult. It may take another 20 years before an energy-producing fusion reactor (ITER) becomes reality. MEDIA: *The fusion test reactor JET in Culham*

HOSPITAL

COMPUTER TOMOGRAPHY "Computer Tomography", short: CT-Scan, allows obtaining images from within the body without opening it. By taking a large series of X-ray images of an object around a single axis of rotation, a computer reconstructs a three-dimensional image of the inside of the object. MEDIA: *Computer Tomograph*

Basic research CT scanners are based on the work of Konrad Röntgen, who discovered X-rays in 1895 while studying the effects of electric discharges in vacuum tubes. MEDIA: *Konrad Röntgen discovered X-rays in 1895*

MRI SCANNER *Magnetic resonance imaging* Magnetic resonance imaging (MRI) detects the presence of water in body tissues and provides greater contrast than a CT scanner does. MRI scans are especially useful in brain, muscle, heart and cancer imaging. MEDIA: *An MRI scan of a human knee*

Basic research MRI uses a powerful magnetic field to first align the hydrogen nuclei of water molecules in the body, and then a radio-frequency field to alter their alignment. This causes the hydrogen nuclei to produce a rotating magnetic field detectable by the scanner. This technique was first demonstrated by Isidor Rabi in 1938, when he used it for the study of atomic energy levels. MEDIA: *Isidor Rabi used MRI for studying atomic energy levels*

PET SCANNER Positron emission tomography (PET) is a medical imaging technique producing a three-dimensional image of functional processes in the body.

PET scanners can detect tumours and metastases in the whole body, and are also used for studying the brain functions. MEDIA: *PET Scans are important tools for understanding brain functions*

Basic research PET scanners work by detecting pairs of gamma rays emitted indirectly by a positron-emitting tracer (e.g. Fluor-18). Positrons are anti-particles, whose existence was predicted by Paul Dirac in 1928 when studying quantum physics combined with special relativity. MEDIA: *Paul Dirac predicted the existence of antimatter*

RADIOTHERAPY Radiation therapy with X-rays has been in use as a cancer treatment for more than 100 years, going back to their discovery in 1895. X-rays are mainly used to damage the DNA of tumour cells. MEDIA: *Radiotherapy helps to cure cancer*

Basic research X-rays are produced by linear accelerators that speed up electrons and shoot them e.g. against a block of tungsten. The linear accelerator was invented by Rolf Wideroe in 1928, when he looked for a new method to accelerate particles for studying the structure of atoms and nuclei. Rolf Wideroe invented the linear accelerator

ISOTOPE THERAPY Radioactive isotopes are used frequently for medical diagnostics and therapy. For example, Iodine-131 is used for testing the functions of the thyroid gland or for treating thyroid cancer; Technetium-99m for imaging and functional studies of the brain, heart, lungs, skeleton, and many other parts of the body. MEDIA: *Isotope scan*

Basic research The first artificially produced radio-isotopes were discovered by Frederic and Irene Joliot-Curie in 1934 when studying the possibility of transforming one element into another one (the old dream of alchemists!). They succeeded by bombarding stable nuclei with alpha-particles from a radioactive (Polonium) source. MEDIA: *Frederic and Irene Joliot-Curie*

HADROTHERAPY Hadrotherapy is a form of radiation therapy where energetic ionizing particles (protons or carbon ions) are directed at tumours. The advantage is that charged particles deposit much of their initial energy near the end of their range, so that less energy is deposited into the healthy tissue surrounding the tumour. MEDIA: *Proton or carbon ion beams are used to destroy tumours*

Basic research The protons or carbon ions are accelerated using ‘cyclotrons’ or ‘synchrotrons’. The first particle accelerators were developed in the 1930s and 1940s for the study of nuclei and particles. The first cyclotron was built by Ernest Lawrence in 1931. MEDIA: *Ernest Lawrence invented the cyclotron*

11 Anhang III: Zieltext

Touchball 1: Theory Basics

DIE ZEIT *Geschichte des Universums*

HEUTE Wir leben heute auf unserem Planeten Erde, der vor etwa 4'570 Millionen Jahren als Teil unseres Sonnensystems entstand. Der Urknall geschah vor 13'800 Millionen Jahren. MEDIA: *(Earth) Unser Planet heute*

SONNENSYSTEM Unser Sonnensystem entstand etwa 9 Milliarden Jahre nach dem Urknall. Die inneren Planeten, darunter auch die Erde, bestehen hauptsächlich aus Materialien, die aus gewaltigen Explosionen von alten Sternen stammen. MEDIA: *(Solar System) Das Sonnensystem*

KEIME DES LEBENS Am Ende ihres Lebens explodieren Sterne und es entstehen schwere Elemente, die für die Entstehung des Lebens von grundlegender Bedeutung sind. Der Krebsnebel ist ein Überrest einer Supernova-Explosion im Jahr 1054. MEDIA: *(SUPERNOVA) Aus einem explodierenden Stern entstehen alle schweren Elemente, die für die Planeten und das Leben nötig sind*

DIE ERSTEN STERNE Mehr als 200 Millionen Jahre nach dem Urknall ballen sich durch die Schwerkraft Wasserstoff und Helium zusammen. In ihrem Inneren entsteht Energie durch Fusionsreaktionen - und die ersten Sterne beginnen zu leuchten. MEDIA: *(FIRST STARS) Die ersten Sterne des Universums beginnen zu leuchten*

DIE ERSTEN ATOME Nach 380'000 Jahren hat sich das Universum genügend abgekühlt, so dass sich die ersten Wasserstoff und Helium-Atome bilden können. Das von diesen Atomen abgestrahlte Licht ist noch heute als kosmische Hintergrundstrahlung sichtbar. MEDIA: *(FIRST ATOMS) Die kosmische Hintergrundstrahlung (CMB) ist das von den ersten Atomen ausgestrahlte Licht*

DIE ERSTEN ATOMKERNE Protonen und Neutronen entstehen weniger als eine Sekunde nach dem Urknall. Für wenige Minuten ist die Temperatur im Universum noch hoch genug, um ihre Fusion zu ermöglichen. So entstehen die leichtesten Atomkerne, hauptsächlich He-4. MEDIA: *(FIRST NUCLEI) Die leichtesten Kerne entstanden durch Fusion von Protonen und Neutronen*

DIE URSUPPE Protonen und Neutronen bestehen aus Quarks, die von Gluonen zusammengehalten werden. In der ersten Millionstelsekunde nach dem Urknall war das Universum so heiss, dass sich keine Protonen oder Neutronen bilden konnten und sich Quarks und Gluonen frei in einer Art 'Ursuppe' bewegten. MEDIA: *(Primordial soup) Das 'Quark-Gluon-Plasma' soll der Urzustand des Universums gewesen sein.*

DIE ÄRA LHC Kollidierende Teilchen im LHC erzeugen Bedingungen ähnlich denen, die eine Billionstelsekunde nach dem Urknall im Universum herrschten. MEDIA: *(LHC era) Teilchenkollision im LHC.*

DER BIG BANG Am Anfang gab es nur einen kleinen Energiepunkt, der sich vor etwa 13,8 Milliarden Jahren mit hoher Geschwindigkeit auszudehnen begann. Was ist genau passiert als unser Universum entstand? MEDIA: *(BIG BANG) Der Urknall ging von einem winzigen Punkt aus, der eine gewaltige Energie barg*

DEN RAUM *Die Grössenskala der Materie*

DAS UNIVERSUM Unser sichtbares Universum hat heute eine Grösse von mehr als 50 Milliarden Lichtjahren und enthält mehr als 100 Milliarden Galaxien. MEDIA: *(Universe) Ein kleiner Teil des Universums auf einem Foto des "Hubble"-Teleskops.*

GALAXIEN Galaxien bestehen aus hunderten von Milliarden von Sternen mit einer mittleren Ausdehnung von etwa 100'000 Lichtjahren. Unsere eigene Galaxie, die Milchstraße, dreht sich innerhalb von etwa 200 Millionen Jahren um ihr Zentrum. Wissenschaftler glauben, dass dunkle Materie sie zusammenhält. MEDIA: *(Galaxies) Galaxien*

DAS SONNENSYSTEM Licht braucht etwa einen Tag um unser Sonnensystem zu durchqueren. Um den nächstgelegenen Stern zu erreichen, bräuchte es jedoch vier Jahre. Möglicherweise gibt es dort andere Planeten. MEDIA: *(Solar system) Das Sonnensystem*

DIE SONNE Die Sonne hat einen Durchmesser von etwa 1,5 Millionen km. Der Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt etwa 150 Millionen km. Diese Distanz wird auch "Astronomische Einheit" genannt. Das Licht unserer Sonne erreicht die Erde nach etwa 8 Minuten. MEDIA: *(Sun) Die Sonne*

DIE ERDE Unsere Erde ist ein relativ kleiner Planet: sie hat einen Durchmesser von 12'800 km. MEDIA: *(Earth) Unser Planet*

MENSCHEN Die menschliche Größe von ca. 1,7 m liegt etwa in der Mitte zwischen den größten und kleinsten Größenordnungen des Universums. MEDIA: *(HUMANS) Eine Studie des menschlichen Körpers von Leonardo da Vinci*

ZELLEN Der Grundbaustein aller Organismen ist die Zelle, mit einer Größe von etwa 1/100 mm. MEDIA: *(CELLS) Krebszellen unter einem Elektronenmikroskop.*

ATOME Alles, was wir sehen und berühren können besteht aus Atomen. Atome sind etwa 0,1 nm (0,1 Milliardstel m) gross. Es gibt 92 verschiedene Arten von Atomen im Periodensystem. Sie unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Protonen, Neutronen und Elektronen. MEDIA: *(ATOMS) Rastertunnelmikroskop-Aufnahme von Xe-Atomen auf einer Ni-Oberfläche*

ATOMKERNE Der kleine Kern im Zentrum jedes Atom enthält praktisch seine gesamte Masse. Er macht 1/100'000 eines Atoms aus. Das heisst, er misst ein Millionstel eines Milliardstels eines Meters. MEDIA: *(NUCLEI) Kerne bestehen aus Protonen und Neutronen, die ihrerseits aus jeweils drei Quarks bestehen.*

TEILCHEN Die kleinsten Bestandteile der Materie sind die Elementarteilchen: Das Up- und Down-Quark, das Elektron und sein Neutrino. Ihre Ausdehnung ist unmessbar klein. Die obere Grenze ist 1/10'000 der Größe eines Atomkerns. In Experimenten mit Teilchenbeschleunigern haben Physiker zwei weitere Familien von Quarks und Leptonen gefunden. MEDIA: *(Particles) Spektrum der Fundamentarteilchen und -felder*

DIE KLEINSTE SKALA? Die kleinste Entfernungsskala, die in der Natur existieren kann heisst 'Planck-Länge'. Vermutlich entstehen auf dieser Längenskala spontan kleine, kurzlebige Raumzeit-'Blasen': der sogenannte 'Quantenschaum'. MEDIA: *(Particles) Auf der kleinsten Längenskala werden Raum und Zeit möglicherweise zu "Quantenschaum"*

ZEHNERPOTENZEN

DIE TEMPERATUR *Die Temperaturskala von Materie*

DER BIG BANG Was war die Temperatur (oder Energie) zum Zeitpunkt des Urknalls? Niemand kann es mit Bestimmtheit sagen. Bei Temperaturen von 10^{32} K gelten die bekannten physikalischen Gesetze nicht mehr. MEDIA: *(BIG BANG) Was geschah beim Urknall?*

LHC-KOLLISIONEN Wenn Elementarteilchen im LHC zusammenprallen, konzentriert sich die Bewegungsenergie der Teilchen in einem Bereich der Grösse eines Atomkerns. Die Folge davon sind Temperaturen, die 100 Millionen Mal höher sind als im Innern der Sonne. Während dieser Kollisionen entstehen eine Menge bekannter - und möglicherweise unbekannter - Teilchen. MEDIA: *(LHC Collision) Protonenkollisionen simulieren den Zustand kurz nach dem Urknall*

ANTIMATERIE Wenn Teilchen mit einer Energie kollidieren, die einer Temperatur von 10 Billionen Grad entspricht (10^{13} K), entstehen Paare von Protonen und Antiprotonen. Dieses Prinzip wird im Antiprotonen-Entschleuniger (AD) am CERN verwendet, um Antimaterie herzustellen. MEDIA: *(Antiproton annihilation) Wenn Antimaterie und Materie kollidieren, zerstören sie sich gegenseitig - kurzlebige Teilchen und Strahlung entstehen.*

FUSION In einem Fusionsreaktor (JET) herrscht eine Temperatur von 100 Millionen Grad. Dies macht es möglich, dass Wasserstoffkerne ihre elektrische Abstoßung überwinden und zu Heliumkernen verschmelzen. Dabei wird Masse in Energie umgewandelt. MEDIA: *(Fusion JET) Fusion in einem JET-Reaktor*

IONISIERUNG In einem Blitz erreicht die Temperatur 30'000 Grad und neutrale Materie wird ionisiert. Ein ähnliches Phänomen kann in Plasmakugeln beobachtet werden, wie sie in diesem Foto zu sehen sind. MEDIA: *(Ionization) Plasmakugel*

KOCHENDES WASSER Bei atmosphärischem Druck kocht Wasser bei einer Temperatur von 373 K (100 Grad Celsius) und wird zu Dampf. MEDIA: *(Boiling water) Ein Vulkan mit viel Wasserdampf*

EIS SCHMILZT Bei 273 K (= 0 Grad Celsius) schmilzt das Eis und wird zu Wasser. MEDIA: *(Ice melts) Ein Eisberg*

DAS UNIVERSUM HEUTE Die kosmische Hintergrundstrahlung füllt unser Universum aus und ist ein Relikt aus seiner turbulenten Vergangenheit. Die Strahlung entstand 380'000 Jahre nach dem Urknall, als im Universum eine Temperatur von etwa 3000 K herrschte. Heute hat sich die Strahlung auf 2,7 K abgekühlt. MEDIA: *(CMB) Die kosmische Hintergrundstrahlung*

DIE LHC-MAGNETE Die LHC-Magnete werden auf 1,9 K heruntergekühlt. Bei dieser Temperatur werden die Magnetspulen (hergestellt aus Niob-Titan) supraleitend und ein Strom von 11'700 Ampere kann ohne Widerstand fließen. MEDIA: *(LHC Magnets) Die LHC-Magnete sind aus supraleitendem Material*

NULL K Bei einer Temperatur von Null K kommt alle Bewegung zum Erliegen. Die niedrigste Temperatur, die je erreicht wurde ist 0,0000001 K. Dabei kommt es zu einem neuen Zustand der Materie ("Bose-Einstein-Kondensat"). MEDIA: *(Zero Kelvin) Bose-Einstein-Kondensat*

Touchball 2: Theory Mysteries

MASSE *WAS IST MASSE? Alle Grundbausteine der Materie (Quarks und Elektronen) haben eine "Masse". Das bedeutet, dass sie der Beschleunigung durch ihre "Trägheit" einen Widerstand entgegensetzen. Teilchen ohne Masse bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit. Teilchen mit einer Ruhemasse können sich der Lichtgeschwindigkeit nur annähern, diese aber nie erreichen.* MEDIA: *Geschwindigkeitsbegrenzung*

DAS GEHEIMNIS Wie könnten Teilchen ihre Masse oder Trägheit erhalten? Wie kann ein (nahezu?) punktförmiges Objekt - wie ein Elementarteilchen - eine Masse haben? Warum haben die bekannten Teilchen eine derart unterschiedliche Masse? MEDIA: *Teilchenmasse*

EINE LÖSUNG? *Higgs-Feld* Peter Higgs und weitere Physiker haben 1964 die Theorie aufgestellt, dass Teilchen ihre Masse durch eine Wechselbeziehung mit einem alles durchdringenden "Higgs-Feld" erhalten. Die Erforschung des neugefundenen Higgs-Bosons - eine Anregung des Higgs-Feldes - ist eines der Hauptziele des LHC. MEDIA: *Higgs-Feld*

EINE ANDERE LÖSUNG? *SUPERSYMMETRIE* Aber es gibt auch noch weitere Möglichkeiten. Eine davon ist eine "Supersymmetrie" genannte Theorie, die sogar (mindestens) fünf Arten von Higgs-Bosonen vorhersagt. Einzig durch die Experimente am LHC werden wir erfahren, welche Theorie richtig ist. MEDIA: *SUSY*

DUNKLES UNIVERSUM *DAS DUNKLE UNIVERSUM* Aufgrund der Beobachtung von weit entfernten Galaxien, explodierenden Sternen und der Erforschung der kosmischen Hintergrundstrahlung wurde klar, dass nur 5 % des Universums aus "normaler" Materie, nämlich Protonen, Neutronen und

Elektronen, besteht. Etwa 27 % sind "dunkle Materie" und etwa 68 % "dunkle Energie". Aber was sind diese geheimnisvollen Zutaten? MEDIA: Zusammensetzung des Universums

DER KOSMISCHE FINGERABDRUCK EINE SELTSAME ZUSAMMENSETZUNG WOHER WISSEN WIR DAS? Die kosmische Hintergrundstrahlung entstand 380'000 Jahre nach dem Urknall. Heute hat sich seine Temperatur auf 2,7K abgekühlt. Durch das Untersuchen geringster Temperaturschwankungen lässt sich viel über die Geschichte und die Zusammensetzung des Universums erfahren. MEDIA: *WMAP*

WAS IST "DUNKLE MATERIE"? WAS IST "DUNKLE MATERIE"? WAS IST "DUNKLE MATERIE"? Wir wissen von der Existenz dunkler Materie nur indirekt durch die Auswirkungen ihrer Schwerkraft: Galaxien drehen sich viel schneller als erwartet, und Licht wird durch 'Gravitationslinsen' gekrümmt. Diese bestehen aus dunkler Materie. Sie besteht möglicherweise aus supersymmetrischen (sehr schweren) Teilchen die bei den LHC-Experimenten auftauchen sollten. MEDIA: *Netz dunkler Materie*

WAS IST DUNKLE ENERGIE? WAS IST DUNKLE ENERGIE? WAS IST DUNKLE ENERGIE? Wir wissen von dunkler Energie, weil sie dafür verantwortlich ist, dass sich die Ausdehnung des Universums beschleunigt. Dieses Phänomen wurde anhand astronomischer Beobachtungen erkannt. Dunkle Energie scheint Raum und Zeit gleichmäßig auszufüllen. Es könnte mit anderen Feldern im Zusammenhang stehen, die unser Universum seit dem Urknall ausfüllen. MEDIA: *WMAP-Animation*

ZUSÄTZLICHE DIMENSIONEN DIMENSIONEN DES WELTALLS *Wie viele Dimensionen hat das Weltall? Aus Newtons Gesetz folgern wir, dass es drei sein müssen, was sich aus dem Gesetz von $1/r^2$ ergibt. Aber gilt dies auch für sehr kleine Entfernungen? MEDIA: Der Raum in 3D*

ZUSÄTZLICHE DIMENSIONEN ZUSÄTZLICHE DIMENSIONEN? *ZUSÄTZLICHE DIMENSIONEN?* Warum ist die Schwerkraft um etliche Größenordnungen schwächer als andere Wechselwirkungen? Eine neue Theorie besagt, dass die Schwerkraft nur deshalb so schwach erscheint, weil sie sich auch in anderen räumlichen Dimensionen ausbreiten kann. Falls eine solche vierte Dimension existiert, wissen wir aus Experimenten, dass sie nicht grösser als etwa 0,01 mm sein kann. MEDIA: *Graviton*

NEUE PHÄNOMENE NEUE PHÄNOMENE? NEUE PHÄNOMENE? Wenn zusätzliche Dimensionen existieren, könnten bei Kollisionen im LHC Teilchen möglicherweise in diese Dimensionen gelangen. Während eines Experiments kann es dazu kommen dass Teilchen plötzlich verschwinden - oder unerwartet auftauchen. Wir könnten sogar extrem kurzlebige "schwarze Mikro-Löcher" beobachten, bevor sie in gewöhnliche Teilchen zerfallen! MEDIA: *ATLAS MBH*

ANTIMATERIE Was ist Antimaterie? Jedes Teilchen hat ein 'Antiteilchen' mit der gleichen Masse aber gegensätzlicher Ladung. Bei Teilchenkollisionen entstehen Teilchen und Antiteilchen in gleicher Menge. Aber wenn Teilchen und Antiteilchen aufeinander treffen, so zerstören sie einander und wandeln alle ihre Masse in Energie um ($E = mc^2$). MEDIA: Antimaterie

EIN SPIEGELUNIVERSUM? EIN SPIEGELUNIVERSUM? EIN SPIEGEL-UNIVERSUM? Antiteilchen haben die genau gleichen Eigenschaften wie die Teilchen, aber die entgegengesetzte Ladung. Ein Antimaterie-Universum könnte daher existieren, und es würde genau gleich aussehen wie unser Universum. MEDIA: *Symmetrie von Materie und Antimaterie*

DAS GEHEIMNIS... EIN KOSMISCHES GEHEIMNIS EIN KOSMISCHES GEHEIMNIS Durch den Urknall müssen gleiche Mengen von Materie und Antimaterie entstanden sein. Doch einen winzigen Bruchteil einer Sekunde

später haben sie sich gegenseitig nicht völlig vernichtet. Stattdessen hat ein kleiner Überschuss von Materie überlebt: genug für die Entstehung aller Sterne und Planeten - und uns. Warum? MEDIA: *Schlacht der Antimaterie*

EINE LÖSUNG? EINE LÖSUNG? EINE LÖSUNG? Ein Teilchenpaar, genannt 'b-Quark' und 'Anti-b-Quark' weist kleine Unterschiede in der Zerfallsrate auf. Beide werden in Kollisionen am LHC erzeugt. Indem ihr Zerfall im LHCb-Experiment sehr genau untersucht wird, könnten wertvolle Hinweise darauf gefunden werden, warum die Natur Materie der Antimaterie vorzieht. MEDIA: *LHCb-Ereignisse*

URMATERIE *URMATERIE* Die ursprüngliche Materie nach dem Urknall war eine dichte Suppe von freien Quarks und vielen anderen Teilchen. Erst nach etwa einer Millionstelsekunde haben sich die Quarks zu 'Protonen' und 'Neutronen' verbunden. MEDIA: *Urknall QGP*

DIE ZUTATEN... *DIE ZUTATEN...* Protonen und Neutronen bestehen aus Quarks, die durch 'Gluonen', die Trägerteilchen der starken Kraft, zusammengehalten werden. Diese Kraft ist so stark, dass es noch in keinem Experiment gelungen ist, einzelne Quarks oder Gluonen zu isolieren. Aber ist es möglich, Rahmenbedingungen zu schaffen, in welchen Quarks und Gluonen aus ihrem Protonen- (oder Neutronen-) "-gefängnis" befreit würden? Ein solcher Zustand muss kurz nach dem Urknall geherrscht haben. MEDIA: *Proton Neutron*

DIE URSUPPE *DIE URSUPPE*

DIE URSUPPE Bleikerne haben 82 Protonen und 126 Neutronen. Wenn zwei Bleikerne mit dem im LHC herrschenden Energieniveau kollidieren, entsteht eine extrem dichte und heiße 'Suppe' von Teilchen mit einer Temperatur von ca. 2000 Milliarden Grad. Das ist etwa 100'000 Mal heißer als der Kern der Sonne! Im ALICE-Experiment wird dieser Zustand untersucht. Es gibt deutliche Hinweise, dass sich bei diesen Temperaturen die Protonen- und Neutronen-"Gefängnisse" öffnen und Quarks und Gluonen sich frei bewegen können. MEDIA: *Ursuppe*

Touchball 3: Interactive Table

ANTIMATERIE *ANTIMATERIE* Der "Antimaterie-Entschleuniger" (AD) ist die Antimaterie-"Fabrik" des CERN. Antiprotonen werden erzeugt und auf 10 % der Lichtgeschwindigkeit verlangsamt.

Antiprotonen können sogar in einer Falle gespeichert werden!

Antiwasserstoff Im Jahr 2002 gelang es im ATHENA-Experiment erstmals, ausgehend von einem Antiproton und einem Positron, Millionen von Antiwasserstoff-Atomen mit geringer kinetischer Energie zu erzeugen. Das Bild zeigt die Vernichtung des Antiwasserstoff-Atoms bei Berührung der Fallenwand.

ISR *ISR* Der Proton-Speicherring (ISR) war 1971 die weltweit erste Anlage für Proton-Proton-Kollisionen. Es kollidierten Protonen mit 30 GeV pro Strahl. Der LHC erreicht eine mehr als 200-mal grössere Kollisionsenergie.

RECHENZENTRUM *Rechenzentrum* Das Rechenzentrum stellt die Infrastruktur für die Analyse der enormen Datenmengen von LHC: etwa 25 Petabyte (25 Millionen Gigabyte) an Daten pro Jahr! Am CERN selbst sind mehr als 30000 CPUs bei der Arbeit. Aber das ist nicht genug...

LHC-Daten Wenn die LHC-Daten auf normale CDs geschrieben würden, würde jedes Jahr ein etwa 20km hoher Stapel dafür benötigt werden. Das Rechenzentrum bietet

derzeit 14 PB Plattenspeicher (auf 42'600 Laufwerken) und 34 PB Bandspeicher (45'000 Kassetten).

Computernetz Die LHC-Daten werden über das weltweite LHC Computernetz auf elf großen Rechenzentren (Tier-1) und von dort auf weitere 140 Rechenzentren (Tier-2) in der ganzen Welt verteilt.

Das GRID Ein Netz von Rechnern ist heute auch wichtig für andere Disziplinen, so unter anderen Bioinformatik, Bildgebung in der Medizin, Bildung, Klimawandel, Energie und Landwirtschaft.

QUELLE *Proton-Quelle* Die Protonen der LHC-Strahlen stammen aus dieser Wasserstoffflasche. Obwohl die Strahlen des LHC ungefähr 100'000'000'000'000 Protonen enthalten, beträgt deren Gesamtmasse gerade einmal 2 Nanogramm.

Es würde etwa eine Million Jahre dauern, um ein Gramm Wasserstoff zu beschleunigen.

Linearbeschleuniger Der Linearbeschleuniger beschleunigt die Protonen aus der Wasserstoffflasche auf 50 MeV und speist sie in den PS-Booster ein.

PS-Booster Der PS-Booster nimmt viele Protonenpakete aus dem Linearbeschleuniger auf, beschleunigt sie auf 1.4 GeV und sendet sie in das Protonen-Synchrotron.

LEIR *LEIR* Bleiionen für den LHC stammen aus einer Quelle in der Blei verdampft wird. Viele Bleiionen werden gesammelt und im Low Energy Ion Ring (LEIR) beschleunigt. Dann folgen Sie der gleichen Beschleunigungsstrecke wie die Protonen.

LEAR Bis 1996 wurde derselbe Beschleuniger Low Energy Antiproton Ring (LEAR) genannt. Es wurden dort zahlreiche Experimente mit Antiproton-Strahlen durchgeführt. LEAR wurde 1995 berühmt, als die ersten 9 Antiwasserstoff-Atome hier erzeugt wurden.

PS *Proton-Synchrotron* Der Proton Synchrotron (PS) hat einen Durchmesser von 200 m und ist seit 1959 in Betrieb. Seine wichtigste Funktion heute ist es, den LHC mit Teilchen zu beliefern. Das PS beschleunigt Protonen, die vom PS-Booster kommen, von 1.4 auf 25 GeV und schiesst diese in das SPS ein.

ISOLDE *ISOLDE* ISOLDE (On-Line Isotope Mass Separator) ist eine einzigartige Quelle für Atomkerne, die entweder zu viele oder zu wenige Neutronen haben, um stabil zu sein. Die Anlage ist wie ein kleines alchemistisches Labor, in dem ein Element in ein anderes umgewandelt wird.

ISOLDE-Experimente Mehr als 600 Isotope - von Helium bis Radium - sind dabei erzeugt worden. Sie haben manchmal Halbwertszeiten von wenigen Millisekunden. Sie werden für Untersuchungen im Bereich der Kern- und Atomphysik, nuklearen Astrophysik, Festkörperphysik und auch Biowissenschaften verwendet.

ATLAS ATLAS ist ein Allzweck-Detektor, der entwickelt wurde, um möglichst viele Entdeckungsmöglichkeiten zu erlauben: von der Suche nach dem Higgs-Boson über die Supersymmetrie (SUSY) bis hin zu zusätzlichen Raumdimensionen. Mehr als 3000 Wissenschaftler und Ingenieure aus 37 Ländern sind an ATLAS beteiligt.

Aus den Weiten des Alls ins Innere von ATLAS

Eine animierte Reise aus dem Weltraum ins Innere des ATLAS-Detektors.

ATLAS-Animation Diese Animation zeigt eine Proton-Proton-Kollision im ATLAS-Detektor.

ATLAS-Detektor Der Detektor hat eine zylindrische Form, 25 m Durchmesser und 46 m Länge. Das Hauptmerkmal ist ein riesiges, torusförmiges System von

Magneten. Es besteht aus acht 25m langen, supraleitenden Magnetspulen, welche sich zylindrisch um das Strahlrohr im Zentrum des Detektors legen.

Der innere Detektor von ATLAS Dieses Bild von 2008 zeigt, wie der innere Detektor und die Kalorimeter installiert wurden.

ATLAS: Ereignisse Anfang 2010 konnten im ATLAS-Detektor die ersten Kollisionen mit einer Energie von 7 TeV beobachtet werden.

NOBEL-BOSONEN *Antiproton-Proton-Speicherring* In den 1980er Jahren wurde das SPS in einen Antiproton-Protonen-Beschleuniger mit einer Kollisionsenergie von bis zu 540 GeV umgewandelt.

UA1 Im UA1 (Underground Area 1)-Experiment wurde 1983 die W- und Z-Bosonen entdeckt. Carlo Rubbia, der Leiter des Experiments, erhielt 1984 den Nobelpreis.

UA1-Ereignis Dieses Ereignis aus dem UA1-Detektor zeigt die Erzeugung eines Z-Bosons.

Nobelpreise Carlo Rubbia (der Leiter von UA1) und Simon Vandermeer (Erfinder der Antiprotonstrahl-Kühlung) erhielten 1984 den Nobelpreis.

UA2 Im UA2-Experiment wurde die Existenz von W und Z-Bosonen bestätigt.

LHC-F *LHC-f* LHCf ist ein kleines Experiment, welches sich in der Nähe von ATLAS befindet. Dort wird die Emission von Partikeln in der Nähe der Strahlrichtung untersucht. Zielsetzung des Experiments ist es, das Verhalten der kosmischen Strahlung bei sehr hohen Energien zu verstehen.

LHC-f-Ereignisse Die Wissenschaftler untersuchen Teilchenkaskaden, die von den Kollisionen im LHC ausgehen. Dadurch können sie riesige Experimente für kosmische Strahlen, welche Tausende von Kilometern abdecken können, kalibrieren und deren Resultate besser interpretieren.

SUPER PS *Super-Proton-Synchrotron* Der Super-Protonen-Synchrotron hat einen Umfang von 7 km und ist die zweitgrößte Maschine im Beschleunigerkomplex des CERN. Es übernimmt Partikel vom PS und beschleunigt sie auf 450 GeV. Es liefert den Strahl für den Large Hadron Collider und andere Experimente.

SPS-Magnete Das SPS enthält 744 Dipol-Magnete auf Raumtemperatur (Foto), die den Strahl auf einer Kreisbahn halten. Das SPS hat schon viele verschiedene Arten von Teilchen beschleunigt — Schwefel- und Sauerstoffkerne, Elektronen, Positronen, Protonen und Antiprotonen.

KONTROLLZENTRUM *DAS CERN-KONTROLLZENTRUM* Das CERN-Kontrollzentrum vereint alle Kontrollräume für die acht Beschleuniger und das Verteilungssystem für die Tieftemperaturkühlung. Es gibt 39 Bedienungsplätze für 4 verschiedene Bereiche – den LHC, das SPS, den PS-Komplex und die technische Infrastruktur.

ALICE *ALICE* Im ALICE-Experiment wird das Quark-Gluon-Plasma untersucht. Dieser Zustand der Materie soll kurz nach dem Urknall geherrscht haben, bevor sich Protonen und Neutronen bilden konnten.

ALICE-Detektor Im ALICE-Detektor werden Kollisionen von Bleiionen untersucht. Er ist 26 m lang, hat einen Durchmesser von 16 m und wiegt 10'000 Tonnen.

ALICE-Kollaboration Mehr als 1500 Wissenschaftler aus 30 Ländern sind am ALICE-Experiment beteiligt.

ALICE-Ereignisse Wenn zwei Bleiionen mit LHC-Energie kollidieren, entstehen viele neue Partikel. Sie geben Aufschluss über einen Zustand der Materie, in dem Quarks und Gluonen nicht mehr gebunden sind.

CMS *CMS* CMS ist ein Allzweck-Detektor, der entwickelt wurde, um am LHC möglichst viele Entdeckungsmöglichkeiten zu erlauben: von der Suche nach dem Higgs-Boson über die Supersymmetrie (SUSY) bis hin zu zusätzlichen Raumdimensionen.

CMS-Detektor Der CMS-Detektor hat eine zylindrische Form mit einem Durchmesser von 15 m und einer Länge von 21 m und einem Gewicht von 12500 Tonnen.

CMS-Magnet CMS ist um eine riesige supraleitende Magnetspule aufgebaut, welche ein Magnetfeld von 4 Tesla erzeugt, was 100'000 Mal dem der Erde entspricht.

Der CMS-Zentraldetektor Mehr als 3000 Wissenschaftler und Ingenieure aus 38 Ländern sind an CMS beteiligt. Dieses Foto zeigt den mittleren Teil des CMS-Detektors mit dem Strahlrohr des LHC.

CMS-Animation Diese Animation zeigt eine Proton-Proton-Kollision im CMS-Detektor

TOTEM *TOTEM* Das TOTEM-Experiment ist ein relativ kleines Experiment in der Nähe des CMS-Detektors. Dort wird die Wahrscheinlichkeit gemessen, dass zwei Protonen mit LHC-Energien wechselwirken ("Wirkungsquerschnitt").

Totem-Detektoren Die drei TOTEM-Detektoren sind jeweils nur etwa 3 m lang, aber sie sind auf einer Länge von 440 m entlang der Strahlführung des LHC installiert.

LHCb *LHCb* LHCb ist ein spezialisiertes Experiment in dem die winzige Asymmetrie untersucht wird, die zwischen Materie und Antimaterie herrscht, wenn an Wechselwirkungen von Teilchen "b-Quarks" und Anti-b-Quarks" beteiligt sind. Mehr als 650 Wissenschaftler und Ingenieure aus 15 Ländern sind an LHCb beteiligt.

LHCb-Detektor Damit die Teilchen mit "b-Quarks" und "Anti-b-Quarks" möglichst effizient erkannt werden können, decken die Sub-Detektoren nicht nur den Ort der Kollision sondern auch noch den vorwärtsgerichteten Bereich auf einer Länge von 20 m ab.

LHCb-Ereignis Der LHCb-Detektor ist in der Lage, B-Mesonen mit einer Lebensdauer von ca. einer Billionstelsekunde aufzuspüren. Dafür wird die Distanz zwischen dem Punkt der Proton-Proton-Interaktion und dem Zerfall der B-Mesonen gemessen. Der Detektor erfasst diese Punkte auf 1/100 mm genau.

NEUTRINOS *NEUTRINOS* *zum GRAN SASSO* Neutrinos sind sehr kleine, neutrale Teilchen, die sehr wenig mit Materie wechselwirken. Um mehr über ihre Eigenschaften herauszufinden, schickt CERN einen Neutrino-Strahl in Richtung des Gran Sasso Labors in Italien. Für die Reise durch die Erdkruste nach Italien brauchen die Neutrinos nur 2,4 Millisekunden!

STRAHL-AUSTRITT *Energie im LHC-Strahl* Bei voller Energie und Intensität beträgt die Gesamtenergie in jedem LHC-Strahl etwa 350 Mega-Joule. Dies entspricht etwa einem 400 Tonnen schweren Zug (z.B. dem französischen TGV), der mit 150 km/h unterwegs ist. Die Energie des Strahl genügt, um 500 kg Kupfer zu schmelzen.

Notausgang Sensoren erfassen, wenn der Strahl instabil wird, und spezielle Magneten entfernen den Strahl aus dem LHC innerhalb von drei Umläufen (< 0,3 Millisekunden). Der Strahl wird dann von einem Stapel Graphitplatten aufgenommen.

BESCHLEUNIGEN! *BESCHLEUNIGEN!* Die Teilchen werden durch elektromagnetische Wellen beschleunigt, die in sogenannten "Radiofrequenzkavitäten" generiert werden.

Es gibt acht supraleitende Kavitäten pro Strahl, auf einer Betriebstemperatur von -268.7°C.

Prinzip der Beschleunigung Die elektromagnetische Welle in der Kavität beschleunigt die Protonen und Ionen im LHC ähnlich wie eine Welle im Wasser einen Surfer. Die Kavitäten liefern ein Feld, welches mit 5 MV/m beschleunigt.

LHC-MAGNETE *LHC-Magnete* Der Hauptteil des LHC besteht aus ca. 9'600 Magneten, die benötigt werden, um die Teilchen in ihren (fast) kreisförmigen Bahnen zu halten und um die Teilchenstrahlen zu fokussieren. Die größten Magnete sind die 1'232 'Dipol'-Magnete mit einer Länge von 15 m und 35 Tonnen Gewicht.

LHC-Material Die Spulen der LHC-Magnete bestehen aus einem besonderen Material (Niob-Titan), welches bei sehr niedrigen Temperaturen supraleitend wird: 13'000 Ampere können dann ohne elektrischen Widerstand in den Spulen fließen.

Zwei Strahlen in einem Magneten The LHC-Dipolmagnete sind so konstruiert, dass sich zwei Teilchenstrahlen in separaten Strahlrohren in entgegengesetzte Richtungen bewegen können, wobei in beiden ein Ultrahochvakuum herrscht. Die Spulen sind so gewickelt, dass das Magnetfeld im einen Strahlrohr nach unten, im anderen nach oben zeigt.

Magnet-Verbindungen Alle 9600 Magnete müssen miteinander verbunden werden. Dazu müssen hunderttausende von Kabeln verschweisst werden.

REKORDGESCHWINDIGKEIT! *REKORDGESCHWINDIGKEIT!* Protonen bei voller Energie bewegen sich mit 99.9999991 % der Lichtgeschwindigkeit. Sie umrunden die 27 km des LHC-Rings über 11'245 Mal pro Sekunde.

EXTREM KALT! *EXTREM KALT* The LHC ist der größte und einer der kältesten Kühltürme auf der Erde. Das Kühlsystem muss 37'600 Tonnen Material auf eine Temperatur kühlen, die kälter als der Weltraum ist: -271.3°C Celsius!

Kühlflüssigkeiten 10'000 Tonnen Flüssigstickstoff wird benötigt, um Heliumgas auf 80 K abzukühlen. Die Kühlturbinen kühlen dann 120 Tonnen Helium auf 1,9 K. Bei dieser Temperatur wird Helium zu einem 'Superfluid', einer Flüssigkeit ohne Reibung und einem idealen Kühlmittel.

VÖLLIG LEER! *VÖLLIG LEER!* Der Teilchenstrahlen können im LHC nur dann zirkulieren, wenn keine Kollisionen mit Gasmolekülen stattfinden. Der Druck in den Strahlrohren ist 10^{-13} atm, gleich wie das Vakuum des Weltraums.

Touchball 4: LHC Engineering Der Bau von ATLAS

Der Bau von ATLAS Die Montage des ATLAS-Detektors in zwei Minuten (statt drei Jahren).

CMS: Zentraldetektor

Senkung des Zentraldetektors von CMS Das zentrale Element des CMS-Detektors (2500 Tonnen) wird in die Kaverne abgesenkt: dies dauerte acht Stunden!

Der Bau des zentralen Elements von CMS

Die Montage des zentralen Elements von CMS Dieser Web-Cam-Film zeigt die komplette Montage einer der fünf "Scheiben" von CMS.

Touchball 5: Detector Engineering

WIE FUNKTIONIERT EIN DETEKTOR? WIE FUNKTIONIERT

EIN DETEKTOR? Ein Detektor besteht aus mehreren Schalen, wie eine Zwiebel. Jede Schale des Detektor misst bestimmte Teilcheneigenschaften. Die inneren Schichten sind (fast) transparent, während die äußeren Schichten sehr dicht sind. Die inneren Schichten messen die Spuren geladener Teilchen, deren Bahn durch ein Magnetfeld gekrümmt wird. Dadurch lässt sich der Impuls der Teilchen bestimmen. Die nächsten Schichten sind Kalorimeter, um die Energie der Teilchen zu messen. Diese Schichten absorbieren alle Teilchen außer Myonen. Diese werden in den äußersten Schichten gemessen. MEDIA: Detektorschema

SPURERKENNUNG Wenn geladene Teilchen durch (gasförmige oder feste) Materie gehen, setzen sie Elektronen frei. Durch elektrische Felder können die Elektronen auf Sensoren gesammelt werden. Die Position des Sensors, der eine Ladung gemessen hat, gibt Aufschluss über einen Punkt der Teilchenspur. MEDIA: Ionisierung

KALORIMETER Wenn ein hochenergetisches Teilchen sich durch dichtes Material bewegt, produziert es einen Teilchenschauer. In geeigneten Materialien führt dies zur Erzeugung von Licht. Die Lichtmenge wird gemessen und verwendet, um die Energie des Teilchens zu berechnen. MEDIA: Hadronisches Kalorimeter

***Elektromagnetisches Kalorimeter** Das "elektromagnetische" Kalorimeter registriert Elektronen und Photonen und misst ihre Energie. Die Animation zeigt, wie ein Elektron einen Teilchenschauer erzeugt, welcher vermessen wird. MEDIA: Ecal-Prinzip*

***Hadronisches Kalorimeter** Hadronische Kalorimeter messen die Energie von z.B. Protonen, welche den Detektor durchlaufen. Sie produzieren die Teilchenschauer, durch welche die "Szintillationsmaterialien" zum Leuchten gebracht werden. Lange Glasfaserkabel leiten das Licht dann zu Geräten weiter, in denen die Lichtintensität von vielen Kacheln gemessen wird. MEDIA: Hcal ATLAS*

MYONKAMMER Die Myonkammern befinden sich an der Außenseite des Detektors und registrieren "Myonen" (schwere Elektronen). Myonen sind die einzigen geladenen Teilchen, die den gesamten Detektor durchqueren können. Myonen hinterlassen eine Ionisationsspur in den Driftröhren, die es erlaubt, ihren Weg zu rekonstruieren.

DATENFLUSS *DATENFLUSS Um die enorme Datenmenge der LHC-Experimente zu bewältigen, hat CERN ein globales Computersystem namens "Grid" konstruiert. Alle Daten werden zunächst am CERN gespeichert, aber dann zur Analyse an Hunderte von Rechenzentren auf der ganzen Welt geschickt. MEDIA: GRID-Tiers*

DATENSELEKTION Die 'interessanten' Ereignisse im LHC sind extrem selten: die Theorie sagt voraus, dass bei nur einem von 10'000'000'000'000 Ereignissen Anzeichen für noch unbekannte Teilchen auftauchen sollten. Eine sehr schnelle Datenselektion in zwei Stufen kann etwa 100 bis zu 600 Millionen Ereignissen pro Sekunde auswählen!

DATENVERARBEITUNG Die Datenmenge des LHC beläuft sich auf etwa 25 Millionen Giga-Byte (25 PB) pro Jahr. Diese Daten werden (fast) in Echtzeit analysiert, und zwar vom "Worldwide LHC Computing Grid", welches in Rechenzentren auf der ganzen Welt verteilt ist.

ANALYSE *DATENANALYSE Jedes Ereignis wird anhand den im Detektor gefundenen Spuren und Signalen rekonstruiert. Ziel ist dabei, herauszufinden, ob es Anzeichen für sehr kurzlebige Teilchen gibt, z.B. den Zerfall eines Higgs-Bosons. MEDIA: Rekonstruiertes Ereignis*

DATENANALYSE *DATENANALYSE-STRATEGIE* Wie lässt sich eine Nadel im Heuhaufen finden?

ATLAS *Montage von ATLAS* Diese Animation zeigt, wie die verschiedenen Teile des ATLAS-Detektors montiert wurden. *MEDIA: Montage von ATLAS*

CMS *CMS-DETEKTOR* Dies ist ein Querschnitt durch den CMS-Detektor. Er zeigt die verschiedenen Schichten, mit denen die Teilchen in der Kollision identifiziert werden. *MEDIA: CMS-Detektor*

LHCb *LHCb-DETEKTOR* Das Ziel des LHCb-Experiments besteht darin, den Zerfall von Teilchen mit b- und Anti-b-Quarks, zusammen "B-Mesonen" genannt, zu messen. Der 4'500 Tonnen schwere Detektor des Experiments wurde eigens entworfen, um diese Teilchen und deren Zerfallsprodukte herauszufiltern. *MEDIA: LHCb-Detektor*

ALICE *ALICE-DETEKTOR* Dieser Detektor wurde entwickelt, um eine Vielzahl von Teilchen zu erfassen, die entstehen, wenn zwei schwere Kerne (z.B. Blei) kollidieren. Aus der Rekonstruktion der Bahnen und der Energie dieser Teilchen kann Aufschluss über den Urzustand der Materie gewonnen werden. *MEDIA: ALICE-Detektor*

Touchball 6: Detector Panorama ATLAS

STRAHL *STRAHLROHR* Die Protonenstrahlen laufen durch das Strahlrohr und kollidieren in der Mitte des Detektors. *MEDIA: Strahlrohr von ATLAS*

SPURERKENNUNG *Innerer Detektor* Dies ist die Position des inneren Detektors von ATLAS. *MEDIA: Der innere Detektor des ATLAS besteht aus Millionen von Sensoren, die Teilchenspuren mit einer Genauigkeit von 5 Mikrometern erfassen.*

ECAL *ELEKTROMAGNETISCHES KALORIMETER* Das elektromagnetische Kalorimeter enthält flüssiges Argon (mit einer Temperatur von -183°C) und misst die Energie von Photonen und Elektronen. *MEDIA: Das elektromagnetische Kalorimeter von ATLAS*

HCAL *HADRONISCHES KALORIMETER* Das hadronische Kalorimeter misst die Teilchenenergie von z.B. Protonen und Neutronen. Es besteht aus Metallplatten (Absorbern) und Plastik-Szintillatoren. Kollisionen in den Absorbern produzieren Teilchenschauer, deren Szintillationslicht gemessen wird. *MEDIA: ATLAS HCAL*

GERÜST *MECHANISCHE STRUKTUR* Die Stützkonstruktion des ATLAS-Detektors wiegt 1000 Tonnen. Der Betonboden unter dem Detektor ist eine 5m dicke stahlverstärkte Platte. Die Kaverne ist 53 m lang, 35 m hoch und 30 m breit. Der Boden befindet sich 92 Meter unter der Erde. *MEDIA: Gerüst*

TOROID *TOROIDSPULEN* Dies ist eine der 8 Spulen, welche den riesigen, supraleitenden Toroidmagneten von ATLAS bilden. Ein Strom von 20'000 Ampere kann ohne Widerstand fließen und erzeugt ein Magnetfeld von bis zu 1 Tesla. Jede einzelne Spule wiegt 45 Tonnen. *MEDIA: Spule des Toroidmagneten von ATLAS*

MYONEN *MYONENKAMMERN* Myonen verhalten sich wie schwere Elektronen und sind die einzigen nachweisbaren Teilchen, die den gesamten Detektor durchqueren können. Das Myon-Spektrometer umgibt das Kalorimeter (Foto: die Endkappe) und misst die Spuren von Myonen, um ihren Impuls mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. *MEDIA: Myonenkammern*

GEWICHT *GEWICHT DES ATLAS-DETEKTORS* ATLAS wiegt rund 7000 Tonnen: etwa so viel wie die Metallstruktur des Eiffelturms. *MEDIA: Der Eiffelturm*

GRÖSSE *GRÖSSE DES ATLAS-DETEKTORS* ATLAS ist 43 m lang und 22 m hoch. Dies ist etwa halb so groß wie die Kathedrale von Notre Dame in Paris.
MEDIA: *ATLAS Notre Dame*

CMS

STRAHL *STRAHLROHR* Die zwei Protonenstrahlen umrunden das Strahlrohr in entgegengesetzten Richtungen und kollidieren in der Mitte des CMS-Detektors. (Der Kollisionsort befindet sich - nicht sichtbar - auf der rechten Seite). MEDIA: *CMS-Strahlrohr*

SPURERKENNUNG *INNERES SPURERKENNUNGSSYSTEM* Den Kollisionsort umgeben sehr fein segmentierte Sensoren, hergestellt aus Silikonstreifen und Pixeln. Sie messen die Teilchenspuren, die bei Kollisionen erzeugt werden, mit einer Genauigkeit von 0,01 mm. MEDIA: *Inneres Spurerkennungssystem*

MAGNET *CMS-MAGNET* Der CMS-Magnet (12,5 m lang, 6 m Durchmesser) ist die größte supraleitende Magnetspule, die jemals gebaut wurde. Seine Betriebstemperatur ist -268.5°C und er erzeugt ein magnetisches Feld von 4 Tesla. Seine Aufgabe ist es, die Bahn von Teilchen, die aus den Kollisionen hervorgehen, abzulenken.

HCAL *HADRONISCHES KALORIMETER* Im Inneren des Kalorimeters wechseln sich Schichten aus dichtem Material (Messing oder Stahl) und Plastik-Szintillatoren oder Quarz-Fasern ab, mithilfe deren die Energie der Hadronen (= Protonen, Neutronen, Pionen) gemessen wird.

ECAL *ELEKTROMAGNETISCHES KALORIMETER* Annähernd 80'000 Kristalle aus Bleiwolframat werden verwendet, um die Energie der Elektronen und Photonen genau zu messen.

STÜTZSTRUKTUR *LUFTKISSEN* Die kleine orangefarbenen Scheiben unter dem Detektor sind Luftkissen, die schwere Lasten wie ein Luftkissenboot tragen können. Sie werden verwendet, um die zylinderförmigen Teile des CMS-Detektors mit einer Genauigkeit von 1 mm zu verschieben.

KRAN *KRAN* Dieser Brückenkran kann 'kleine' Objekte - von weniger als 80 Tonnen - heben.

MYONEN *MYONEN-DETEKTOREN* Die Myonendetektoren befinden sich in mehreren Schichten innerhalb eines 12-seitigen Eisenjochs, das die Magnetspulen umgibt und als "Partikelfilter" fungiert: nur Myonen (= schwere Elektronen) können es passieren, alle anderen geladenen Teilchen werden absorbiert.

ENDKAPPE *ENDKAPPE MIT MYONEN-DETEKTOREN* Endkappe aus Stahl (etwa 1300 Tonnen schwer), bedeckt mit Myon-Detektoren. MEDIA: *Endkappe mit Myon-Detektoren*.

GRÖSSE *GRÖSSE VON CMS* Das CMS-Experiment ist 21 m lang, 15 m breit und 15 m hoch und befindet sich in einer Kaverne, in der sämtliche Bewohner von Genf Platz fänden - auch wenn es dann etwas eng würde.

GEWICHT *GEWICHT VON CMS* Der CMS-Detektor mit seinem Magneten wiegt etwa 13'800 Tonnen. Das ist fast doppelt so viel wie der Eiffelturm.

LHCB

VERTEX *VERTEXDETEKTOR* Der "Vertexdetektor" umgibt den Kollisionsort. 21 Schichten von hochpräzisen ("Silikonstreifen")-Detektoren messen den Punkt der Erzeugung und des Zerfalls kurzlebiger "Beauty"-Teilchen.

LHC-TUNNEL *LHC-TUNNEL* Der LHC-Tunnel befindet sich hinter dieser Wand.

TEILCHEN-ID *TEILCHEN-ID* Wenn ein Teilchen einen "Ring Imaging Cherenkov" durchläuft, strahlt es einen Lichtkegel aus. Das Licht trifft dann mittels Spiegeln auf eine Vielzahl von Sensoren. Der Öffnungswinkel des Kegels hängt von der Teilchensorte (Pion, Elektron, Proton) ab.

SPURERKENNUNG PRÄZISIONS-SPURERKENNUNG Vier große Schichten von hochpräzisen Detektoren (hergestellt aus Silikonstreifen) bestimmen die Bahn geladener Teilchen mit einer Genauigkeit von wenigen Millionstel Metern.

MAGNET MAGNET Der LHCb-Magnet besteht aus zwei Spulen, beide mit einem Gewicht von 27 Tonnen. Ein magnetisches Feld von etwa 1 Tesla lenkt die Bahn der geladenen Teilchen ab. (Die Biegekraft insgesamt: 4 Tm)

STRAHLROHR STRAHLROHR Das Strahlrohr besteht aus Beryllium. Zwei Protonenstrahlen umrunden es in entgegengesetzte Richtungen.

STROHRÖHRENDETEKTOR STROHRÖHRENDETEKTOR Dieser Detektorteil setzt sich aus Tausenden von gasgefüllten, strohhalmartigen Röhren zusammen, die die Spuren der geladenen Teilchen messen.

SPURERKENNUNG PRÄZISIONS-SPURERKENNUNG Die Präzisions-Spurerkennung, (basierend auf "Siliziumstreifen") befindet sich sehr nah am Strahlrohr, um die Position der geladenen Teilchen mit hoher Präzision zu erfassen.

ALICE

SPURERKENNUNG INNERES SPURERKENNUNGSSYSTEM Das innere Spurerkennungssystem (ITS) befindet sich sehr nahe am Kollisionsort. Es besteht aus mehreren Millionen Siliziumpixeln und Streifensensoren, die Spuren geladener Teilchen mit einer Genauigkeit von unter einem Millimeter messen.

TPC SPURENDRIFTKAMMER (TPC) Die TPC (unterhalb der blauen Abdeckung) gibt dreidimensionale Positionsinformationen für die Flugbahnen von geladenen Teilchen. In einem grossen Gasvolumen produzieren geladene Teilchen Elektronen durch Ionisation. Diese driften in einem starken elektrischen Feld zu Nachweiskammern.

ALUMINIUMSTRUKTUREN ALUMINIUMSTRUKTUREN Diese Aluminiumstrukturen wurden vorübergehend montiert, um die Spurendriftkammer während der Installation zu stabilisieren.

STRAHL STRAHLROHR AUS BERYLLIUM Die zwei gegenläufigen Teilchenstrahlen bewegen sich in einem ultrahohen Vakuum innerhalb des zentralen Beryllium-Strahlrohrs und kollidieren im Zentrum des ALICE-Detektors.

ABSORBER VORDERER ABSORBER Der vordere Absorber ist eine konische Struktur, die verwendet wird, um alle geladenen Teilchen außer Myonen zu absorbieren. Die Myonen werden anschliessend im Vorwärts-Myonen-Spektrometer erfasst.

MAGNET MAGNETKÜHLUNG Der riesige ALICE-Magnet benötigt ein spezielles Kühlsystem, die hinter diesen Abdeckungen verborgen ist.

Touchball 7: Interactive Sphere

BILDUNG

{empty}

"GRID" Weltkarte des "GRID"

Was ist das "GRID"? Das Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) ist eine weltweite Zusammenarbeit von mehr als 170 Rechenzentren in 34 Ländern. Seine Aufgabe besteht darin, einen Datenspeicher und für die LHC-Gemeinschaft zu erstellen und zu verwalten und die Daten zu analysieren. Es bietet derzeit die Rechenleistung von ungefähr 100'000 modernsten PCs.

Wieviele LHC-Daten? Der LHC produziert etwa 15 Millionen Gigabyte an Daten pro Jahr - das entspricht einem 21 km hohen Turm von CDs. Diese Daten müssen in

Echtzeit verarbeitet werden, um das volle Potenzial des LHC zu nutzen.
MEDIA: *Datenturm*

Warum GRID-Computing? The Datenflut des LHC übersteigt bei weitem die Kapazität der einzelnen Rechenzentren in der ganzen Welt. Das "GRID" bietet eine Lösung, indem die Kapazitäten der viele Rechenzentren weltweit kombiniert werden. MEDIA: *GRID-Globus*

GRID-Struktur Das LHC-Grid besteht aus drei Schichten ("Tiers"). Tier-0 ist CERN. Tier-1 besteht aus 11 Standorten in Europa, den USA und Asien. Im Tier-2 gibt es rund 160 Standorte überall auf der Welt. Die letzte Stufe (Tier-3) sind die PCs des Endnutzers.

Viele Verwendungen für das "GRID" Ein Computernetzwerk hat viele Anwendungen: Biologen können neue Moleküle untersuchen, Geowissenschaftler Ozonwerte messen und Ärzte große Datenmengen für die Tumoprävention analysieren. Es wird sogar von Künstlern für komplexe Animationen verwendet.
MEDIA: *Verwendungen des GRID*

TRIUMF Vancouver Tier 1 *TRIUMF Vancouver* Tier-1-Zentrum

KIT Karlsruhe Tier-1 *KIT Karlsruhe* Tier-1-Zentrum

PIC Barcelona Tier-1 *PIC Barcelona* Tier-1-Zentrum

IN2P3 Lyon Tier-1 *IN2P3 Lyon* Es gibt 5 Tier-2-Zentren in Frankreich (Ile de France, Straßburg, Annecy, Clermont-Ferrand, Nantes)

INFN Bologna Tier-1 *INFN Bologna* Tier-1-Zentrum

NDF Kopenhagen Tier-1 *NDF Kopenhagen* "Nordic Data Grid Facility" (NDF) ist eine Zusammenarbeit zwischen Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden.

NIKHEF Amsterdam Tier-1 *NIKHEF Amsterdam* Tier-1-Zentrum

ASGC Taipei Tier-1 *ASGC Taipei* Tier-1-Zentrum

GRIDPP Oxford Tier-1 *GRID-PP* Das Computernetzwerk des Vereinigten Königreiches trägt die Rechenleistung von mehr als 20'000 PCS zu den weltweiten Bemühungen des LHC-GRID bei. GridPP ist eine Zusammenarbeit von 19 britischen Universitäten und dem Science and Technology Facilities Council (STFC).

Fermilab Batavia Tier-1 *Fermilab* Eines der beiden Tier-1-Zentren in den Vereinigten Staaten, befindet sich am Fermilab bei Chicago.

BNL Brookhaven Tier-1 *BNL Brookhaven* Eines der beiden Tier-1-Zentren in den Vereinigten Staaten, gelegen am Brookhaven National Laboratory, Long Island, New York.

DIE WELT DES CERN

Österreich CERN-Mitgliedstaat seit 1959 CERN-Benutzer: 128 Beitrag zum CERN Budget: 2.2251 % Zwei österreichische Generaldirektoren: -Victor Weisskopf (1961-65) -Willibald Jentschke (1971-75) Teilnahme an CERN-Experimenten: ATLAS, CMS, ASACUSA, CLOUD, nTOF

BELGIEN CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 152 Beitrag an das CERN-Budget: 2.7746 % Generaldirektor: - Leon van Hove (1976-1980) Teilnahme an CERN-Experimenten: CMS, ISOLDE, OPERA, NA62, nTOF

Bulgarien CERN-Mitgliedstaat seit 1999 CERN-Benutzer: 52 Beitrag an das CERN Budget: 0.2794 % Teilnahme an CERN-Experimenten: CMS, AEGIS, NA61, NA62, NTOF, OPERA

Tschechische Republik CERN-Mitgliedstaat seit 1992 CERN-Benutzer: 197 Beitrag an das CERN Budget: 1.7694 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ATLAS, ALICE, TOTEM, AEGIS, COMPASS, DIRAC, NA62, nTOF, OSQAR

Dänemark CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 71 Beitrag an das CERN Budget: 1.7694 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, ACE, ALPHA, ASACUSA, CLOUD, ISOLDE, NA63

Finnland CERN-Mitgliedstaat seit 1991 CERN-Benutzer: 103 Beitrag an das CERN Budget: 1.4274 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, CMS, CLOUD, ISOLDE

Frankreich CERN-Standort und Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 918 Beitrag an das CERN Budget: 15.5674 % Zwei Generaldirektoren: - Bernard Gregory (1966-1970) - Robert Aymar (2004-2008) Nobelpreisträger Georges Charpak (1992) Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, AEGIS, CAST, COMPASS, ISOLDE, NA61, nTOF, OPERA, OSQAR

Deutschland CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 1316 Beitrag an das CERN Budget: 20.2901 % Zwei Generaldirektoren: - Herwig Schopper (1981-1988) - Rolf Heuer (2009-2013) Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, ACE, AEGIS, ASACUSA, ATRAP, CAST, CLOUD, COMPASS, ISOLDE, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA

Griechenland CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 111 Beitrag an das CERN Budget: 1.7865 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, ACE, CAST, DIRAC, NA61, nTOF

Ungarn CERN-Mitgliedstaat seit 1992 CERN-Benutzer: 62 Beitrag zum CERN Budget: 0.6797 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, CMS, ASACUSA, NA61, TOTEM

Italien CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 1422 Beitrag zum CERN Budget: 11.7765 % Zwei Generaldirektoren: - Luciano Maiani (1999-2003) - Carlo Rubbia (1989-1993) Nobelpreisträger Carlo Rubbia (1984) Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM, LHCf, AEGIS, ASACUSA, CAST, COMPASS, DIRAC, ICARUS, ISOLDE, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA

Niederlande CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 177 Beitrag zum CERN Budget: 4.6116 % Nobelpreis für Simon van der Meer 1984 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, LHCb, NA63, nTOF

Norwegen CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 88 Beitrag zum CERN Budget: 2.5011 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, ISOLDE, NA61, AEGIS, CLOUD

Polen CERN-Mitgliedstaat seit 1991 CERN-Benutzer: 220 Beitrag zum CERN Budget: 2.7208 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, COMPASS, ICARUS, ISOLDE, NA61, nTOF, OSQAR, RD50

Portugal CERN-Mitgliedstaat seit 1986 CERN-Benutzer: 125 Beitrag zum CERN Budget: 1.2281 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ATLAS, CLOUD, CMS, COMPASS, ISOLDE, NA63, nTOF

SLOWAKISCHE REPUBLIK CERN-Mitgliedstaat seit 1992 CERN-Benutzer: 60 Beitrag zum CERN Budget: 0.5057 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS

Spanien CERN-Mitgliedstaat seit 1983 CERN-Benutzer: 354 Beitrag zum CERN Budget: 8.5334 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, CAST, DIRAC, ISOLDE, nTOF

Schweden CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 93 Beitrag zum CERN Budget: 2.5456 % Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, ISOLDE, nTOF

Schweiz CERN-Standort und Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 379 Beitrag zum CERN Budget: 2.1917 % Erster Generaldirektor des CERN: - Felix Bloch (1954-1955) Teilnahme an CERN-Experimenten: ATLAS, CMS, LHCb,

ACE, AEGIS, ASACUSA, CAST, CLOUD, COMPASS, DIRAC, NA61, NA62, nTOF, OPERA

Vereinigtes Königreich CERN-Mitgliedstaat seit 1954 CERN-Benutzer: 803 Beitrag zum CERN Budget: 14.5150 % Zwei Generaldirektoren: - John Adams (1976-1980) - Chris Llewellyn-Smith (1994-1998) Tim Berners-Lee entwickelte das WWW Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, AEGIS, ALPHA, ASACUSA, CLOUD, ISOLDE, MERIT, NA62

Rumänien CERN-Beitrittskandidat CERN-Benutzer: 88 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, LHCb, DIRAC, ISOLDE

Indien CERN-Beobachterstatus seit 1996 CERN-Benutzer: 146 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, CMS, COMPASS, ISOLDE

Israel CERN-Beobachterstatus seit 1991 CERN-Benutzer: 63 Teilnahme an CERN-Experimenten: ATLAS, ALPHA, COMPASS, OPERA, RD50, ISOLDE

Japan CERN-Beobachterstatus seit 1996 CERN-Benutzer: 238 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, LHCf, ALPHA, ASACUSA, COMPASS, DIRAC, MERIT, NA61, nTOF, OPERA

Russland CERN-Beobachterstatus seit 1996 CERN-Benutzer: 883 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, AEGIS, ASACUSA, CAST, CLOUD, COMPASS, DIRAC, NA61, NA62, NA63, nTOF, OPERA

Türkei CERN-Beobachterstatus seit 1986 CERN-Benutzer: 94 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, CAST, ISOLDE, NA63, OPERA

USA CERN-Beobachterstaat seit 1996 CERN-Benutzer: 1757 Teilnahme an CERN-Experimenten: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, ACE, ALPHA, ATRAP, CAST, CLOUD, ICARUS, ISOLDE, MERIT, NA62, nTOF, RD39, RD42, RD50

ORGANISATION ORGANISATION DES CERN *GENERALDIREKTOR CERN wird von Generaldirektor Rolf Heuer geleitet, der auch offizieller Vertreter der Organisation ist.*

CERN-RAT Der Rat besteht aus den Delegierten aus 20 Mitgliedstaaten und ist das Lenkungsorgan des CERN. Der Rat ist zuständig für die CERN Programme, den Haushalt, und für die Ernennung der Verwaltung. (Foto: Professor Agnieszka Zalewska, Ratspräsidentin).

VERWALTUNG

VERWALTUNGSDIREKTOR Verwaltungsdirektor Sigurd Lettow ist zuständig für das Finanz- und, Beschaffungswesen, Planung, den Personaldienst und die allgemeine Infrastruktur.

FP - FINANZEN & BESCHAFFUNG Leiter: Thierry Lagrange. Die FP-Abteilung ist verantwortlich für die Finanzverwaltung des CERN in Übereinstimmung mit der Finanz- und Auftragsvergabe.

HR - PERSONALDIENST Leiterin: Anne-Sylvie Catherin. Die HR-Abteilung ist verantwortlich für alle Belange der Personalverwaltung (z.B. Rekrutierung, Arbeits- und Beschäftigungsbedingungen, Ausbildung).

GS - ALLGEMEINE DIENSTLEISTUNGEN Leiter: Lluís Miralles Verge. Die GS-Abteilung stellt und betreibt die Infrastruktur, die Gebäude und das unterirdische Bauingenieurwesen und alle Informationssysteme des CERN.

FORSCHUNG FORSCHUNGSDIREKTOR Der Forschungsdirektor, Sergio Bertolucci, ist verantwortlich für alle Aspekte der physikalischen Grundlagenforschung und Rechenleistung.

PH – PHYSIK Leiter: Philippe Bloch. Die PH-Abteilung führt Grundlagenforschung in der Teilchenphysik durch, empfängt etwa 10'000 internationale Wissenschaftler und trägt zur Bildung und Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bei.

IT - INFORMATIONSTECHNOLOGIE Leiter: Frederic Hemmer. Die IT-Abteilung stellt die Informationstechnologie für CERN bereit und kümmert sich um technische Analyse, Design, Beschaffung, Implementierung, Betrieb und Benutzerunterstützung von Computerinfrastruktur und Dienstleistungen.

BESCHLEUNIGER DIREKTOR FÜR BESCHLEUNIGER & TECHNOLOGIE Der Direktor für Beschleuniger und Technologie, Steve Myers, ist verantwortlich für den Betrieb und die Nutzung des gesamten Beschleunigerkomplexes, besonders des LHC und der Entwicklung neuer Projekte und Technologien.

BE – STRAHLEN Leiter: Paul Collier. Die BE-Abteilung ist verantwortlich für die Erzeugung der Strahlen, die Beschleunigung, Diagnose, Steuerelemente und Leistungsoptimierung für den gesamten Beschleunigerkomplex des CERN.

EN – INGENIEURWESEN Leiter: Roberto Saban. Die EN-Abteilung bietet technische Unterstützung für die Infrastruktur, Beschleuniger und Experimente am CERN. Dazu gehören Elektrotechnik und Maschinenbau, die Handhabung schwerer Lasten, Steuerungssysteme und Datenverarbeitung.

TE – TECHNOLOGIE Leiter: Frederic Bordry. Die TE-Abteilung ist verantwortlich für die Technologie existierender Teilchenbeschleuniger, der Infrastruktur und zukünftiger Projekte.

GESCHICHTE DES CERN

1949 Bei einer europäischen Kulturkonferenz in Lausanne regt Physik-Nobelpreisträger Louis de Broglie die Einrichtung eines multinationalen Labors an.

1952 Der provisorische CERN-Rat während seiner 3. Sitzung in Amsterdam, an der Genf als Standort für das Labor gewählt wurde.

1953 Die Gründungsurkunde des CERN wurde auf einer Tagung des CERN-Rates in Paris unterzeichnet. MEDIA: *Vertreter von 12 europäischen Regierungen unterzeichnen die Gründungsurkunde des CERN in Paris.*

1954 Erste Ausschachtungsarbeiten für das neue Labor werden in Meyrin bei Genf begonnen.

1957 Der erste Beschleuniger des CERN, das 0,6 GeV "Synchro-Zyklotron", geht in Betrieb und liefert Teilchenstrahlen für die ersten Experimente des CERN.

1959 Die Inbetriebnahme des 28 GeV Proton-Synchrotron (PS) wird durch den Projektleiter, John Adams, angekündigt.

1963 Die ersten Neutrinostrahlen des CERN werden erzeugt. Ihre Wechselwirkungen werden fotografiert und ihre Spuren in sogenannten "Blasenkammern" vermessen.

1968 George Charpak erfindet die "Vieldraht-Proportionalkammer" und die "Driftkammern". Dadurch können viel schnellere Detektoren entwickelt werden, die sich mithilfe von Computern auslesen lassen. Charpak wird 1992 der Nobelpreis verliehen.

1971 Der weltweit erste Proton-Proton-Speicherring, ISR (Intersecting Storage Rings), wird in Betrieb genommen.

1973 Neutrinos, die in der Blasenkammer "Gargamelle" wechselwirken, liefern erstmals experimentelle Beweise für die Existenz eines Z-Bosons. Dies untermauert die Theorie, nach der die schwache und elektromagnetische Wechselwirkung vereinheitlicht werden kann.

1976 Das SPS ("SuperProtonen-Synchrotron") wird in Betrieb genommen. Es hat einen Umfang von 7 km und beschleunigt Protonenstrahlen auf eine Energie von 400 GeV.

1981 Das SPS wird in einen Proton-Antiproton-Speicherring umgewandelt. Dies wird durch die von Simon van der Meer entwickelte 'stochastische Strahlkühlung' ermöglicht (Nobelpreis 1984).

- 1983** Mitarbeiter der UA1 und UA2-Experimente am CERN vermelden die Entdeckung der W- und Z-Teilchen, 'Botenteilchen' der schwachen Wechselwirkung. MEDIA: *Z-Teilchen im UA1*
- 1984** Carlo Rubbia und Simon van der Meer werden mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.
- 1986** Die ersten schweren Ionen (Atomkerne mit vielen Protonen und Neutronen) werden am SPS auf der Suche nach Spuren des "Quark-Gluon-Plasmas" beschleunigt. MEDIA: *S-Au-Kollisionen in NA35*
- 1989** Die Inbetriebnahme des Grossen Elektron-Positron-Beschleunigers (LEP). LEP befindet sich in einem 27 km langen Tunnel 100 m unter der Erde. MEDIA: *LEP aus der Vogelperspektive*
- 1990** Tim Berners-Lee entwickelt das World Wide Web als Kommunikationshilfe für Physiker am CERN. Er erfand HTML, http, URL, und richtete den ersten WWW-Server ein.
- 1991** Präzisionsexperimente am LEP zeigen, dass es genau drei Arten (leichter) Neutrinos und daher drei Familien von Teilchen gibt. MEDIA: *Drei Generationen*
- 1993** Im Experiment NA31 wird die "direkte CP-Verletzung" nachgewiesen. Dies gibt Hinweise darauf, warum das Universum Materie gegenüber der Antimaterie bevorzugt. Dies wird später durch das NA48 Experiment (Foto) bestätigt.
- 1994** Der CERN-Rat billigt den Bau des Large Hadron Collider (LHC), der im LEP-Tunnel untergebracht werden soll.
- 1995** Die ersten neun Antiwasserstoff-Atome, welche sich fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, werden am Niederenergie-Antiprotonring (LEAR) erzeugt und beobachtet. MEDIA: *Antiwasserstoff bei LEAR*
- 2000** Kollisionen von Schwerionen liefern den Beweis für die Existenz des "Quark-Gluon-Plasmas", ein Zustand der Materie, der etwa eine Millionstelsekunde nach dem Urknall geherrscht haben soll.
- 2001** Nach der Schließung des LEP im Jahr 2000 ist der Bau des LHC und der vier LHC-Experimente nun in vollem Gange (Foto: LHC-Dipol). MEDIA: *LHC-Magneten*
- 2002** Am ATHENA-Experiment werden erstmals Millionen von langsamen Antiwasserstoff-Atomen erzeugt. Das Foto zeigt die Rekonstruktion einer Vernichtungsreaktion eines Antiwasserstoff-Atoms. MEDIA: *Langsamer Antiwasserstoff*
- 2004** Der "Globus der Wissenschaft und Innovation", ein Geschenk der Schweizerischen Eidgenossenschaft zum 50. Jahrestag des CERN, wird eingeweiht und soll zum Besucher- und Konferenzzentrum werden. MEDIA: *Der CERN-Globus*
- 2006** Das Experiment CNGS ("CERN-Neutrinos nach Gran Sasso") beginnt. CERN schickt einen Neutrinostrahl 732 km durch das Erdinnere zu Experimenten unter dem Gran-Sasso-Massiv in Italien.
- 2008** Nach mehr als 10-jähriger Vorbereitung umkreist am 10. September 2008 der erste Strahl den Large Hadron Collider.
- 2010** Der LHC ermöglicht die ersten Protonenkollisionen mit 7 TeV. Das Physik-Programm des LHC hat begonnen, und neue Entdeckungen werden mit Spannung erwartet.

[Die Liste, in welchem Mitgliedstaat welche Universitäten und Institute an welchen Experimenten beteiligt sind, wurde in dieser Fassung ausgelassen.]

Touchball 8: Spin-Offs

QUELLEN DER TECHNOLOGIE

COMPUTERZENTRALE Prozessor (CPU) Der Prozessor eines modernen Computers enthält Millionen von Transistoren. Um die ersten Transistoren bauen zu können, musste man die Quantenphysik von Halbleitern verstehen. Dies gelang erstmals Walter Brattain, John Bardeen und William Shockley 1947. MEDIA: *Moderner Prozessorchip*

Grundlagenforschung Das Prinzip der Programmierung beruht auf den Theorien von Alan Turing (1936) und John von Neumann (1945) sowie dem ersten Prototypcomputer von Konrad Zuse aus dem Jahr 1936. MEDIA: *Die Erfinder des Transistors*

FESTPLATTE Auf der ersten Festplatte, entwickelt 1954 von einem IBM-Team, wurde eine dünne Schicht aus ferromagnetischem Material zum Speichern von Daten magnetisiert. Die Ausrichtung nach unten entspricht 0, nach oben 1. MEDIA: *Computer-Festplatte*

Grundlagenforschung 1988 entdeckten Albert Fert und Peter Grünberg die "Riesenmagnetresonanz". Wenn man die Spinrichtung von Elektronen verändert, wirkt sich dies auf den elektrischen Widerstand eines Materials aus. Bei Festplatten konnte man damit die Speicherkapazität enorm vergrößern. MEDIA: *Peter Grünberg und Albert Fert*

Sehr grundlegend! Der Elektronenspin wurde erstmals 1927 von Paul Dirac beschrieben. Er vereinigte die Quantenphysik und die spezielle Relativitätstheorie. MEDIA: *Paul Dirac*

GRID *Grundlagenforschung* GRID ist eine Infrastruktur für die gemeinsame Benutzung von Rechenleistung und Speicherkapazität über das Internet. Hunderttausende Computer können so parallel komplexe Berechnungen anstellen und auf riesige Datenmengen zugreifen und diese speichern. MEDIA: *Eine weltweites Netz für die Verarbeitung und Speicherung von Daten*

GRUNDLAGENFORSCHUNG Wissenschaftler aus der ganzen Welt verwenden Netzwerke von Computern für Klima- und Wettermodelle, Erdbebensimulationen, Proteinfaltung sowie für die Analyse der riesigen Datenmengen aus den LHC-Experimenten am CERN.

Die Idee des GRID-computing wurde 1999 von Ian Foster und Carl Kesselmann entwickelt. Sie wollten damit vor allem die Grundlagenforschung vorantreiben. MEDIA: *Ian Foster und Carl Kesselmann sind die Erfinder des GRID*

KOMMUNIKATION

WWW *World Wide Web* The World-Wide Web (WWW) nutzt das Internet, um Informationen für jedermann zugänglich zu machen. Das WWW basiert auf der "Hypertext Markup Language" (HTML), einer universellen Sprache für Computer, welche so auf einfache Weise Informationen zugänglich machen. MEDIA: *Im World Wide Web ist Teil unseres Lebens geworden.*

Grundlagenforschung Das WWW wurde 1989 von Tim Berners-Lee erfunden. Er arbeitete damals am CERN, dem Europäischen Labor für Teilchenphysik in Genf. Sein Ziel war es, für Teilchenphysiker aus aller Welt eine einfache Methode für den Informationsaustausch zu entwickeln. MEDIA: *Tim Berners-Lee, Erfinder des WWW*

OPTISCHE FASERN *Optische Fasern* Optische Fasern ermöglichen die Hochgeschwindigkeitsübertragung großer Datenmengen. Dafür wird die Intensität des Laserlichtes, das durch die Fasern gesendet wird, moduliert. Heute sind sie das Herzstück der Datenübertragung im Internet. Optische Fasern sind auch Grundlage der Endoskopie in der Medizin. MEDIA: *Interne Reflexion des Lichtes*

Grundlagenforschung Die Übertragung von Signalen mit optischen (oder Glas-) Fasern über größere Entfernungen wurde erstmals 1966 von Charles Kao demonstriert. Er

hatte entdeckt, dass Verunreinigungen im Glas beseitigt werden mussten, um eine genügende Reichweite für die Lichtübertragung zu erreichen. MEDIA: *Charles Kao zeigte, dass die optische Datenübertragung machbar war.*

GPS GPS-Navigation Das satellitengestützte System zur Positionsbestimmung (GPS) ist ein wichtiges Instrument unseres täglichen Lebens geworden. Es ermöglicht uns, jeden Ort auf der Welt mit einer Genauigkeit von wenigen Metern zu orten. Das GPS basiert auf 31 Satelliten, welche die Erde in einer Entfernung von 20.183 km umkreisen. Der Sendezeitpunkt der Signale von jeweils mindestens 3 Satelliten wird mit dem Zeitpunkt der Aufnahme verglichen. So kann der GPS-Empfänger die Position berechnen. MEDIA: *31 Satelliten ermöglichen das GPS-System*

Grundlagenforschung Die Auswirkungen der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein (1905 und 1916) müssen einbezogen werden, damit das GPS funktioniert. Ohne die Korrekturen der Relativitätstheorie würde das GPS-System pro Tag um 12 km falsch liegen! MEDIA: *Albert Einstein*

ELEKTRONIKGESCHÄFT Radio, TV und Telefon Radios, Fernseher oder Mobiltelefone kommunizieren alle mit Hilfe elektromagnetischer Wellen. Die ersten Radios wurden in den 1890er Jahren entwickelt. Der erste Kathodenstrahlröhren-TV stammt aus dem Jahr 1929 und die ersten Mobiltelefone von 1973. MEDIA: *Mobiltelefone sind ein wichtiger Teil unseres täglichen Lebens*

Grundlagenforschung Mobile Kommunikation wäre ohne ein Verständnis elektromagnetischer Wellen nicht möglich. James Clerk Maxwell hatte ihre Existenz 1865 vorhergesagt und 1886 wurde sie im Labor durch Heinrich Hertz bestätigt. MEDIA: *James Clerk Maxwell*

CD und DVD Der Hauptbestandteil von einem CD- oder DVD-Gerät ist ein Laser, dessen Strahl auf eine Datenträgerschicht fokussiert wird. Diese enthält eine Sequenz von mikroskopisch kleinen Unebenheiten: die Daten in digitalisierter Form.

Laserstrahlen werden verwendet, um DVDs zu lesen und zu brennen

Grundlagenforschung Der erste Laser wurde 1960 gebaut. Heute haben Laser hunderte von Anwendungsbereichen, von der Augenchirurgie und Informationstechnologie bis zur Unterhaltungselektronik. In seinen Anfängen nannte man den Laser eine Erfindung "auf Arbeitssuche"! MEDIA: *Der erste Laser*

Sehr grundlegend! Das Prinzip des Lasers ('stimulierte Emission von Strahlung'), geht zurück auf Albert Einstein, der 1917 den zugrunde liegenden physikalischen Prozess beschrieb.

CCD-KAMERA Fotoapparate und Videokameras Das Herzstück aller digitalen Kameras ist das "ladungsgekoppelte Element" ("charged-coupled device", CCD). Es besteht aus einer Anordnung von lichtempfindlichen Zellen, die je nach Intensität des einfallenden Lichts eine entsprechende Menge Elektronen speichern. Die Ladung der einzelnen Zellen wird sequenziell ausgelesen. So wird ein optisches Bild in ein digitales umgewandelt. MEDIA: *CCD-Sensoren sind das Herzstück von Digitalkameras*

Grundlagenforschung Das CCD wurde 1969 von Willard Boyle und George Smith entwickelt. Die CDD-Technologie führte zu einer Explosion der digitalen Bildbearbeitung als in den frühen 1970er Jahren die ersten CCD-basierten Videokameras erschienen. MEDIA: *Willard Boyle und George Smith 1969*

Sehr grundlegend! Das Prinzip des CCD hängt mit dem photoelektrischen Effekt zusammen, der von Albert Einstein 1905 beschrieben wurde.

KRAFTWERK ELEKTRISCHER STROM Wie lässt sich die Energie aus Wind, Wasser oder Dampf in elektrische Energie umwandeln? Das Herzstück jedes Kraftwerks ist ein Stromgenerator: eine elektrische Potentialdifferenz entsteht

zwischen den Enden eines elektrischen Leiters, der sich im rechten Winkel zu einem Magnetfeld bewegt. MEDIA: *Windenergieturbinen*

Grundlagenforschung Das Prinzip des modernen Stromerzeugers wurde 1831 entdeckt, als Michael Faraday Phänomene der Elektrizität und des Magnetismus untersuchte. Als ihn der britische Premierminister befragte, wozu Elektrizität denn nützlich sei, sagte er: "Sie werden bestimmt bald Steuern darauf erheben können".

SOLARSTROM Wie kann man Licht in Strom umwandeln? Der photovoltaische Effekt überträgt Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband eines Materials. Dies führt dazu, dass sich zwischen zwei Elektroden eine Spannung aufbaut. Die erste Solarzelle wurde 1883 von C. Fritts gebaut, aber hatte nur 1 % Wirkungsgrad. Der erste moderne Solarzelle stammt von 1946. MEDIA: *Solarzellen wandeln Sonnenlicht in Elektrizität um*

Grundlagenforschung Lichtempfindliche Materialien wurden im Jahr 1839 entdeckt als Alexandre Becquerel die Leitung von elektrischen Strömen in Halbleitern untersuchte. Die Erklärung des (damit zusammenhängenden) photoelektrischen Effektes geht zurück auf Albert Einstein (1905).

KERNKRAFT $E = mc^2$: Die berühmte Gleichung bedeutet, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann. Sie erklärt, woher die Energie der Sonne kommt und warum durch Kernspaltung Energie entsteht. MEDIA: *Kernkraftwerk*

Grundlagenforschung Albert Einstein kam 1905 zu diesem überraschenden Ergebnis, als er über die Beziehung zwischen Raum und Zeit nachdachte. Erst 1938, als Otto Hahn und Lise Meitner die Zerfallsprodukte von Uran studierten, wurde jedoch klar, dass Einsteins Gleichung wirklich eine praktische Auswirkung haben kann.

FUSIONSENERGIE Was ist der Treibstoff unserer Sonne und der Sterne? Hans Bethe erkannte 1939, dass Sterne durch die Fusion von Protonen Energie erzeugen und Heliumkerne daraus entstehen. Nach Einsteins berühmter Formel $E = mc^2$ wandelt die Fusion einen winzigen Prozentsatz der Masse der Protonen in Energie um.

Grundlagenforschung Das Jahr 1947 markiert den Beginn der Plasmaforschung, mit dem Endziel, die Kraft der Fusion auf die Erde zu bringen. Es stellte sich jedoch als sehr schwierig heraus, extrem heiße Plasmen zu speichern. Es könnte weitere 20 Jahre dauern, bevor ein Fusionsreaktor (ITER) zur Energieerzeugung Realität wird. MEDIA: *Der Test-Fusionsreaktor JET in Culham*

KRANKENHAUS COMPUTERTOMOGRAPHIE "Computertomographie", kurz: CT-Scan, ist ein nicht-invasives Verfahren, das es erlaubt, Bilder aus dem Inneren des Körpers zu erhalten. Aus verschiedenen Richtungen wird eine Reihe von Röntgenbildern eines Objekts gemacht, wobei die Rotationsachse stets die gleiche ist. Daraus rekonstruiert ein Computer ein dreidimensionales Bild von dessen Innerem. MEDIA: *Computertomographie-Maschine*

Grundlagenforschung CT-Scanner basieren auf der Forschung von Konrad Röntgen, der 1895 die Röntgenstrahlen entdeckte. Er untersuchte die Auswirkungen von elektrischen Entladungen in Vakuum-Röhren. MEDIA: *Konrad Röntgen entdeckte Röntgenstrahlen im Jahr 1895*

MRI-SCANNER *Magnetresonanz-Bildgebung* Magnetresonanz-Bildgebung (MRI) misst Wasser im Körpergewebe und bietet ein kontrastreicheres Bild als ein CT-Scanner. MRI-Aufnahmen eignen sich vor allem für die Bildgebung vom Gehirn, Muskeln, dem Herzen und Tumoren. MEDIA: *Ein MRI-Scan von einem menschlichen Knie*

Grundlagenforschung Ein MRI verwendet ein starkes Magnetfeld, um die Wasserstoffkerne der Wassermoleküle im Körper auszurichten. Dann wird ihre Ausrichtung mit einem Radiofrequenzfeld geändert. Dies bewirkt, dass die Wasserstoffkerne ein rotierendes Magnetfeld erzeugen, welches der Scanner nachweisen kann.

Diese Technik wurde erstmals 1938 von Isidor Rabi verwendet, als er die Niveaus von atomarer Energie untersuchte. MEDIA: *Isidor Rabi verwendet MRI zur Untersuchung atomarer Energieniveaus*

PET-SCANNER POSITRONEN-EMISSIONS-TOMOGRAPHIE (PET) ist ein medizinisches bildgebendes Verfahren, welches ein dreidimensionales Bild der funktionalen Prozesse im Körper erstellt. PET-Scanner erkennen Tumore und Metastasen im ganzen Körper und können auch zur Untersuchung des Gehirns verwendet werden. MEDIA: *PET-Scans sind wichtige Instrumente zum Verständnis der Gehirnfunktionen*

Grundlagenforschung PET-Scanner erkennen Paare von Gamma-Strahlen, die von einem Positronen emittierenden Isotop (z.B. Fluor-18) ausgestrahlt werden. Positronen sind Antiteilchen, deren Existenz von Paul Dirac 1928 vorausgesagt wurde. Er vereinigte damals die Quantenphysik mit der speziellen Relativitätstheorie. MEDIA: *Paul Dirac sagte die Existenz von Antimaterie voraus*

STRAHLENTHERAPIE Strahlentherapie mit Röntgenstrahlen wird schon seit mehr als 100 Jahren zur Behandlung von Krebs eingesetzt - schon seit ihrer Entdeckung im Jahre 1895. Röntgenstrahlen werden hauptsächlich verwendet, um die DNA von Tumorzellen zu beschädigen. MEDIA: *Strahlentherapie hilft, Krebs zu heilen*

Grundlagenforschung Röntgenstrahlen werden durch Linearbeschleuniger erzeugt, welche Elektronen beschleunigen und sie auf einen Metallblock (z.B. Wolfram) schießen. Der Linearbeschleuniger wurde 1928 von Rolf Wideroe erfunden. Er suchte eine neue Methode zur Beschleunigung von Teilchen um die Struktur der Atome und Atomkerne zu untersuchen. MEDIA: *Rolf Wideroe erfand den Linearbeschleuniger*

ISOTOPEN-THERAPIE Radioaktive Isotope werden häufig für medizinische Diagnostik und Therapie verwendet. Jod-131 wird z. B. zum Testen der Schilddrüsenfunktion oder zur Behandlung von Schilddrüsenkrebs verwendet. Technetium-99m dient der Bildgebung und Untersuchungen der Funktion von Gehirn, Herz, Lunge, Skelett und vielen anderen Teilen des Körpers. MEDIA: *Isotopenscan*

Grundlagenforschung Die ersten im Labor erzeugten Radio-Isotope wurden 1934 von Frederic und Irene Joliot-Curie entdeckt als sie untersuchten, ob es möglich sei, ein Element in ein anderes umzuwandeln (der uralte Wunsch der Alchimisten!). Sie hatten Erfolg, als sie stabile Atomkerne mit Alphateilchen aus einer radioaktiven Quelle (Polonium) beschossen. MEDIA: *Frederic und Irene Joliot-Curie*

HADRONENTHERAPIE Hadronentherapie ist eine Form der Strahlentherapie, bei der hochenergetische ionisierende Teilchen (Protonen oder Kohlenstoffionen) auf Tumore treffen. Der Vorteil ist, dass geladene Teilchen einen Grossteil ihrer ursprünglichen Energie am Ende ihrer Reichweite abgeben, so dass weniger Energie in das gesunde Gewebe rund um den Tumor abgestrahlt wird. MEDIA: *Protonen- oder Kohlenstoffionenstrahlen werden verwendet, um Tumore zu zerstören*

Grundlagenforschung Die Protonen oder Kohlenstoffionen werden mit 'Zyklotronen' oder 'Synchrotronen' beschleunigt. Der erste Teilchenbeschleuniger wurden in den 1930er und 1940er Jahren zur Erforschung der Kerne und Teilchen entwickelt. Das erste Zyklotron wurde 1931 von Ernest Lawrence gebaut. MEDIA: *Ernest Lawrence erfand das Zyklotron*