

Geographiedidaktische Forschungen

Herausgegeben im Auftrag des
Hochschulverbandes für Geographie und ihre Didaktik e.V
von
Hartwig Haubrich
Jürgen Nebel
Yvonne Schleicher
Helmut Schrettenbrunner

Band 43

Martin Müller

**Meteoriteneinschläge auf der Erde – Fachliche Konzepte,
Schülerperspektiven und didaktische Umsetzung**

Weingarten 2009

„Der Forscher fand nicht selten mehr, als er zu finden wünschte“

Gotthold Ephraim Lessing (1779)

Nathan der Weise (Zweiter Aufzug, Siebter Auftritt)

Diese Arbeit wurde als Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades von der Mathematisch-Geographischen Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt angenommen.

ISBN 3-978-3-925319-30-3

2009

Selbstverlag des Hochschulverbandes für Geographie und ihre Didaktik e.V. (HGD)

Bestellungen an: schleicher@ph-weingarten.de

Druck: Schnelldruck Süd Nürnberg

Layout: Martin Müller

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
Vorwort	10
1. Einleitung	11
1.1. Ziel und Aufbau der Arbeit	11
1.2. Die Relevanz der Impakt-Thematik für Forschung und Unterricht	13
1.2.1. Begründungszusammenhang im Rahmen der Geographie und ihrer Didaktik	13
1.2.2. Begründungszusammenhang im Rahmen der Erziehungswissenschaft und Naturwissenschaftsdidaktik	21
2. Theoretische Grundlagen, Stand der Forschung und Methodik	24
2.1. Grundzüge und Komponenten des Modells der ‚Didaktischen Rekonstruktion‘	24
2.2. Fachliche Klärung	28
2.3. Lernerperspektiven	31
2.3.1. Schülervorstellungen: Kognitive Komponente	32
2.3.2. Schülervorstellungen: Affektive Komponente	40
2.3.3. Interesse	48
2.4. Didaktische Strukturierung	56
2.5. Zusammenfassende Darstellung der Methodik	58
3. Fachliche Klärung des Themas Meteoriteneinschläge	59
3.1. Meteoriteneinschläge als Gegenstand der Forschung	59
3.1.1. Untersuchungsobjekt Raum	59
3.1.2. Paradigmenwechsel in den Geowissenschaften	60
3.2. Anmerkungen zur Analyse der Literatur und der Experten-Interviews	65
3.3. Ergebnisse der Fachlichen Klärung	67
3.3.1. Historische Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen	67
3.3.2. Ablauf eines Einschlags	68
3.3.3. Auswirkungen eines Einschlags und Abwehrmöglichkeiten	72
3.3.3.1. Auswirkungen eines Einschlags heute	72
3.3.3.2. Auswirkungen von Einschlägen in der Erdgeschichte	79
3.3.3.3. Möglichkeiten der Abwehr eines Meteoriten	84
3.3.4. Wahrscheinlichkeit eines Einschlags	85
3.3.5. Differenzen und Grenzen unterschiedlicher Quellen	96
3.4. Konsequenzen für die Behandlung im Unterricht	103

4. Schülerperspektiven zu Meteoriteneinschlägen	106
4.1. Pilotstudie	106
4.1.1. Ziel, Methodik und Verlauf der Untersuchung	106
4.1.2. Ergebnisse der Pilotstudie	107
4.1.2.1. Die kognitiven Vorstellungen der Schüler	107
4.1.2.2. Subjektive Gefahreinschätzung	110
4.1.2.3. Interesse der Schüler	112
4.1.2.4. Informationsquellen zu Meteoriteneinschlägen	114
4.2. Hauptstudie	116
4.2.1. Ziel und Design der Studie	116
4.2.2. Hypothesen	118
4.2.2.1. Hypothesen zum Bereich Vorstellungen	118
4.2.2.2. Hypothesen zum Bereich Interesse	122
4.2.3. Methodik	123
4.2.3.1. Quantitative Verfahren	123
4.2.3.1.1. Genereller Aufbau des Messinstruments	123
4.2.3.1.2. Instrument zur Erfassung von Vorstellungen	125
4.2.3.1.3. Instrument zur Erfassung des Interesses	128
4.2.3.1.4. Auswertungsverfahren	129
4.2.3.2. Qualitative Verfahren	132
4.2.3.2.1. Aufbau des Interview-Leitfadens	132
4.2.3.2.2. Auswertungsverfahren	134
4.2.4. Anmerkungen zur Durchführung	135
4.2.4.1. Quantitative Studie	135
4.2.4.2. Qualitative Studie	138
4.2.5. Ergebnisse der empirischen Studie	139
4.2.5.1. Ergebnisse der quantitativen Studie	139
4.2.5.1.1. Kognitive Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen	139
4.2.5.1.1.1. Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags	139
4.2.5.1.1.2. Geologische Zeitskala	145
4.2.5.1.2. Gefahreinschätzung von Meteoriteneinschlägen	150
4.2.5.1.3. Interesse am Thema Meteoriteneinschläge	157
4.2.5.1.4. Clusteranalyse und Typenbildung	165
4.2.5.1.5. Einfluss unabhängiger Variablen auf kognitive Vorstellungen	169
4.2.5.1.6. Quellen der Vorstellungen	172
4.2.5.2. Ergebnisse der qualitativen Studie	174
4.2.5.2.1. Interview Stephan	174
4.2.5.2.1.1. Stephans Fragebogen und Gesamteindruck im Interview	174
4.2.5.2.1.2. Geordnete Aussagen	175
4.2.5.2.1.3. Explikation	179
4.2.5.2.1.4. Strukturierung	180
4.2.5.2.2. Interview Luisa	182
4.2.5.2.2.1. Luisas Fragebogen und Gesamteindruck im Interview	182
4.2.5.2.2.2. Geordnete Aussagen	183
4.2.5.2.2.3. Explikation	185
4.2.5.2.2.4. Strukturierung	187
4.2.5.2.3. Interview Thorsten	188
4.2.5.2.3.1. Thorstens Fragebogen und Gesamteindruck im Interview	188
4.2.5.2.3.2. Geordnete Aussagen	189
4.2.5.2.3.3. Explikation	192
4.2.5.2.3.4. Strukturierung	194

4.2.5.2.4. Interview Beate	195
4.2.5.2.4.1. Beates Fragebogen und Gesamteindruck im Interview	195
4.2.5.2.4.2. Geordnete Aussagen	196
4.2.5.2.4.3. Explikation	198
4.2.5.2.4.4. Strukturierung	199
4.2.5.2.5. Interview Tamara	200
4.2.5.2.5.1. Tamaras Fragebogen und Gesamteindruck im Interview	200
4.2.5.2.5.2. Geordnete Aussagen	202
4.2.5.2.5.3. Explikation	204
4.2.5.2.5.4. Strukturierung	206
4.2.6. Zusammenführung und Diskussion der Ergebnisse	207
4.2.6.1. Komplementarität der quantitativen und qualitativen Analyse der Schülerperspektiven	207
4.2.6.2. Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der Analyse der Schülerperspektiven	209
4.2.7. Prüfung der Hypothesen	212
4.2.7.1. Hypothesen zum Bereich Schülervorstellungen	212
4.2.7.2. Hypothesen zum Bereich Interesse	216
5. Didaktische Strukturierung	218
5.1. Lehrplansituation	218
5.2. Kompetenzen und Lernziele	220
5.3. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Hauptstudie	223
5.4. CRATER-Simulation und Unterrichtsreihe	227
5.4.1. Einsatz der Materialien und der Simulation im Unterricht	227
5.4.2. Beschreibung der Materialien	231
6. Zusammenfassung und Ausblick	236
7. Summary – Zusammenfassung in Englisch	239
8. Literaturverzeichnis	240
9. Anhang	255

Abbildungsverzeichnis

Für eine leichtere Orientierung wird nicht zwischen Graphiken, Tabellen und Bildern unterschieden. Alle in den Fließtext eingebundenen Abbildungen sind durchgehend nummeriert.

ABBILDUNG 1: UNTERSCHIEDLICHE DEFINITIONEN ZENTRALER BEGRIFFE IN PHYSISCHER GEOGRAPHIE UND HUMANGEOGRAPHIE NACH KANWISCHER (2006)	18
ABBILDUNG 2: BASISKONZEPTE DER ANALYSE VON RÄUMEN IM FACH GEOGRAPHIE	20
ABBILDUNG 3: ANTAGONISMUS AUS STRUKTUREN UND INHALTEN DER FACHWISSENSCHAFT UND VORAUSSETZUNGEN DER SCHÜLER	24
ABBILDUNG 4: ZUSAMMENHÄNGE DER DREI ZENTRALEN EBENEN DIDAKTISCHEN ARBEITENS IM MODELL DER DIDAKTISCHEN REKONSTRUKTION	25
ABBILDUNG 5: ÜBERSICHT ÜBER STRÖMUNGEN DES KONSTRUKTIVISMUS NACH DIESBERGEN (2000)	27
ABBILDUNG 6: VORGEHENSWEISE ZUR FACHLICHEN KLÄRUNG	30
ABBILDUNG 7: SYSTEMATIK DER SCHÜLERPERSPEKTIVEN UND VORSTELLUNGS-MATRIX	31
ABBILDUNG 8: HIERARCHIE DER VORSTELLUNGEN NACH DEM GRAD DER KOMPLEXITÄT	34
ABBILDUNG 9: ÜBERBLICK ÜBER DEN IN PISA 2006 ERFASSTEN ERHEBUNGSBEREICH NATURWISSENSCHAFTEN	35
ABBILDUNG 10: NENNUNGEN VON KAUSALZUSAMMENHÄNGEN GEOLOGISCHER EREIGNISSE 17-JÄHRIGER SCHÜLER NACH TREND (2001B)	37
ABBILDUNG 11: BAUSTEINE DES KONZEPTS DER RISIKOEINSCHÄTZUNG NACH PLAPP (2003)	42
ABBILDUNG 12: EINSCHÄTZUNG DER GEFÄHRLICHKEIT VERSCHIEDENER RISIKEN NACH PLAPP (2003)	43
ABBILDUNG 13: INFORMATIONSQUELLEN ZUR BEURTEILUNG VON NATURRISIKEN NACH PLAPP/WERNER (2002)	45
ABBILDUNG 14: ORIGINALDATEN ZUR RISIKOEINSCHÄTZUNG FÜR AUSGEWÄHLTE THEMEN NACH BMU (2006)	46
ABBILDUNG 15: RISIKOEINSCHÄTZUNG FÜR AUSGEWÄHLTE THEMEN NACH BMU (2006) – TRANSPONIERT E DATEN	47
ABBILDUNG 16: THEMENGEBIETE UND KONTEXTE DER GEOWISSENSCHAFTLICHEN INTERESSENSFORSCHUNG	50
ABBILDUNG 17: DIE VIER INTERESSENTYPEN NACH OBERMAIER (1997)	53
ABBILDUNG 18: ÜBERSICHTSTABELLE ZUM INTERESSE AN VERSCHIEDENEN GEOGRAPHISCHEN THEMENFELDERN NACH OBERMAIER (1997)	54
ABBILDUNG 19: ITERATIVER ABLAUF DER FORSCHUNG IM MODELL DER DIDAKTISCHEN REKONSTRUKTION	56
ABBILDUNG 20: ENTWICKLUNGSVERLAUF DER LITERATUR ZU METEORITENEINSCHLÄGEN AUF DER ERDE	63
ABBILDUNG 21: WERTEBEREICHE VON DICHT E UND GESCHWINDIGKEIT FÜR ASTEROIDEN UND KOMETEN	69
ABBILDUNG 22: ABLAUF EINES METEORITENEINSCHLAGS - BEISPIEL DES NÖRDLINGER RIES	72
ABBILDUNG 23: GESAMTENERGIE UND KUMULATIVER ENERGIEINPUT VON ERDBEBEN, VULKANAUSBRÜCHEN UND IMPAKTEN IM VERGLEICH	74
ABBILDUNG 24: AUSWIRKUNGEN VON METEORITENEINSCHLÄGEN VERSCHIEDENER GRÖÖE AUF DER ERDE	76
ABBILDUNG 25: VERGLEICH DES 1908 DURCH DAS TUNGUSKA-EREIGNIS VERWÜSTETEN GEBIETS IN SIBIRIEN MIT WASHINGTON, D.C.	77
ABBILDUNG 26: MASSENSTERBEN IN DER ERDGESCHICHTE NACH CAMPBELL (1997)	80
ABBILDUNG 27: GLOBALE VERTEILUNG BEKANNTER IMPAKT-KRATER	83
ABBILDUNG 28: ANZAHL DER ENTDECKTEN NEOs PRO HALBJAHR	86

ABBILDUNG 29: ANZAHL DER BEKANNTEN ERDNAHEN ASTEROIDEN, STAND ENDE 2005.....	87
ABBILDUNG 30: ANZAHL DER BEKANNTEN ERDNAHEN ASTEROIDEN, STAND MITTE 2009.....	87
ABBILDUNG 31: DIE TURINER SKALA.....	88
ABBILDUNG 32: STATISTISCHE OPFERZAHLEN FÜR METEORITENEINSCHLÄGE	90
ABBILDUNG 33: STATISTIK ZU TODESURSACHEN IN DEN USA NACH NELSON (2006).....	91
ABBILDUNG 34: Einteilung von Risikotypen des WBGU (1998)	92
ABBILDUNG 35: DETAILKRITERIEN FÜR METEORITENEINSCHLÄGE NACH WBGU (1998)	94
ABBILDUNG 36: RISIKOTYPEN DES WBGU (1998)	95
ABBILDUNG 37: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN GRÖÖE DES METEORITEN UND IMPAKT- INTERVALL (KLEINERE EINSCHLÄGE)	97
ABBILDUNG 38: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN GRÖÖE DES METEORITEN UND IMPAKT- INTERVALL (GRÖÖERE EINSCHLÄGE)	98
ABBILDUNG 39: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER UNGEFÄHREN JÄHRLICHEN TODESRATEN VERSCHIEDENER EREIGNISSE NACH CHAPMAN (2002).....	100
ABBILDUNG 40: DESIGN DER VORSTUDIE ZU SCHÜLERVORSTELLUNGEN ÜBER METEORITENEINSCHLÄGE.....	106
ABBILDUNG 41: MITTELWERTE FÜR DIE EINSCHÄTZUNG DES INDIVIDUELLEN UND GLOBALEN GEFAHRENPOENZIALS (VORSTUDIE)	112
ABBILDUNG 42: MITTELWERTE FÜR DAS INTERESSE AN DER IMPAKT-THEMATIK (VORSTUDIE)	113
ABBILDUNG 43: ANZAHL DER NENNUNGEN FÜR EINZELNE INFORMATIONENQUELLEN ZUM THEMA METEORITENEINSCHLÄGE (VORSTUDIE).....	114
ABBILDUNG 44: DESIGN DER HAUPTSTUDIE ZU SCHÜLERPERSPEKTIVEN ÜBER METEORITENEINSCHLÄGE.....	116
ABBILDUNG 45: ÜBERBLICK ÜBER DEN AUFBAU DES FRAGEBOGENS.....	124
ABBILDUNG 46: WERTEBEREICHE FÜR DIE BEANTWORTUNG DER FRAGE NACH DER GEOLOGISCHEN ZEITSKALA.....	127
ABBILDUNG 47: THEMENGEBIETE UND KONTEXTE ZUM INTERESSE AN METEORITENEINSCHLÄGEN.....	128
ABBILDUNG 48: ITEMFORMULIERUNGEN ZUM BEREICH INTERESSE	129
ABBILDUNG 49: AUSWERTUNGSVERFAHREN FÜR DEN FRAGEBOGEN	131
ABBILDUNG 50: ÜBERSICHT ÜBER DIE AN DER HAUPTSTUDIE TEILNEHMENDEN BAYERISCHEN GYMNASIEN	136
ABBILDUNG 51: VERTEILUNG DER STICHPROBE (HAUPTSTUDIE) NACH ORTEN	136
ABBILDUNG 52: VERTEILUNG DER STICHPROBE (HAUPTSTUDIE) NACH KLASSENSTUFE	137
ABBILDUNG 53: ALTERSVERTEILUNG DER STICHPROBE (HAUPTSTUDIE)	137
ABBILDUNG 54: GESCHLECHTERVERTEILUNG DER STICHPROBE (HAUPTSTUDIE)	137
ABBILDUNG 55: VERTEILUNG DER INTERVIEWPARTNER NACH KLASSENSTUFE, GESCHLECHT UND SCHULORT (HAUPTSTUDIE)	138
ABBILDUNG 56: ERGEBNISSE DER MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN ZU KOGNITIVEN VORSTELLUNGEN (GESAMTSTICHPROBE).....	140
ABBILDUNG 57: ANZAHL DER VON SCHÜLERN GENANNEN KRATER AUF DER ERDE (GESAMTSTICHPROBE).....	142
ABBILDUNG 58: WESENTLICHE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE KRATERGRÖÖE	143
ABBILDUNG 59: ANZAHL DER VON SCHÜLERN GENANNEN EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE KRATERGRÖÖE (GESAMTSTICHPROBE)	143
ABBILDUNG 60: SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU AUSWIRKUNGEN EINES METEORITEN MIT 50 METERN DURCHMESSER, MULTIPLE-CHOICE-FRAGE (GESAMTSTICHPROBE).....	144
ABBILDUNG 61: SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU AUSWIRKUNGEN EINES METEORITEN MIT ZEHN KILOMETERN DURCHMESSER, MULTIPLE-CHOICE-FRAGE (GESAMTSTICHPROBE) ...	144
ABBILDUNG 62: NENNUNGEN ZUR RELATIVEN EINORDNUNG VON EREIGNISSEN IN DIE GEOLOGISCHE ZEITSKALA (GESAMTSTICHPROBE)	146

ABBILDUNG 63: ZEITANGABEN ZU EREIGNISSEN DER GEOLOGISCHEN ZEITSKALA: KOMPLEXITÄT (GESAMTSTICHPROBE)	146
ABBILDUNG 64: ZEITANGABEN ZU EREIGNISSEN DER GEOLOGISCHEN ZEITSKALA: NÄHE ZU WISSENSCHAFTLICHEN KONZEPTEN (GESAMTSTICHPROBE)	147
ABBILDUNG 65: ZEITANGABEN ZU EREIGNISSEN DER GEOLOGISCHEN ZEITSKALA: NÄHE ZU WISSENSCHAFTLICHEN KONZEPTEN (DIFFERENZIERUNG NACH KLASSENSTUFE)	148
ABBILDUNG 66: ZEITANGABEN ZU EREIGNISSEN DER GEOLOGISCHEN ZEITSKALA: NÄHE ZU WISSENSCHAFTLICHEN KONZEPTEN (DIFFERENZIERUNG NACH GESCHLECHT)	148
ABBILDUNG 67: SCHWIERIGKEITEN UND TRENNSCHÄRFE DER ITEMS DER SKALA GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (GESAMTSTICHPROBE)	150
ABBILDUNG 68: ERGEBNISSE ZUM BEREICH GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (GESAMTSTICHPROBE)	151
ABBILDUNG 69: ERGEBNISSE ZUR GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (KLASSE 5)	152
ABBILDUNG 70: ERGEBNISSE ZUR GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (KLASSE 11)	153
ABBILDUNG 71: ERGEBNISSE DES BEREICHS GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (VERGLEICH NACH KLASSENSTUFE JE ITEM)	154
ABBILDUNG 72: ERGEBNISSE ZUR GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (MÄDCHEN)	155
ABBILDUNG 73: ERGEBNISSE ZUR GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (JUNGEN)	156
ABBILDUNG 74: ERGEBNISSE DES BEREICHS GEFAHRENEINSCHÄTZUNG (VERGLEICH NACH GESCHLECHT JE ITEM)	157
ABBILDUNG 75: SCHWIERIGKEITEN UND TRENNSCHÄRFE DER ITEMS DER INTERESSENSSKALA (GESAMTSTICHPROBE)	158
ABBILDUNG 76: ERGEBNISSE ZU DEN ITEMS DES BEREICHS INTERESSE (GESAMTSTICHPROBE)	159
ABBILDUNG 77: ERGEBNISSE ZU THEMENGEBIETEN UND GESAMTSKALA DES BEREICHS INTERESSE (GESAMTSTICHPROBE)	160
ABBILDUNG 78: ERGEBNISSE ZU THEMENGEBIETEN UND GESAMTSKALA DES BEREICHS INTERESSE (KLASSE 5)	161
ABBILDUNG 79: ERGEBNISSE ZU THEMENGEBIETEN UND GESAMTSKALA DES BEREICHS INTERESSE (KLASSE 11)	162
ABBILDUNG 80: ERGEBNISSE DES BEREICHS INTERESSE (VERGLEICH NACH KLASSENSTUFE JE ITEM)	163
ABBILDUNG 81: GESCHLECHTERDIFFERENZEN BEIM INTERESSE AN METEORITENEINSCHLÄGEN (GESAMTSTICHPROBE)	164
ABBILDUNG 82: DENDROGRAMM ALS ERGEBNIS DER HIERARCHISCHEN CLUSTERANALYSE (GESAMTSTICHPROBE)	165
ABBILDUNG 83: DIE VORSTELLUNGS-MATRIX ALS ERGEBNIS DER CLUSTERZENTRENANALYSE (GESAMTSTICHPROBE)	166
ABBILDUNG 84: CHARAKTERISIERUNG DER TYPEN DURCH ERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER ITEMS	167
ABBILDUNG 85: CHARAKTERISIERUNG DER VORSTELLUNGS-TYPEN	169
ABBILDUNG 86: KORRELATIONEN DER CLUSTER MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN (GESAMTSTICHPROBE)	170
ABBILDUNG 87: KORRELATIONEN DER CLUSTER MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN (KLASSE 5)	170
ABBILDUNG 88: KORRELATIONEN DER CLUSTER MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN (KLASSE 11)	171
ABBILDUNG 89: KORRELATIONEN DER CLUSTER MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN (MÄDCHEN)	171
ABBILDUNG 90: KORRELATIONEN DER CLUSTER MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN (JUNGEN)	172
ABBILDUNG 91: QUELLEN DER VORSTELLUNGEN ÜBER METEORITENEINSCHLÄGE (GESAMTSTICHPROBE)	173

ABBILDUNG 92: ALTERSANGABEN ZU GEOLOGISCHEN UND HISTORISCHEN EREIGNISSEN DURCH STEPHAN	174
ABBILDUNG 93: INTERESSE DER SCHÜLERIN LUISA AN DER IMPAKT-THEMATIK	182
ABBILDUNG 94: ALTERSANGABEN ZU GEOLOGISCHEN UND HISTORISCHEN EREIGNISSEN DURCH THORSTEN	188
ABBILDUNG 95: INTERESSE DER SCHÜLERIN BEATE AN DER IMPAKT-THEMATIK	195
ABBILDUNG 96: ALTERSANGABEN ZU GEOLOGISCHEN UND HISTORISCHEN EREIGNISSEN DURCH TAMARA.....	201
ABBILDUNG 97: INTERESSE DER SCHÜLERIN TAMARA AN DER IMPAKT-THEMATIK.....	201
ABBILDUNG 98: EINORDNUNG DER INTERVIEWPARTNER IN DIE VORSTELLUNGS-MATRIX....	208
ABBILDUNG 99: VORSTELLUNGS-TYPEN AUS DER ANALYSE DER INTERVIEWS MIT KERNKONZEPTEN	208
ABBILDUNG 100: CHARAKTERISIERUNG DER VORSTELLUNGS-TYPEN MIT UNABHÄNGIGEN VARIABLEN	213
ABBILDUNG 101: STUNDENBESCHREIBUNGEN DER UNTERRICHTSEINHEIT	228
ABBILDUNG 102: EINGABEMASKE FÜR DIE CRATER-SIMULATION	233
ABBILDUNG 103: 3-D-SIMULATION EINES IMPAKTS MIT CRATER 1.2	234

Vorwort

Meteoriteneinschläge sind ein faszinierender Aspekt der Geschichte des Planeten Erde – eine interdisziplinäre Thematik, die jedoch nur selten in Lehrplänen ausführliche Erwähnung erfährt. Allerdings ist das kosmische Bombardement der Erde ein nicht zu vernachlässigendes Thema der aktuellen geowissenschaftlichen Diskussion und fasziniert zudem durch die Kombination von Unwahrscheinlichkeit und erheblichem Schadenspotenzial. Keine andere Naturkatastrophe kann in so kurzer Zeit eine derartige Energie und Zerstörungskraft freisetzen.

Es besteht also eine offensichtliche Diskrepanz zwischen fachwissenschaftlichen Implikationen und der Unterrichtspraxis. Dieser Widerspruch war Anlass für eine Staatsexamensarbeit zur didaktischen Umsetzung der Impakt-Thematik im Geographieunterricht. Aus persönlicher Sicht hätte das Thema nach der im Jahr 2004 durchgeführten kleineren Arbeit (die hier als Pilotstudie Verwendung findet) als erledigt angesehen werden können – jedoch waren die Aussagen der fachwissenschaftlichen Literatur zu den Auswirkungen von Impakten auf der Erde derart aufrüttelnd, dass eine Überprüfung der Aussagen Klärung bringen sollte. Die daraufhin durchgeführten Experteninterviews bestätigten das Bild von Meteoriteneinschlägen als relevantes und ernst zu nehmendes Naturrisiko – sogar dergestalt, dass die Frage nach einer stärkeren Berücksichtigung in der Schule und der notwendigen didaktischen Umsetzung wieder in den Fokus wanderte. Hierbei trat für mich der Schülerspekt¹ besonders in den Vordergrund, denn die Kenntnis von Vorstellungen und Interessenslage von Seiten der Schüler hat erheblichen Einfluss auf Umfang, Methode und Qualität der Behandlung im Unterricht.

Mein Dank gilt zuerst Frau Prof. Dr. Ingrid Hemmer für die engagierte Betreuung der vorliegenden Arbeit. Weiterhin danke ich Frau Prof. Dr. Sibylle Reinfried für die Übernahme der Zweitkorrektur. Herr Prof. Dr. Stephan Diehl hat durch seine fortlaufende Kooperation wesentlich zur Verbesserung der CRATER-Simulation beigetragen.

Ohne die Unterstützung der an den beteiligten Schulen unterrichtenden Lehrkräfte hätte die Untersuchung nicht durchgeführt werden können, weshalb ich mich auch bei ihnen bedanken möchte. Ebenso gilt es, den Schülern für das Ausfüllen der Fragebögen und die Bereitschaft zum Interview Dank zu zollen.

Das Rieskratermuseum Nördlingen hat durch seine kontinuierliche Kooperation viel zur Verbesserung der CRATER-Simulation beigetragen.

Meiner gesamten Familie, insbesondere meiner Lebensgefährtin Vanessa Engelken, gilt der abschließende Dank für die über vierjährige Unterstützung bei der Gestaltung dieses Projekts.

¹ Für eine bessere Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit im Folgenden die männliche Form gewählt. Es wird darauf hingewiesen, dass selbstverständlich damit auch weibliche Beteiligte einbezogen sind.

1. Einleitung

1.1. Ziel und Aufbau der Arbeit

Spätestens seit dem Deutschen Geographentag 2007 in Bayreuth, der unter dem Motto ‚Umgang mit Risiken - Katastrophen, Destabilisierung, Sicherheit‘ stand, hat die Beschäftigung mit dem Themenkomplex Naturkatastrophen, Georisiken und Gefahren wieder einen zentralen und integrierenden Platz in der Geographie eingenommen – in Forschung, Schule und Praxis. Meteoriteneinschläge sind dabei ein Teilbereich im umfassenden Themenfeld ‚Naturrisiko‘. Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Weg für eine adäquate Behandlung der Impakt-Thematik im Geographieunterricht vorzubereiten.

Bevor das in der Geographiedidaktik bereits etablierte Modell der ‚Didaktischen Rekonstruktion‘ für das Thema Meteoriteneinschläge Anwendung findet, wird im ersten, einleitenden Kapitel auf die Bedeutung des Themas im Rahmen der Erziehungswissenschaft, Naturwissenschaftsdidaktik sowie der Geographie und ihrer Didaktik eingegangen. Es soll Gegenstand dieser Analyse sein, welche Fach- und Bildungsrelevanz die Impakt-Thematik besitzt und welchen *„Beitrag zum Verständnis von Mensch, Gesellschaft, Kultur und Natur“*² sie leisten kann.

Die Didaktische Rekonstruktion bildet einen integrierenden Rahmen, in dem die Analyse der fachwissenschaftlichen Konzepte, die Erfassung und Auswertung von Schülerperspektiven und die praktische, unterrichtliche Gestaltung zu einem iterativen Prozess verbunden werden. Dieses Modell soll im zweiten Kapitel als Grundlage für die theoretischen Überlegungen dienen.

Das dritte Kapitel bietet einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand zum Thema Meteoriteneinschläge, da die Erde als offenes System wiederholt einschneidenden kosmischen Einflüssen ausgesetzt ist. Im Zentrum der Betrachtung stehen dabei wissenschaftlichen Konzepte zu Ablauf und Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen sowie die Einschätzungen zu Wahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial eines Einschlags heute. Die wissenschaftlichen Konzepte zum Thema Meteoriteneinschläge können nur bedingt durch die Analyse vorhandener Fachliteratur erfasst werden. Für eine adäquate Behandlung des Themas im Schulunterricht ist jedoch eine aktuelle fachwissenschaftliche Perspektive unerlässlich. Daher wurden zusätzlich Experten interviewt, die sich im Rahmen ihrer Tätigkeit mit der Impakt-Thematik auseinandergesetzt haben.

Die Analyse der fachwissenschaftlichen Vorstellungen steht aber nicht für sich alleine, sondern ist eingebunden in die Erfassung und Berücksichtigung der Lernerperspektiven. Darunter können neben Vorstellungen auch das Interesse und die subjektive Gefahreneinschätzung verstanden werden. Um die Vorstellungen der Schüler sowohl in ihrem Zusammenhang mit Interesse und Gefahreneinschätzung als auch in ihrer komplexen Detailstruktur zu erfassen, werden quantitative und qualitative Methoden verwendet. Um Aussagen zur Gestaltung des Themas im Unterricht treffen zu können, werden damit auch die von den Schülern mitgebrachten Voraussetzungen in die Untersuchung miteinbezogen und im vierten Kapitel vorgestellt.

² BIRKENHAUER, J. (2008) *Geodidaktik: Stand und Systematik*. In: Geographie und ihre Didaktik 36, Heft 2, S. 93

Der eigentliche Zielpunkt der Didaktischen Rekonstruktion – die Anwendung der theoretischen und empirischen Ergebnisse für die unterrichtliche Strukturierung – wird im fünften Kapitel auf eine konkrete Ebene gebracht, indem eine bereits aus der Pilotstudie vorhandene Unterrichtseinheit zum Thema Meteoriteneinschläge überprüft und optimiert sowie die online verfügbare CRATER-Simulation mit Hilfe der empirischen Ergebnisse weiter verbessert wird.

1.2. Die Relevanz der Impakt-Thematik für Forschung und Unterricht

*„In the light of the devastating Asian tsunami of December 2004, the time is clearly ripe for taking stock of the global risk portfolio, from terror to tsunami and from climate change to CAI.“*³

1.2.1. Begründungszusammenhang im Rahmen der Geographie und ihrer Didaktik

Die Geographie sieht sich als Forschungsdisziplin und Unterrichtsfach konfrontiert mit globalen und regionalen gesellschaftlichen Schlüsselproblemen. Diese werden allgemein vom gesellschaftlichen und politischen, seltener vom wissenschaftlichen Diskurs bestimmt. ENGELHARD (1997)⁴ gibt in seinem Artikel zu den erziehungswissenschaftlichen Grundlagen des Faches als globale Gefährdungspotenziale die Bevölkerungsexplosion, inter- und innergesellschaftliche Disparitäten, die Umweltkrise, sowie die atomaren Zerstörungspotenziale an⁵. Die Liste ließe sich fortführen durch die Krise der sozialen Sicherungssysteme in den westlichen Demokratien und spätestens seit dem 11.09.2001 durch den internationalen Terrorismus. Die Geographie als integrative Wissenschaft könne nicht nur die Mehrzahl jener Schlüsselprobleme vorstellen, sondern auch notwendige Schlüsselqualifikationen⁶ zu deren Lösung vermitteln.

SCHMIDT-WULFFEN (1994)⁷ gibt in seinem Aufsatz eine Auflistung von Schlüsselproblemen für einen zukünftigen Geographieunterricht an, die folgende Themen umfasst:

- Völkerverständigung und Friedenssicherung,
- Verwirklichung von Menschenrechten,
- Herrschaft und Demokratisierung,
- Soziale Ungerechtigkeit,
- Geschlechter- und Generationenverhältnis,
- Umgang mit Minderheiten,
- Arbeit,
- Umwelterhaltung,
- Sucht, Aggression und Gewalt,
- Massenmedien und Alltagskultur,
- Globale Ungleichheiten.⁸

³ MCGUIRE, W. J. (2007) *The GGE Threat: Facing and Coping with Global Geophysical Events*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 137; CAI steht für Comet Asteroid Impact

⁴ ENGELHARD, K. (1997) *Erziehungswissenschaftliche Grundlagen des Unterrichtsfaches*. In: HAUBRICH, H. et al. (1997) *Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 30-35; da dieses Kapitel in der Neufassung HAUBRICH (2006) nicht mehr erscheint, muss auf die ältere Ausgabe zurück gegriffen werden

⁵ ENGELHARD (1997) S. 30

⁶ ENGELHARD (1997) S. 30

⁷ SCHMIDT-WULFFEN, W. (1994) „Schlüsselprobleme“ als Grundlage zukünftigen Geographieunterrichts. In: Schultze, A. (Hrsg.) (1996) 40 Texte zur Didaktik der Geographie. Gotha. S. 340-347.

⁸ SCHMIDT-WULFFEN (1994) S. 343

SCHMIDT-WULFFEN (1994) lässt seine Auswahl auf KLAFKIs epochaltypischen Problemen basieren (siehe hierzu Kapitel 1.2.2) und zeigt daher dieselbe anthropozentrische Ausrichtung. Bereits bei einem heute zentralen Thema wie dem Klimawandel fällt die Einordnung in die Schlüsselprobleme schwer und die genannte Liste wurde daher auch immer wieder verändert: „Der Ost-West-Konflikt ist entfallen, das Problem von Sucht-Aggression-Gewalt [...] ist hingegen aufgenommen worden. Es scheint Anfang der 80er Jahre noch nicht als brennendes Problem erkannt worden zu sein.“⁹. Anscheinend werden auch die nicht-anthropogenen Risiken in der Diskussion um die Schlüsselprobleme im Geographieunterricht noch immer nicht erkannt. Eine erste Öffnung weg von einer rein anthropozentrischen Sichtweise zeigt FALK (2006) in seiner Synthese geographischer Ansätze: „Im Blickpunkt der geographischen stehen neben der Grundlagenforschung in den Einzeldisziplinen zentrale Lebens- und Überlebensfragen der Menschheit, denen sich das Fach aufgrund seiner Struktur multiperspektivisch widmen kann“¹⁰.

Der Mensch steht einem kosmischen Gefährdungspotenzial gegenüber, das lokale, regionale oder gar globale Auswirkungen haben kann. Die Nichtexistenz eines Impakts im kollektiven Geschichtsbewusstsein oder in der aktuellen politischen Diskussion¹¹ verändert nicht das objektiv vorhandene Risiko eines Einschlags – dies belegt auch MORRISONs (1997b)¹² Formulierung:

„We discuss the probability of a large impact, but in reality this is not a Las Vegas game of chance. Either there is an object out there headed for the Earth or there is not.“¹³

Weiterhin sollte die Aussage Rusty SCHWEICKHARDTs, eines ehemaligen Apollo-Astronauten, die Menschheit sei zu sehr an dem interessiert, was sie sich selbst antun könne, als an den Gefahren durch die Natur, speziell die Geographie als Wissenschaft mit einer Schnittstelle zu den Naturwissenschaften aufhören lassen¹⁴. Dass die potenziellen Folgen eines Einschlags denen eines nuklearen Schlagabtauschs gleichen oder darüber hinausgehen können, fügt dem nur eine weitere Nuance hinzu – dies ist vor allem in der Diskussion um die politische und gesellschaftliche Reaktion auf die Gefährdung durch Impakte zu beachten. Die Legitimation der Inhalte der Geographie, sie vermittele jene „Qualifikationen, die den Menschen befähigen mit seinem Lebensraum und der Erde als Ganzem ökologisch und sozial verantwortlich umzugehen“¹⁵, kann und muss daher auch auf die Impakt-Problematik ausgedehnt werden.

Aus fachwissenschaftlicher Sicht könnte man formulieren, ein Meteorit durchschlage buchstäblich die klassische Systematik der Geographie: zum einen gilt dies für die

⁹ SCHMIDT-WULFFEN (1994) S. 343

¹⁰ FALK, G. C. (2006) *Synthese geographischer Ansätze*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 44

¹¹ Zumindest in Deutschland wird der Diskurs noch nicht in der notwendigen Intensität geführt; der Einsatz des US-Kongressabgeordneten Dana ROHRABACHER für eine intensivere Forschung zur Abwehr von Meteoriten verweist auf die Führungsrolle der USA in dieser Thematik

¹² MORRISON, D. (1997b) *Impacts and Live: Living in a risky planetary system*. In: TERZIAN, Y. und BILSON, E. (Hrsg.) (1997) *Carl Sagan's Universe*. Cambridge. S. 75-87.

¹³ MORRISON (1997b) S. 82

¹⁴ „Wir Menschen sind zu wenig an dem interessiert, was die Natur uns antun kann, und zu viel an dem, was Menschen sich antun“ in: SÜDDEUTSCHE ZEITUNG (2007) *Gefahr aus dem Weltraum - Schüsse aus der Finsternis*.

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/artikel/783/103680/article.html> (Zugang August 2007).

¹⁵ ENGELHARD (1997) S. 30

Polarität aus Naturgeographie und Humangeographie; zum anderen wird auch die Sphäreneinteilung der Erde von einem großen Impakt in allen Teilen berührt. Beide Punkte sollen im Folgenden näher erläutert werden.

Die Geographie stellt mit ihrer Spaltung in einen naturwissenschaftlich orientierten und einen auf der Methodik der Sozialwissenschaften aufbauenden Teil eine Sonderstellung im Feld der Wissenschaften dar¹⁶. Das von UHLIG (1970)¹⁷ vorgestellte System der Geographie dokumentiert die Trennung in einzelne Fachdisziplinen und ist trotz heftiger Kritik in nahezu allen Lehrbüchern der Geographie vorzufinden¹⁸. UHLIG (1970) sieht die Geographie unterteilt in die nomothetischen Komplex-Analysen der Physischen Geographie und Anthropogeographie sowie die idiographischen regionalen Darstellungen der integrierten Landschaftsgeographie; Integration und Interrelationen finden auf der vertikalen Ebene statt, während Natur- und Kulturgeographie auf der horizontalen Ebene eine relativ deutliche Trennung aufweisen¹⁹.

Übernimmt man trotz der Einsprüche diese Systematik und startet den Versuch, Meteoriteneinschläge als Thematik darin zu integrieren, fällt unausweichlich der interdisziplinäre – und damit auf der horizontalen Ebene integrierende – Charakter dieses Phänomens auf: es bestehen Anknüpfungspunkte in der Humangeographie bei folgenden Themen:

- Auswirkungen eines Einschlags auf städtische oder ländliche Räume,
- Auswirkungen eines Einschlags auf Infrastruktur und soziale Systeme auf staatlicher und internationaler Ebene,
- Auswirkungen eines Einschlags auf derzeitige globale Wirtschaftsstrukturen,
- Folgeschäden eines Einschlags, vor allem in Industrienationen²⁰,
- Individuelle Reaktionen von Betroffenen abhängig von kulturellem und sozialem Umfeld,
- Nationale Bemühungen und internationale Kooperationen zur Abwehr von Einschlägen.

Weiterhin bestehen Anknüpfungspunkte zur Naturgeographie durch folgende Themen:

- Geographische Verteilung von Kratern auf der Erdoberfläche, dabei Ozeanböden einschließend,
- Neue Methoden zur Entdeckung bisher unbekannter Krater (z.B. satellitengestützte Untersuchungen),
- Geologische Beschaffenheit eines Einschlagsorts,
- Auswirkungen eines großen Einschlags auf Atmosphäre und Hydrosphäre,
- Auswirkungen eines Einschlags auf die Biosphäre, bis hin zu Massensterben,
- Vergleich der Folgen mit der aktuellen Global Change Problematik²¹,

¹⁶ HAGGETT, P. (1991) *Geographie. Eine moderne Synthese*. Stuttgart.

¹⁷ UHLIG, H. (1970) *Organisationsplan und System der Geographie*. In: *Geoforum* 1. S.19-52.

¹⁸ So auch in HAGGETT (1991) S. 748; HAGGETT verwendet jedoch ein zusätzliches Modell zum integrativen Ansatz; kritisch anzumerken ist, dass die Geographiedidaktik in keinem Entwurf auftaucht

¹⁹ UHLIG (1970) S. 28

²⁰ Siehe hierzu ausführlich FRANKE, M.R. (2001) *Der Impakt eines Asteroiden in Mitteleuropa. Eine Analyse der Auswirkungen des Impakts eines Near-Earth-Objects auf Nuklearkraftwerke und Anlagen der Großchemie sowie die Folgen für Mensch und Umwelt*. Berlin.

²¹ Vergleiche hierzu ERNST, W.G. (2000) *Earth Systems. Processes and Issues*. Cambridge.

- Übertragung von physiogeographischen Kenntnissen auf andere Himmelskörper (vor allem Mond, Mars, Venus) und vice versa,
- Erforschung von Einschlägen in der Vergangenheit,
- Prognose von Konsequenzen eines Einschlags bei bekanntem Impaktor,
- Vergleich der Folgen mit anderen Naturkatastrophen, so z.B. Erdbeben und Vulkanausbrüchen,
- Vergleich eines Einschlags mit einem nuklearen Schlagabtausch,
- Abwehrmöglichkeiten eines Impaktors.

Die Systematik UHLIGs wurde vor allem auf Grund der Kritiken aus der Metawissenschaftstheorie²² durch das Sphärenkonzept ersetzt. Die Geosphäre (bzw. Geobiosphäre) soll das Erkenntnisobjekt der Geographie sein. Während die horizontale Ausdehnung durch die Erdgestalt fest vorgegeben ist, ist die vertikale Erstreckung nicht genau definiert. Die Geographie hat im Laufe der Zeit die vertikale Dimension so weit eingeschränkt, so dass vor allem die Bereiche, in denen mehrere Geofaktoren zusammenwirken, als ihr Gegenstand betrachtet werden (z.B. Abtragungsprozesse als Zusammenwirken von Faktoren der Hydro-, Pedo- und Biosphäre). Damit werden jedoch Ereignisse, die ihre Genese außerhalb dieser Sphären haben, noch nicht ausreichend beachtet. Meteoriten sind zwar nicht Teil der Geosphäre, wirken aber auf sie im Moment des Eintretens in die Atmosphäre. Deshalb ist es auch angebracht, nicht von einem Georisiko, sondern von einem Naturrisiko zu sprechen.

Da Einschlagskrater eine Oberflächenform der Erde darstellen, sei besonders darauf verwiesen, dass auch die Geomorphologie an ihnen Interesse zeigen sollte. Die Geomorphologie beschäftigt sich nach AHNERT (2003) mit den „*Formen der festen Erdoberfläche*“²³. Somit besteht per definitionem ein Zusammenhang mit den durch Impakte geformten Landschaften. Doch selbst die moderne, quantitativ arbeitende Geomorphologie erwähnt diesen Zusammenhang nicht. So findet sich weder in AHNERT (2003), noch in SUMMERFIELD (2000)²⁴ – beides Standardwerke der Geomorphologie – ein Hinweis auf Meteoritenkrater.

AHNERT (2003) beschreibt einen Zusammenhang von Existenzdauer und Formengröße: „*Trotz ihres Mangels an Präzision bietet die Formengrößen-Existenzdauer-Regel eine nützliche Orientierung für die praktische geomorphologische Arbeit. Sie zeigt, dass es für die geomorphologische Untersuchung jedes Formtyps einen spezifischen räumlichen und zeitlichen Maßstab mit einem spezifischen räumlichen und zeitlichen Auflösungsgrad gibt.*“²⁵ Da er auch implizit einen Zusammenhang zwischen Formungsdauer und Größe herstellt (je größer eine Struktur ist, desto mehr Zeit benötigt ihre Entstehung), müssten Meteoritenkrater entgegen der Schätzungsgleichung als große, jedoch schnell entstehende Oberflächenformen in die Formengrößen-Existenz-Regel eingefügt werden. Zwar weist er in seinen Ausführungen auf die Ungenauigkeiten seines Ansatzes hin, erwähnt jedoch nicht die Meteoritenkrater, die diesem Zusammenhang widersprechen²⁶.

Die klassische Geomorphologie scheint hier noch immer dem zentrale Paradigma der Geowissenschaften – dem Aktualismus – verhaftet zu sein, obwohl sich in der Mutterwissenschaft dieser Grundannahme – der Geologie – bereits ein Paradigmenwechsel vollzogen hat (siehe Kapitel 3.1.2).

²² LESER/SCHNEIDER-SLIWA (1999) S. 56

²³ AHNERT (2003) *Einführung in die Geomorphologie*. Stuttgart.

²⁴ SUMMERFIELD, M.A. (2000) *Geomorphology and Global Tectonics*. Chichester/England.

²⁵ AHNERT (2003) S. 16

²⁶ AHNERT (2003) S. 15

Dass die Auseinandersetzung zu Risiken, Gefahren und Katastrophen ein Kernthema der Geographie darstellt, belegt die intensive Diskussion auf dem Deutschen Geographentag 2007 in Bayreuth unter dem Motto ‚Umgang mit Risiken - Katastrophen, Destabilisierung, Sicherheit‘ über den zentralen und integrierenden Charakter der Risiko-Thematik innerhalb der Geographie. Dabei ging DIKAU (2008) in seinem Vortrag auf die Unterscheidung der drei Kernbegriffe ein und verweist mit seiner Aussage, dass *„Naturkatastrophen in einen größeren gesellschaftlichen Zusammenhang gestellt werden müssen und nicht nur das einzelne Naturereignis im Vordergrund stehen darf [...]“*²⁷ auf die Interdisziplinarität der Hazardforschung, die sowohl die physisch-geographischen Gegebenheiten wie die humangeographische Seite betrachten muss. Denn der *„Mensch und seine Wahrnehmung spielen dabei eine zentrale Rolle. Erst seine Anwesenheit und sein Verhalten machen ein Naturereignis zur Katastrophe.“*²⁸

Dabei sind zentrale Begriffe – so etwa (Geo-)Risiko und (Natur-)Katastrophe – weiterhin Gegenstand terminologischer Auseinandersetzungen, die auch im Kern des janusköpfigen Charakters der Geographie selbst angelegt sind. Dennoch wird in dieser Arbeit bewusst auch der Begriff Katastrophe Verwendung finden – denn Meteoriteneinschläge entsprechen durchaus der Definition einer Katastrophe nach DIKAU (2008). Danach kann von einer Katastrophe gesprochen werden, wenn *„ein Ereignis jedweden Typs in einer menschlichen Gesellschaft auftritt und hier derart große Störungen verursacht, dass das gesellschaftliche System nicht mehr in der Lage ist, die Folgen dieses Ereignisses aus eigener Kraft zu beheben, d.h. dass sie auf die Hilfe der Umwelt angewiesen ist.“*²⁹ In Anlehnung an PLAPP (2002)³⁰ kann auch das Kompositum Naturkatastrophe weiterhin angewendet werden, denn in ihrer Arbeit *„wird trotz einiger Gegenargumente der Begriff Naturkatastrophen bewusst aus zwei Gründen beibehalten werden: erstens werden Ereignisse wie Stürme, Erdbeben, etc. in der Öffentlichkeit und bei den Betroffenen als „Naturkatastrophen“ wahrgenommen [...] Zweitens sind Stürme, Hochwasser und Erdbeben „alte“ Extremereignisse, mit denen die Menschheit schon immer konfrontiert war und die auch ohne jegliche menschliche Eingriffe in die Natur oder Umwelt und ohne technische Entwicklung auftreten.“*³¹

RENN/SCHWEIZER/DREYER/KLINKE (2007)³² zeigen ausführlich die Unterschiede verschiedener Risikodefinitionen auf (technische Risikoanalyse, wissenschaftliche Sichtweise, psychologische Perspektive, gesellschafts- und kulturwissenschaftliche Sicht) und sehen den Ansatz der postmodernen Konstruktion der Wirklichkeit durchaus kritisch: *„Reale Ereignisse schaffen auch Evidenzen, die nicht durch soziale Konstruktionen hinweginterpretiert werden können, zumindest nicht auf Dauer.“*³³ Weiterhin problematisieren sie die Polarisierung in objektivistische und konstruktivistische Theorien: *„Weder kann Risiko allein als gesellschaftliches*

²⁷ DICKAU, R. (2008) *Katastrophen – Risiken – Gefahren. Herausforderungen für das 21. Jahrhundert*. In: DGfG (2008) *Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit*. Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth. Herausgegeben von Elmar Kulke und Herbert Popp. Bayreuth, Berlin. S. 47

²⁸ DIKAU (2008) S. 47

²⁹ DIKAU (2008) S. 50

³⁰ PLAPP, S.T. (2003) *Wahrnehmung von Risiken aus Naturkatastrophen. Eine empirische Untersuchung in sechs gefährdeten Gebieten Süd- und Westdeutschlands*. Dissertation. Karlsruhe.

³¹ PLAPP (2003) S. 62

³² RENN, O., SCHWEIZER, P.-J., DREYER, M. und KLINKE, A. (2007) *Risiko- über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. München.

³³ RENN/SCHWEIZER/DREYER/KLINKE (2007) S. 56

*Konstrukt noch als reales Phänomen betrachtet werden. [...] Menschen sterben oder werden verletzt unabhängig von den sozialen Konstruktionen der jeweiligen Gefahr. [...] Erst die Integration von technischer und sozialer Risikoanalyse kann beiden Aspekten gerecht werden.*³⁴ Von verschiedener Seite wird dem Geographieunterricht eine Überwindung dieser Dichotomie zugesprochen. Daher soll in dieser Arbeit das für die Disziplin Geographie ungewöhnliche – deshalb jedoch nicht weniger relevante – Feld der Meteoriteneinschläge angesprochen werden und auf seine didaktische Relevanz und Umsetzbarkeit hin untersucht werden.

KANWISCHER (2006)³⁵ wiederum zeigt, dass die konkrete Umsetzung einer integrativen Forschungskonzeption im Mensch-Umwelt-Paradigma komplexer ist, als angenommen. Dabei wird schnell deutlich, dass sich mit der Physischen Geographie und der Humangeographie zwei unterschiedliche epistemologische Systeme gegenüberstehen; KANWISCHER greift auf einen Aufsatz von POHL/GEIPEL (2002) zurück, in dem die erkenntnistheoretischen Differenzen deutlich genannt werden: *„Die modernen Physischen Geographen sind i.d.R. Naturwissenschaftler und folgen dem logischen Positivismus. Eine konstruktivistische erkenntnistheoretische Position, [...] die in der Humangeographie immer mehr an Boden gewinnt, ruft bei Naturwissenschaftlern vielfach Kopfschütteln hervor, sodass Kommunikationsprobleme entstehen.“*³⁶ Auch hier werden zentrale Unterschiede bei den Kernbegriffen ‚Naturgefahr‘ und ‚Naturrisiko‘ gesehen (siehe Abbildung 1).

	Physische Geographie	Humangeographie
Naturgefahr	„So versteht die Physische Geographie grundsätzlich unter „Gefahr“ eher die potenzielle Möglichkeit, dass ein Prozess sich so entwickelt, dass das labile Gleichgewicht in diesem Bereich der Natur kippt.“ (S. 5)	„Die Humangeographie versteht unter Gefahr hingegen eher das verborgene Unheil, das plötzlich aus der Natur auf die Menschheit hervorbricht wie der Tiger aus dem Dschungel.“ (S. 5)
Naturrisiko	„Der Risikobegriff der Physischen Geographie bezieht sich auf etwas Objektives, auf das der Mensch keinen – oder nur geringen – Einfluss hat.“ (S. 5)	„Der Risikobegriff der Humangeographie zielt auf die Rolle des Menschen oder der Gesellschaft, wo Entscheidungen getroffen werden, die riskant sind.“ (S. 5)

Abbildung 1: Unterschiedliche Definitionen zentraler Begriffe in Physischer Geographie und Humangeographie nach KANWISCHER (2006)³⁷

³⁴ RENN/SCHWEIZER/DREYER/KLINKE (2007) S. 61-62

³⁵ KANWISCHER, D. (2006) *Der Doppelcharakter der Geographie und andere Katastrophen nebst einigen Bemerkungen zur fachdidaktischen Umsetzung*. In: Horst, U., Kanwischer, D. und Stratenwerth, D. (Hrsg.) (2006) *Die Kunst sich einzumischen. Vom vielfältigen und kreativen Wirken des Geographen Tilman Rhode-Jüchtern. Von Freunden und Weggefährten zum 60. Geburtstag zugeeignet*. Berlin. S. 127-142.

(Internetquelle: www.geographische-revue.de/archiv/kanwisch.pdf, Zugang Mai 2008). Seitenangaben nach der digitalen Ausgabe

³⁶ POHL, J. und GEIPEL, R. (2002) *Naturgefahren und Naturrisiken*. In: Geographische Rundschau 54, Heft 1, S. 4

³⁷ Nach KANWISCHER (2006) S.5, zusammengefasst nach POHL/GEIPEL (2002) S.5

KANWISCHER (2006) sieht einen Entwurf für eine integrierende Hazardforschung noch nicht: „Ich jedenfalls sehe das Licht am Ende des Tunnels noch nicht.“³⁸ Der Geographiedidaktik hingegen bescheinigt er eine bessere Ausgangssituation: „Die Fachwissenschaft ist auf der Suche nach solch einem Erkenntnisapparat, welcher der Komplementarität von Sinn und Materie entspricht und ein theoretisches Fundament für eine Gesellschaft-Umwelt-Forschung bildet. [...] Die Fachdidaktik steht nicht vor diesem Problem. In der (fach)didaktischen Literatur ist solch ein erkenntnistheoretisches (didaktisches) Metakonzept über den Begriff des Perspektivenwechsels eingeführt [...]. Dieses Konzept eignet sich vortrefflich, um aus der Not eine Tugend zu machen. Im Rahmen des Perspektivenwechsels können verschiedene Wirklichkeitszugänge reflektiert werden. Das führt nicht nur zu unterschiedlichen Begriffen von Wirklichkeit, wie z.B. hinsichtlich Gesellschaft und Umwelt, sondern zugleich auch zu deren Konstituiertheit. Die Tugend des Geographieunterrichts kann also darin gesehen werden, gemäß Buttner (1984) die ‚verschiedenen Fenster der Weltbeobachtung‘ zu erkennen. [...]“³⁹.

Das Selbstverständnis der Geographie und ihrer Didaktik hat sich somit im Laufe der Zeit vielfach gewandelt und basiert nun – insbesondere im schulischen Rahmen – auf dem Beitrag des Faches zur Bildung im Rahmen von Bildungsstandards und Kompetenzen. Dabei schöpfe die Geographie ihr „*besonderes fachliches Potential* [...]“⁴⁰ „[...] aus der Verknüpfung von naturwissenschaftlicher und gesellschaftlicher Bildung“⁴¹. Im Fokus stehen regionalgeographische Kenntnisse und der allgemeingeographische Ansatz. Besonders bei letzterem „*ist die Geographie auch Zentrierungsfach der schulrelevanten Inhalte aller Geowissenschaften* [...]“⁴² – hierunter ist auch die Impakt-Thematik zu sehen. Zudem zeigt sich bei der Analyse der Basiskonzepte der geographischen Raumanalyse, dass Meteoriteneinschläge sowohl auf allen Maßstabsebenen (siehe Abbildung 2) vorkommen, als auch im Mensch-Umwelt-System alle Systemkomponenten verdeutlichen können. Krater bilden in ihrer Präsenz und Anordnung Teile der geographisch relevanten Strukturen der Erdoberfläche. Erdgeschichtlich scheinen Impakte Einfluss auf die Evolution zu haben und sind deshalb als Funktion für andere Elemente des Systems Mensch-Umwelt anzuerkennen. Schließlich zeigen sich auf der Prozessebene die vielfältigen Einflüsse, die Meteoriteneinschläge sowohl auf humangeographische wie naturgeographische Subsysteme haben können.

³⁸ KANWISCHER (2006) S. 6

³⁹ KANWISCHER (2006) S. 7

⁴⁰ DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (DGfG) (2007) *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen*. 4., erweiterte und durchgesehene Ausgabe Dezember 2007. Bonn. S. 5

⁴¹ DGfG (2007) S.5

⁴² DGfG (2007) S.6

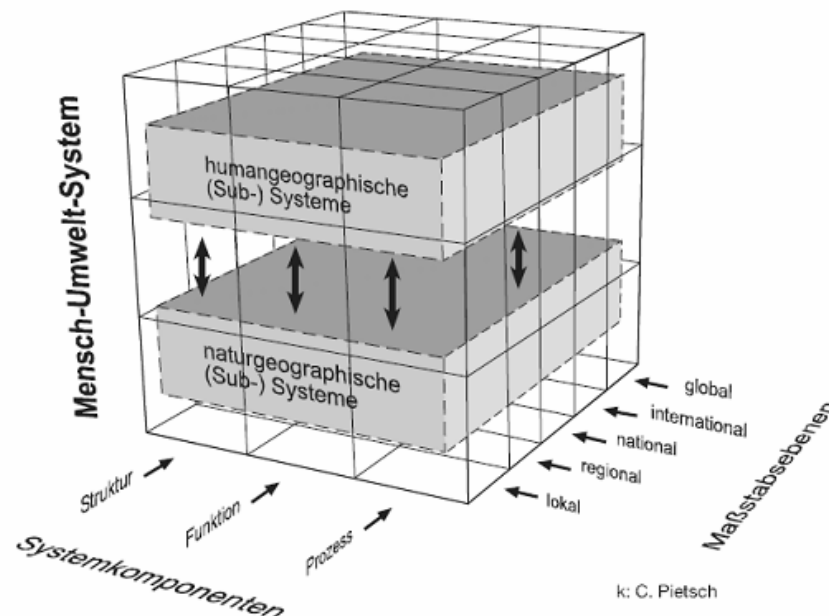


Abbildung 2: Basiskonzepte der Analyse von Räumen im Fach Geographie⁴³

Durch die Behandlung der Impakt-Thematik können Schüler in drei Kompetenzbereichen beim Aufbau von Kompetenzen unterstützt werden.

Für den Kompetenzbereich Fachwissen sind folgende Standards von zentraler Bedeutung:

- Die Schülerinnen und Schüler können Meteoriteneinschläge als vergangene und zu erwartende naturgeographische Phänomene in Räumen unterschiedlicher Dimension und in geologischen Zeiträumen erläutern (Standard F2,S4). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Meteoriteneinschläge auch ein geowissenschaftliches und geohistorisches Thema sind;
- Die Schülerinnen und Schüler können die Erde als offenes System, das immer wieder einschneidenden Veränderungen durch Impakte unterzogen ist, erkennen (Standard F2,S5);
- Die Schülerinnen und Schüler können den Ablauf von Meteoriteneinschlägen als naturgeographischen Prozess mit Auswirkungen auch auf human-geographische Prozesse darstellen (Standard F2,S7 und F4,S7).

Je nach didaktischer Umsetzung werden auch Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung/Methoden angesprochen:

- Die Schülerinnen und Schüler können verschiedene Informationsquellen zum Thema Impakte nennen (Kinofilme, TV-Dokumentationen, Internetsei-

⁴³ DGfG (2007) S.11

ten verschiedener Autoren), daraus Informationen gewinnen und auswerten (Standards M1,S1; M2,S4; M3,S6).

Als zentralen Punkt beinhaltet die Impakt-Thematik Problemstellungen, die in den Kompetenzbereich Beurteilung/Bewertung fallen:

- Schülerinnen und Schüler können Meteoriteneinschläge hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Bedeutung (z.B. Katastrophenvorsorge) beurteilen und zur Relevanz des Themas kritisch Stellung nehmen (Standards B1,S2; B2,S4 (hier ist vor allem auf die Interessengeleitetheit in der Darstellung zur Notwendigkeit der Lagerung von Nuklearwaffen durch die NASA hinzuweisen), B3,S6 - siehe hierzu auch Standard B2,S3 zur Medienbeurteilung).

Zusammenfassend bleibt im Rahmen der aktuellen Kompetenz-Diskussion aus didaktischer Sicht auf die integrative und umfassende Aufgabe des Geographieunterrichts hinzuweisen. Helmut KÖCK hat dies bereits 1992 prägnant formuliert:

„Gelingt es dagegen nicht, schlüsselfachgemäße Bedingungen für den Geographieunterricht zu schaffen, so kann der Geographieunterricht seine Funktion als Schlüsselfach schlechterdings auch nur bruchstückhaft erfüllen. [...] Tragisch bis töricht ist dies dann aber insofern, als es letztlich ja darauf hinausläuft, an dem Ast zu sägen, auf dem jeder einzelne wie die ganze Menschheit sitzt!“⁴⁴

1.2.2. Begründungszusammenhang im Rahmen der Erziehungswissenschaft und Naturwissenschaftsdidaktik

Für die Auswahl der Inhalte einer Unterrichtsreihe liegen auch zahlreiche Konzepte aus Pädagogik, allgemeiner Didaktik und den Fachdidaktiken vor.⁴⁵

Am einflussreichsten in Bezug auf die Geographie sowohl für die alltägliche Praxis wie auch für die theoretische Fundierung haben sich die bildungstheoretische Didaktik W. KLAFFKI (1985), das lerntheoretische Modell von W. SCHULZ (1980)⁴⁶ sowie das informationstheoretisch-kybernetische Modell von F. VON CUBE (1982)⁴⁷ erwiesen. Die in diesen Modellen zentralen Komponenten Fachrelevanz (Thema der Geographie, Problemorientierung, Exemplarität für das Fach, Struktur, Fachmethodik), Gesellschaftsrelevanz (Lehrplanbezug, Bedeutung für Zukunft und Gegenwart der Schüler, methodische Fertigkeiten, Abbau von Vorurteilen, Kriterien zur Bewertung) und Schülerrelevanz (anthropologisch-psychologische, sowie soziokulturelle Voraussetzungen) werden durch die Didaktische Rekonstruktion in einem konsistenten Modell integriert. Nur kurz sei auf die unterschiedlichen Vorstellungen der Autoren zum Zusammenwirken von allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik verwiesen. Während KLAFFKI ausdrücklich die Aufgabe der Fachdidaktik herausstellt, Inhalte und Ziele für den Unterricht zu bestimmen, spricht VON CUBE der Fachdidaktik diese Kompetenz konsequent ab⁴⁸.

Deshalb wird im Weiteren auf das erweiterte und verbesserte Modell der Didaktischen Analyse KLAFFKIs, dem Perspektivenschema aufgebaut. Dieses enthält den

⁴⁴ KÖCK, H. (1992) *Der Geographieunterricht – ein Schlüsselfach*. In: Schultze, A. (Hrsg.) (1996) 40 Texte zur Didaktik der Geographie. Gotha. S. 339

⁴⁵ siehe hierzu KLAFFKI (1964), KLAFFKI (1985), HÄUßLER und LAUTERBACH (1976)

⁴⁶ SCHULZ, W. (1980) *Unterrichtsplanung*. München.

⁴⁷ CUBE, F. (1982) *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens*. Stuttgart.

⁴⁸ hierzu ausführlich PLÖGER, W. (1999) *Allgemeine Didaktik und Fachdidaktik*. München.

Bildungsbegriff als zentrale Klammer des Theoriekonzepts bei. Dabei gliedert sich Bildung in drei Hauptkomponenten:

- Bildung aller Fähigkeitsdimensionen des menschlichen Individuums,
- Bildung für alle,
- Bildung im Medium des Allgemeinen.⁴⁹

Letzter Punkt verweist auf KLAFKIs epochaltypische Themen, die im Einzelnen auf die Umweltproblematik, die Friedensproblematik, die soziale Problematik, usw. verweisen und damit ein umfassendes Konzept bilden. Dennoch ist bei KLAFKIs Modell auf die durchgehende Anthropozentrik hinzuweisen, die es erschwert, geowissenschaftliche Themen - wie etwa Meteoriteneinschläge – einzubinden (vergleiche hierzu auch die Diskussion der ‚Schlüsselprobleme‘ der Geographie im vorangegangenen Kapitel).

In den Bad Hersfelder Empfehlungen von HÄUSSLER und LAUTERBACH (1976)⁵⁰ hingegen werden insgesamt 16 Gesichtspunkte für die Inhaltswahl vorgegeben. Sie beziehen sich ausdrücklich auf den naturwissenschaftlichen Unterricht und sind dennoch in der Geographiedidaktik bisher nicht konsequent angewendet worden, obwohl die Geowissenschaften und die Naturgeographie in Ansätzen, Methoden und Inhalten Naturwissenschaften darstellen. Die Auswahlkriterien können großenteils auf die Impakt-Thematik bezogen werden – diese Punkte sind mit „*“ gekennzeichnet und in Klammern näher erläutert. Nach HÄUSSLER/LAUTERBACH (1976) kann ein Inhalt dann als geeignet und relevant für die unterrichtliche Bearbeitung angesehen werden, wenn er mehreren der folgenden Kriterien genügt:

1. Grundlegende Begriffe und Gesetze der Naturwissenschaften vermitteln * (z.B. Dichte, Masse, Geschwindigkeit, Gravitation, kinetische Energie, Reibung),
2. Naturwissenschaftliche Denkweisen, Methoden, Darstellungsformen, Arbeitstechniken vermitteln * (z.B. Diagramme zu Einschlagswahrscheinlichkeit und Auswirkungen; Vergleich von existierenden Kratern mit bekannten Landschaftsformen, geologische Karten),
3. Grenzen, Vorläufigkeit, Einseitigkeit der Naturwissenschaften aufzeigen * (z.B. Paradigmenwechsel hin zu der Akzeptanz von katastrophalen Ereignissen in der Erdgeschichte),
4. Erschließung anderer Inhalte * (z.B. Zusammenhang von natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Erkenntnissen),
5. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse als technisch verwertbar aufzeigen; technischer Fortschritt stellt Fragen an Naturwissenschaft * (z.B. die Möglichkeit der Abwehr von Meteoriten),
6. Wechselseitige Verflechtung von Naturwissenschaft, Technik, Wirtschaft, Sozialer Lebenswelt darstellen * (z.B. die Aufmerksamkeit von Politik und Wirtschaft auf das Thema Meteoriteneinschläge),
7. Historische Entwicklung von Naturwissenschaften darstellen * (z.B. die rasch anwachsende Zahl bekannter und vermuteter Impakt-Ereignisse),
8. Die Hilfe von Naturwissenschaft und Technik bei Aufweisung von Fehlentwicklungen aufzeigen,

⁴⁹ KLAFKI (1985) S. 52

⁵⁰ zitiert aus HÄUßLER et al. (1998) S. 16, nach HÄUSSLER, P. und LAUTERBACH, R. (1976) *Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts - Zur Begründung inhaltlicher Entscheidungen*. Weinheim.

9. Auf Umweltveränderungen durch Naturwissenschaft und Technik hinweisen,
10. Darstellen, wie heute naturwissenschaftliche Forschung abläuft * (z.B. die kontroverse Diskussion um Rolle von Meteoriteneinschlägen in der Erdgeschichte),
11. Physische und psychische Gesundheit,
12. Fähigkeiten und Kenntnisse zur unmittelbaren Lebensbewältigung,
13. Natürliche und technische Umwelt begreifen lernen * (z.B. auch kurzfristige Veränderungen des Planeten Erde begreifen lernen),
14. Neigungen und Interessen der Schüler beachten * (z.B. das hohe Interesse am Thema Naturkatastrophen),
15. Selbstorganisiertes Lernen, kreatives Denken, kooperatives Handeln * (dieser Punkt ist abhängig von der Unterrichtsgestaltung),
16. Selbstständiges Experimentieren * (z.B. Versuch zur Erzeugung eines Kraters in Sand).

Damit sind deutliche Überschneidungen zwischen den Kernbereichen der naturwissenschaftlichen Didaktik und einer geowissenschaftlich orientierten Geographiedidaktik im Ansatz aufgezeigt. Dass auch ein an Naturwissenschaften ausgerichteter Unterricht anthropogeographische Inhalte vermitteln kann, zeigen vor allem die Punkte 3. (Grenzen, Vorläufigkeit, Einseitigkeit der Naturwissenschaften aufzeigen) und 6. (wechselseitige Verflechtung von Naturwissenschaft, Technik, Wirtschaft, Sozialer Lebenswelt darstellen). Kriterium 14 (Neigungen und Interessen der Schüler beachten) verweist auf die Ebene der von Schülern mitgebrachten Voraussetzungen.

Meteoriteneinschläge sind also sowohl durch das Selbstverständnis der Geographie wie auch durch die Inhalte, wie sie Erziehungswissenschaften und Naturwissenschaftsdidaktik fordern, als angemessen zu behandelnder Unterrichtsgegenstand zu rechtfertigen.

2. Theoretische Grundlagen, Stand der Forschung und Methodik

„Die Untersuchungsaufgabe der Didaktischen Rekonstruktion weist die Fachdidaktik konstitutiv als **praktische Wissenschaft** und die didaktische Rekonstruktion als **praktische Theorie** aus.“⁵¹

2.1. Grundzüge und Komponenten des Modells der ‚Didaktischen Rekonstruktion‘

Der strukturtheoretische Ansatz der allgemeinen Didaktik bezieht sich auf Inhalte und Struktur einer Fachdisziplin unter Einbeziehung der fachspezifischen Methoden, Arbeits- und Denkweisen⁵². Dabei bleiben jedoch Vorstellungen und Interessen der Schüler unberücksichtigt. Diesen Mangel versuchte man in neueren Ansätzen auszugleichen durch eine Erforschung der von Schülerseite eingebrachten Voraussetzungen. Jedoch kann bei einer Vernachlässigung der Fachwissenschaft der naturwissenschaftliche Unterricht schnell zu einer „*Erlebnislehre*“⁵³ verkommen. Damit bleibt der Antagonismus zwischen Strukturen und Inhalten der Fachwissenschaft und den Voraussetzungen, die von den Schülern mitgebracht werden, grundsätzlich bestehen (siehe Abbildung 3) - besonders die didaktische Forschung der 1980er Jahre war von diesem Gegensatz geprägt.

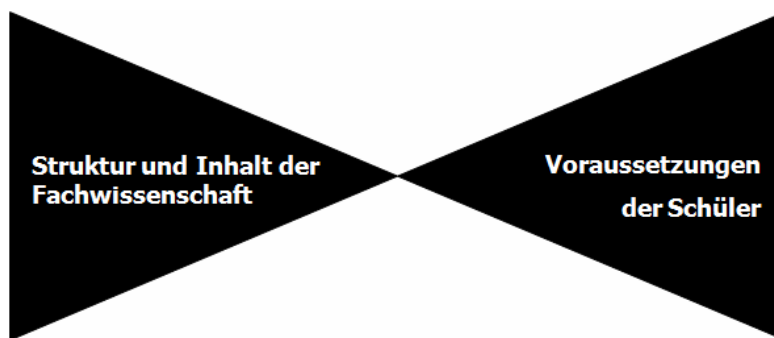


Abbildung 3: Antagonismus aus Strukturen und Inhalten der Fachwissenschaft und Voraussetzungen der Schüler⁵⁴

Hinzu kommt weiterhin der Prozess der didaktischen Strukturierung von Unterrichtsinhalten, die weder von der Fachwissenschaft noch von den Lernperspektiven der Schüler her wissenschaftsimmanent vorgegeben sind. Damit steht jede Lehrkraft vor einem Zirkel aus sich beeinflussenden, aber nicht zwingend bedingenden Faktoren (siehe Abbildung 4).

⁵¹ KATTMANN (2007) S. 101, Hervorhebungen durch KATTMANN

⁵² HÄUSSLER, P., BÜNDER, W., DUIT, R., GRÄBER, W., und MAYER, J. (Hrsg.) (1998) *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel.

⁵³ HÄUSSLER, P., BÜNDER, W., DUIT, R., GRÄBER, W., und MAYER, J. (Hrsg.) (1998), S. 14

⁵⁴ Quelle: eigener Entwurf

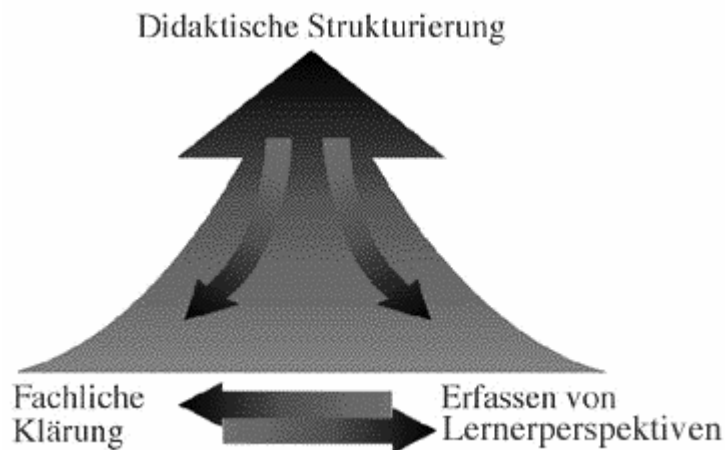


Abbildung 4: Zusammenhänge der drei zentralen Ebenen didaktischen Arbeitens im Modell der Didaktischen Rekonstruktion⁵⁵

KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) haben Ende der 1990er Jahre ein didaktisches Modell vorgestellt, das die drei Ebenen didaktischen Arbeitens miteinander in einer iterativen Matrix kombinieren soll⁵⁶. Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden fachliche Vorstellungen, wie sie in Lehrbüchern und anderen wissenschaftlichen Quellen Ausdruck finden, mit Schülerperspektiven so in Beziehung gesetzt, so dass daraus ein Unterrichtsgegenstand entwickelt werden kann. Dieser wiederum soll im dritten Schritt bis auf die Prozessebene strukturiert und geplant werden. Dabei müssen auch Verbindungen zwischen fachlichem und interdisziplinärem Wissen einerseits sowie der Perspektive der Schüler andererseits hergestellt werden. Deren Vorverständnis, Anschauungen und Werthaltungen sind deshalb notwendige Forschungsobjekte, weil Methoden und Aussagen der Fachwissenschaften nicht unbesehen und unverändert in den schulischen Fachunterricht übernommen und den Schülern vermittelt werden können.

Die fachlich beschriebenen Sachverhalte sind im Unterricht häufig weit stärker als im Wissenschaftsbereich in auf Schülerumwelt, Gesellschaft und individuelle Zusammenhänge bezogene Rahmen einzubetten, um ihre Bedeutung für das Leben des einzelnen Schülers in der Gesellschaft sowie in der belebten und unbelebten Natur zu verdeutlichen. KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997)⁵⁷ sehen dadurch den didaktisch bearbeiteten Gegenstand komplexer als den fachwissenschaftlichen. Diese Komplexität sei nötig, damit die Schülerinnen und Schüler angemessene Vorstellungen entwickeln können.

⁵⁵ Graphisch verändert nach KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H. und KOMOREK, M. (1997) *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 3, H. 3, S. 3-18.

⁵⁶ In neueren Publikationen zur Didaktischen Rekonstruktion wird nicht mehr von einem iterativen Prozess gesprochen, sondern von „*rekursivem Vorgehen*“ (KATTMANN (2007), S. 101); da mit beiden Begriffen jedoch der gleiche Ansatz verbunden ist, sollen sie im Folgenden synonym verwendet werden

⁵⁷ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.3

Nach KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) nimmt das Modell der Didaktischen Rekonstruktion zudem mehrere Aspekte der pädagogischen und fachdidaktischen Tradition auf. Darunter befindet sich KLAFFKs Didaktische Analyse, von der zwei Gesichtspunkte übernommen werden⁵⁸:

- Die Sachanalyse wird durch eine konsequente didaktische Perspektive erweitert;
- Das Prinzip des Exemplarischen wird nicht als reine Vereinfachung von wissenschaftlichen Inhalten gesehen, sondern als deren Einbettung in die komplexere lebensweltliche Erfahrung der Schüler.

Vom Strukturmodell der ‚Berliner Schule‘ (HEIMANN/OTTO/SCHULZ)⁵⁹ wird die Ansicht übernommen, dass alle den Unterricht bestimmenden Variablen interdependent sind. Damit stellt sich jedoch auch die Frage, welche grundsätzlich neuen Aspekte die Didaktische Rekonstruktion bieten kann.

KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) sehen in der konsequenten epistemologischen Position des Konstruktivismus einen wesentlichen Fortschritt. Weiterhin führen sie folgende Punkte als besondere Leistungen des Modells an⁶⁰:

- Gestaltung der Fachlichen Klärung als fachdidaktische Aufgabe,
- Schülervorstellungen sind notwendige Anknüpfungspunkte des Lernens,
- Vergleichbarkeit der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Schülern,
- Synergetische Effekte beim Verstehen fremder Vorstellungen,
- Selbstkorrigierende Vorgehensweise.

Diese Punkte und der Ansatz, verschiedene Ebenen des didaktischen Arbeitens in einem auf die Unterrichtspraxis zielendem Modell zu integrieren, sind die wichtigsten Neuerungen:

„Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion dient also auch dazu, die fachdidaktische empirische Arbeit und Theoriebildung weiter zu entwickeln. Der mit ihm gegebene Forschungsrahmen sorgt dafür, sonst üblicherweise getrennt voneinander durchgeführte Untersuchungen im Untersuchungsplan miteinander zu verbinden.“⁶¹

⁵⁸ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.8

⁵⁹ HEIMANN, P., SCHULZ, W. und OTTO, G. (1965) *Unterricht - Analyse und Planung*. Hannover.

⁶⁰ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S. 14 und 15

⁶¹ KATTMANN (2007) S. 99

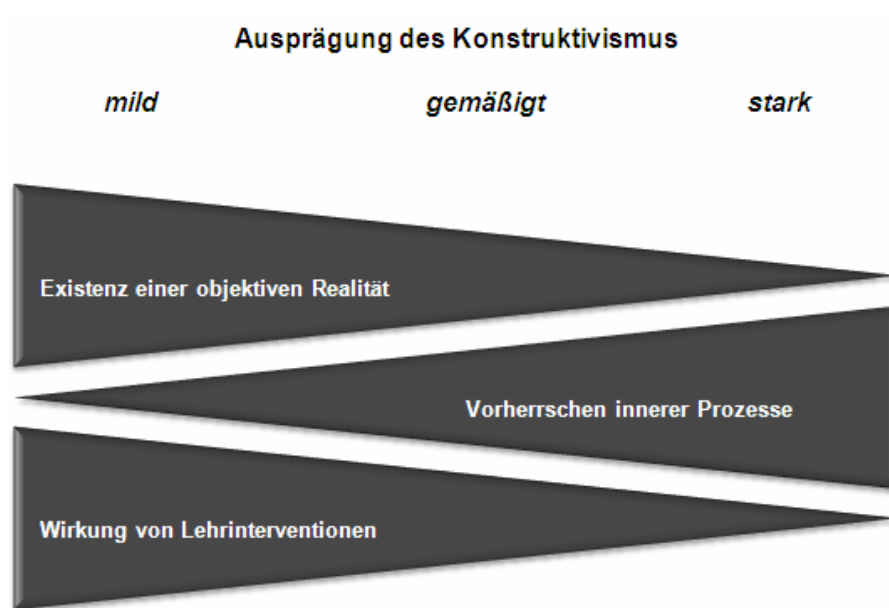


Abbildung 5: Übersicht über Strömungen des Konstruktivismus nach DIESBERGEN (2000)⁶²

Zudem wird die Analyse fachlicher, schülerperspektivischer und unterrichtlicher Felder konsequent mit einer gemäßigt-konstruktivistischen Sichtweise durchgeführt. Dass der radikale Konstruktivismus nicht geeignet erscheint für eine gewinnbringende Anwendung in den Fachdidaktiken zeigt DIESBERGEN (2000)⁶³ deutlich auf – denn während der radikale Konstruktivismus die Existenz einer objektiven Realität nahezu verneint und damit schwer zum Solipsismus hin abzugrenzen ist, bleibt die Annahme einer von außen wirkenden und damit beeinflussenden äußeren Realität im gemäßigten Konstruktivismus bestehen (siehe Abbildung 5).

⁶² Verändert nach DIESBERGEN (2000) S. 66

⁶³ DIESBERGEN, C. (2000) *Radikal-konstruktivistische Pädagogik als problematische Konstruktion. Eine Studie zum radikalen Konstruktivismus und seiner Anwendung in der Pädagogik*. Bern, Berlin, Brüssel, Frankfurt/M., New York, Wien.

2.2. Fachliche Klärung

Die zur Integration der Fachwissenschaft eingeführte Komponente der Didaktischen Rekonstruktion, die ‚Fachliche Klärung‘, wurde von GROPENGIESSER (1997)⁶⁴ aus der qualitativen Sozialforschung übernommen. Dabei sollen fachliche Forschungen nicht einfach als selbstverständlich und allgemein bekannt übernommen, sondern kritisch reflektiert werden. Typische Fragen der Fachlichen Klärung sind⁶⁵:

- Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu diesem Thema vor, und wo zeigen sich deren Grenzen?
- Welche Genese, Funktion und Bedeutung haben fachliche Begriffe, und in welchem Kontext stehen sie jeweils?
- Welche Fachwörter werden verwendet, und welche Termini legen durch ihren Wortsinn lernhinderliche bzw. –förderliche Vorstellungen nahe?

Die Fachliche Klärung soll verschiedene wissenschaftliche Vorstellungen zu einem Thema erfassen. Dabei ist sie die kritisch und systematisch angelegte Untersuchung von fachwissenschaftlichen Abhandlungen⁶⁶. GROPENGIESSER (1997) grenzt die Fachliche Klärung ab

- von der Sachanalyse KLAFKIs durch das kritisch-reflexive Element,
- vom fachwissenschaftlichen Literaturstudium durch die Vermittlungsabsicht,
- von der wissenschaftshistorischen Untersuchung durch den fehlenden Anspruch auf Vollständigkeit und Lückenlosigkeit der Darstellung.

Das methodische Vorgehen bei der Fachlichen Klärung läuft nach HILGE (1999)⁶⁷ und ILLNER (2000)⁶⁸ in vier Schritten ab:

- Auswahl der Quellen;
- Zusammenfassung; es sollen die wesentlichen Aussagen eines Autors erfasst werden und das Theoriegebäude erkannt werden;
- Explikation; das Theoriegebäude ist in seiner persönlichen Prägung zu interpretieren; dabei wird auch auf die Grenzen des bearbeiteten Modells, seine sprachliche Gestaltung und seine Entstehungsbedingungen eingegangen;
- Strukturierung; Gliederung der in der Explikation gewonnen Ergebnisse.

Die Fachliche Klärung soll anschließend den Vergleich von wissenschaftlichen Modellen und Schülervorstellungen ermöglichen.

Für die vorliegende Arbeit kann die Fachliche Klärung in dieser Form nur bedingt angewendet werden. Es liegen keine umfassenden Monographien oder Lehrbücher zum Thema Meteoriteneinschläge vor. Die in Büchern zur Naturgeographie, Geologie oder Astronomie vorliegenden Kapitel reichen an Differenziertheit und Aktualität

⁶⁴ GROPENGIESSER, H. (1997) *Didaktische Rekonstruktion des Sehens*. Oldenburg.

⁶⁵ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.11

⁶⁶ HILGE (1999) S. 17

⁶⁷ HILGE, C. (1999) *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion*. Dissertation. Oldenburg.

⁶⁸ ILLNER, R. (2000) *Einfluß religiöser Schülervorstellungen auf die Akzeptanz der Evolutionstheorie*. Dissertation. Oldenburg.

nicht an die neueren wissenschaftlichen Artikel heran und scheiden damit als Grundlage aus. Weiterhin kann festgehalten werden, dass nahezu alle Schüler behaupten, Meteoriteneinschläge als Phänomen an sich zu kennen⁶⁹. Daher muss im Unterricht nicht zwingend auf verschiedenen Theorien zur Entstehung des Nördlinger Ries eingegangen werden⁷⁰. Populärwissenschaftliche Werke zum Thema werden aus wissenschaftlicher Perspektive wegen des drohenden Abdriftens in Weltuntergangsszenarien und unhaltbare Spekulationen verworfen. So geht MORRISON (1997a)⁷¹ in seinem Artikel zum skeptischen Umgang mit Endzeit-Szenarien durch Meteoriteneinschläge zuerst auf die Faszination des Themas für Wissenschaftler wie Laien ein, grenzt sich jedoch gegen die Neo-Katastrophisten und Pseudowissenschaftler, die derzeit den Büchermarkt zum Thema dominieren, ab. Daher fallen diese Veröffentlichungen als Grundlage der Fachlichen Klärung beiseite. Bis 2007 waren daher nur die sehr spezialisierten wissenschaftlichen Artikel zu Teilbereichen der Impakt-Thematik als Quellen heranzuziehen.

Jedoch wurde durch die Veröffentlichung eines Sammelbandes zum Thema „*Comet/Asteroid Impact and Human Society*“ von BOBROWSKY/RICKMAN (2007)⁷² die unbefriedigende Quellsituation deutlich verbessert. Eine Analyse der dort anzutreffenden Aussagen zusammen mit zentralen wissenschaftlichen Aufsätzen der vorangegangenen Jahre kann bereits einen Überblick über die wissenschaftlichen Vorstellungen zum Thema Meteoriteneinschläge liefern. Jedoch bleibt dieses Vorgehen lückenhaft, vor allem aufgrund der schnellen Veränderungen auf diesem Forschungsgebiet und der immer noch fehlenden politischen und ökonomischen Perspektive – vor allem aus Deutschland. Hier kann als Ausgangspunkt der Jahresbericht des WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“) aus dem Jahr 1998 herangezogen werden.

Um den Mangel an aktuellen fachwissenschaftlichen Vorstellungen auszugleichen, können neben der Literaturanalyse auch Experten-Interviews ein umfassenderes Bild der fachlichen Vorstellungen über Impakte liefern. Die themenzentrierten Interviews werden transkribiert und nach den Methoden der Fachlichen Klärung ausgewertet (siehe Abbildung 6).

⁶⁹ diese Annahme wurde durch die Pilotstudie (siehe Kapitel 4) untermauert

⁷⁰ Allerdings kann das Thema gleichwohl in einer Unterrichtsstunde behandelt werden; zu verschiedenen Entstehungstheorien siehe KAVASCH, J. (1987) *Meteoritenkrater Ries, ein geologischer Führer*. Donauwörth.

⁷¹ MORRISON, D. (1997a) *Is the Sky Falling?* In: *Skeptical Inquirer Magazine*, Mai/Juni 1997. (Internetquelle: <http://www.csicop.org/si/9705/asteroid.html>, Zugang September 2007)

⁷² BOBROWSKY, P. and RICKMAN, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York.

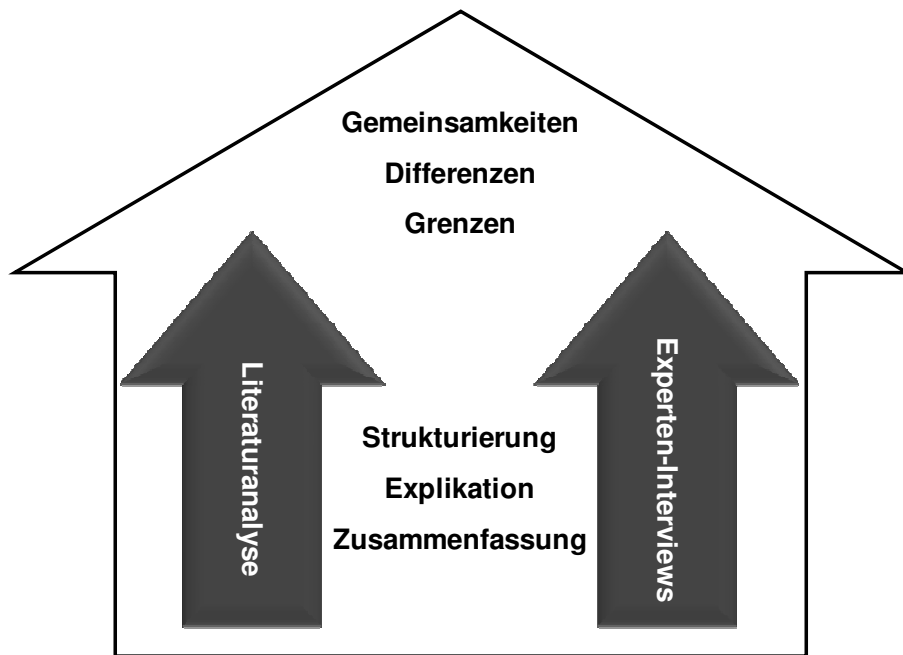


Abbildung 6: Vorgehensweise zur Fachlichen Klärung⁷³

Dabei werden durch das systematische Vorgehen die Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Grenzen der verwendeten Quellen herausgearbeitet. Diesem Vorgehen folgend bietet Kapitel 3 einen Überblick über zentrale Erkenntnisse zu Teilbereichen des Thema Meteoriteneinschläge, die als gemeinsame Basis der verwendeten Literatur und der Experteninterviews gefunden wurden. Anschließend (Kapitel 3.3.5) wird auf markante Unterschiede zwischen einzelnen Darstellungen eingegangen, weiterhin sollen grundsätzliche Limitierungen der verwendeten Quellen dargestellt werden.

⁷³ Quelle: eigener Entwurf

2.3. Lernerperspektiven

Der Kernbereich der hier vorliegenden empirischen Untersuchung liegt auf der Erfassung und Interpretation der Vorstellungen. Diese können noch weiter differenziert werden nach den Dimensionen der ‚Komplexität‘ und der ‚Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen‘. Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass beim Vergleich der Konzepte von Schülern und der Wissenschaft keine normative Wertung vorgenommen werden soll. Vielmehr dient eine erste Dimensionierung und Differenzierung der Schülervorstellungen zur zielgenauen Auswahl von Interviewpartnern und einem ersten Versuch, Vorstellungen auch quantitativ erfassbar zu machen. Dabei werden Vorstellungen von Wissen unterschieden, denn *„Vorstellungen werden [...] umfassend verstanden und enthalten auch die emotionalen und biographischen Komponenten, die auch als Alltagsphantasien bezeichnet werden [...]“*.⁷⁴

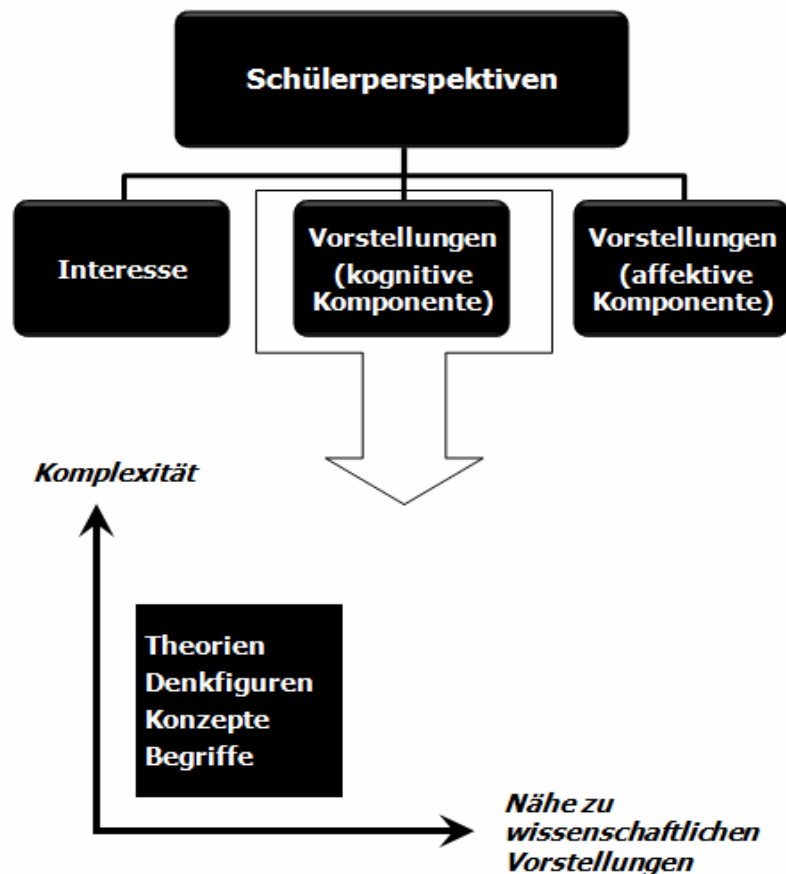


Abbildung 7: Systematik der Schülerperspektiven⁷⁵ und Vorstellungen-Matrix

⁷⁴ KATTMANN (2007) S.95

⁷⁵ Quelle: eigener Entwurf in Anlehnung an DUIT (2004) und KATTMANN (2007)

In der vorliegenden Arbeit wird erstmals eine empirisch überprüfbare Gesamtdarstellung von kognitiven und affektiven Vorstellungen und unabhängigen Variablen (wie z.B. Interesse) versucht (siehe Abbildung 7). Ein derartiger Ansatz erlaubt es, die reine Erfassung von Schülervorstellungen auch konzeptionell und methodisch in einen größeren Zusammenhang der Lernerperspektiven – etwa unter Hinzuziehung der Interessensforschung – zu stellen; hierzu auch der Vermerk von KATTMANN (2007)⁷⁶: „Ebenso könnten fachbezogene Perspektiven für eine fachdidaktisch profilierte Interessensforschung erhoben werden [...]“⁷⁷

Die Didaktische Rekonstruktion bietet als „*praktische Theorie*“⁷⁸ damit eine pragmatische und wissenschaftlich fundierte Lösung, verschiedene empirische Verfahren vor dem Hintergrund der unterrichtlichen Umsetzung zu kombinieren. Die Herangehensweise, verschiedene Konstrukte der Pädagogischen Psychologie gemeinsam zu betrachten, kann Synergieeffekte der Forschungen zu Interesse, Vorstellungen und Einschätzungen freisetzen.

2.3.1. Schülervorstellungen: Kognitive Komponente

KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) fassen unter Schülervorstellungen kognitive Konstrukte verschiedener Komplexitätsebenen zusammen. Daher sollten sie in den empirischen Untersuchungen als in sich stimmige und logisch aufgebaute Konzepte auftreten. Sie sollen nicht als Fehlvorstellungen verstanden werden, sondern als „*notwendiger Ausgangspunkt des Lernens*“⁷⁹. Für die Erhebung von Schülervorstellungen typische Fragen sind⁸⁰:

- Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schüler zu einem bestimmten Thema?
- Stammen die Vorstellungen aus lebensweltlichen oder fachorientierten Kontexten?
- Welche unterschiedlichen Bedeutungen werden zentralen Fachwörtern zugewiesen?

Die Methoden, mit denen Schülervorstellungen erfasst werden sollen, richten sich nach dem Forschungsgegenstand.

Grundsätzlich ist es jedoch „*weniger wichtig, in welchen Quantitäten bestimmte einzelne Vorstellungen in einer Schülerpopulation vorkommen*“⁸¹. Methoden wie Fragebögen werden allerdings nicht ausgeschlossen: „*je nach Forschungsstand wurden problemzentrierte Interviews, offene Interviews oder Fragebögen gewählt*“⁸².

⁷⁶ KATTMANN, U. (2007) Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D. und VOGT, H. (Hrsg.) (2007), S. 93-104.

⁷⁷ KATTMANN (2007) S. 95-96

⁷⁸ KATTMANN (2007) S. 101

⁷⁹ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.11

⁸⁰ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.11

⁸¹ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.11

⁸² KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.11

BAALMANN et al. (2004)⁸³ verstehen unter Vorstellungen Verständnisse und Gedanken zu einer bestimmten Thematik. Sie führen an, dass sich Vorstellungen aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten lassen:

- Aus psychologischer Sicht lassen sich Vorstellungen als persönliche Konstrukte darstellen, die von Menschen selbst zur Erkenntnis und Verständnis der Welt geschaffen werden;
- In der Kognitionspsychologie werden sie unter dem Terminus Wissen zusammengefasst. In didaktischer Literatur werden sie auch als Vorkenntnisse bezeichnet. Beide Termini verweisen nach BAALMANN et al. (2004) jedoch ausschließlich auf fachlich orientierte Wissensaneignung;
- Aus philosophischer Sicht fallen Vorstellungen in den Bereich der intentionalen Zustände, die zur biologischen Beschaffenheit von Menschen gehören. Vorstellungen korrelieren eng mit der Tätigkeit von Neuronen und Neuronenpopulationen⁸⁴.

Aus didaktischer Sicht verwenden BAALMANN et al. (2004) die bereits bei KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) verwendete Terminologie zur Unterscheidung von Vorstellungen unterschiedlicher Komplexitätsebenen. Dabei dient der Begriff Vorstellung als Überbegriff; mit wachsender Komplexität werden unterschieden: Begriff, Konzept, Denkfigur und Theorie.

Für vorliegende Untersuchung maßgebend sind vor allem die untere Komplexitätsebene der Begriffe (vor allem für den Fragebogen), sowie die mittleren Komplexitätsebenen der Konzepte (für Teile des Fragebogens und die Interviews). Weiterhin wird davon ausgegangen, dass auch gleichaltrige Schüler über unterschiedlich komplexe Vorstellungen verfügen (siehe Abbildung 8) und sich dies auch in den Fragebögen und Interviews manifestiert – diese Hypothese gilt es zu testen. In der Hierarchisierung von Schülervorstellungen nach dem Grad der Komplexität werden damit die vier Ebenen Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien unterschieden; in vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass Schüler über Vorstellungen unterschiedlicher Komplexitätsstufen verfügen und sich die Vorstellungen auch danach typisieren lassen (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.2. zu den Hypothesen der Hauptstudie).

Ein weiteres Unterscheidungskriterium für Schülervorstellungen ist der Grad an Übereinstimmung mit derzeitigen wissenschaftlichen Konzepten. Dabei werden die Vorstellungen der Schüler nicht als Fehlvorstellungen gesehen, sondern als zu Experten-Konzepten äquivalente und in sich konsistente Konstruktionen. Diese Sichtweise erlaubt es, Vorstellungen als viable Konstrukte zu sehen, die von den Schülern zur Erklärung der Welt verwendet werden. Dennoch kann – speziell auf der Ebene der einfachsten Vorstellungen – ein gradueller Vergleich mit den wissenschaftlichen Begriffen und Konzepten gezogen werden. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Vorstellungen in eine Matrix aus Komplexität und Nähe zu wissenschaftlichen Modellen einzufügen (siehe Abbildung 7). Darüber hinaus können die gewonnenen Ergebnisse für eine Typisierung durch das Verfahren der Clusteranalyse verwendet werden, die zur objektiveren Auswahl der Interviewpartner führt.

⁸³ BAALMANN, W. et al. (2004) *Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 10, 2004, S. 7-28.

⁸⁴ BAALMANN et al. (2004) S.8

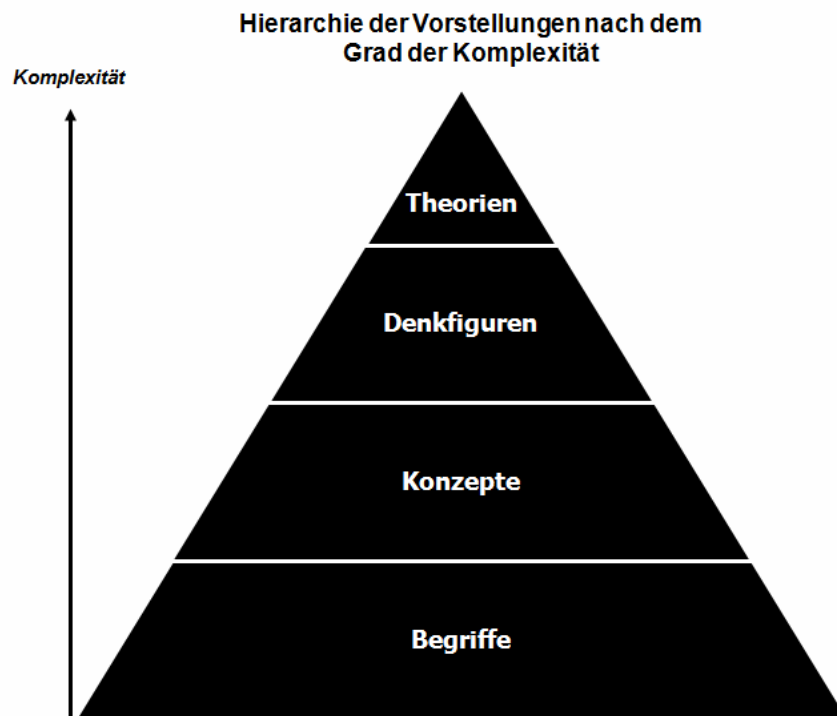


Abbildung 8: Hierarchie der Vorstellungen nach dem Grad der Komplexität⁸⁵

Von zentraler Bedeutung für die Diskussion über die in einem naturwissenschaftlich orientierten Geographieunterricht zu vermittelnden Kompetenzen ist auch der Bereich der ‚naturwissenschaftlichen Grundbildung‘. Sie wird von der OECD definiert als *„die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“*⁸⁶. Die ‚scientific literacy‘ wird als Grundlage für den naturwissenschaftlichen Bereich der PISA-Studie herangezogen. Für die Impakt-Thematik ist vor allem die Frage nach dem Verständnis von Entscheidungen zur Forschung über Ablauf, Auswirkungen, Wahrscheinlichkeit und Abwehrmöglichkeiten von Meteoriteneinschlägen entscheidend. Hierzu ist natürlich die Fähigkeit, grundlegende naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und das eigene Wissen auf die Fragestellung anzuwenden, die erste Ausgangsbasis. Zentral ist hierbei die Fähigkeit, geologische Zeiträume sowie räumliche Auswirkungen bis hin zur globalen Ebene zu erfassen.

⁸⁵ Quelle: eigener Entwurf

⁸⁶ Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.) (2001) *PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen. Hier zitiert nach OECD (2005) *Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen. Zusammenfassung*. (Internetquelle: <http://www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf>, Zugang August 2008), S. 18

	Naturwissenschaften
Definition und besondere Merkmale	Das Maß, in dem eine Person: • naturwissenschaftliches Wissen besitzt und dieses Wissen anwendet, um Fragestellungen zu identifizieren, neue Kenntnisse zu erwerben, naturwissenschaftliche Phänomene zu erklären und aus Beweisen Schlussfolgerungen in Bezug auf naturwissenschaftliche Sachverhalte zu ziehen; • die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens versteht; • erkennt, wie Naturwissenschaften und Technologie unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umgebung prägen; • sich mit naturwissenschaftlichen Themen und Ideen als reflektierender Bürger befasst. <i>Naturwissenschaftliche Grundbildung</i> setzt das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte sowie die Fähigkeit voraus, eine naturwissenschaftliche Perspektive anzuwenden und über Befunde in naturwissenschaftlicher Weise nachzudenken.
Wissensbereich	<i>Naturwissenschaftliches Wissen</i>, z.B. über: • „physikalische Systeme“ • „lebende Systeme“ • „Erde und Weltraum“ • „technologische Systeme“ <i>Wissen über Naturwissenschaften</i>, z.B. über: • „naturwissenschaftliche Untersuchungen“ • „naturwissenschaftliche Erklärungen“
Relevante Kompetenzen	Art der naturwissenschaftlichen Aufgabe bzw. des naturwissenschaftlichen Prozesses: • <i>naturwissenschaftliche Fragestellungen erkennen</i> • <i>naturwissenschaftliche Phänomene erklären</i> • <i>naturwissenschaftliche Beweise heranziehen</i>
Kontext und Situation	Die Anwendungsbereiche der Naturwissenschaften, wobei die Anwendung im persönlichen, sozialen und globalen Lebensbereich im Mittelpunkt steht, z.B.: • „Gesundheit“ • „natürliche Ressourcen“ • „Umwelt“ • „Gefahren“ • „aktuelle Entwicklungen in Forschung und Technologie“

Abbildung 9: Überblick über den in PISA 2006 erfassten Erhebungsbereich Naturwissenschaften⁸⁷

Die PISA-Studie 2006 verknüpft zudem eine Reihe von Lebenssituationen („Gesundheit“, „natürliche Ressourcen“, „Umwelt“, „Gefahren“ und „aktuelle Entwicklungen in Forschung und Technologie“⁸⁸) mit drei Kontexten, die sich „auf die Interessen und

⁸⁷ Verändert nach OECD (2007) *PISA 2006 - Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen*. Bielefeld. S.25; die Erhebungsbereiche Mathematik und Lesekompetenz, die gleichberechtigt neben dem Bereich Naturwissenschaften stehen, werden hier nicht zitiert

⁸⁸ OECD (2007) *PISA 2006 - Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen*. Bielefeld. S. 43

das Leben der Schülerinnen und Schüler⁸⁹ beziehen. In PISA (2006) werden folgende Kontexte unterschieden⁹⁰:

- persönlich (der Einzelne, die Familie, die Mitschüler),
- sozial (die Gemeinschaft) und
- global (das Leben weltweit).

Im Themenfeld der Gefahren wird in allen Kontextbereichen den Naturgefahren eine zentrale Stellung zugewiesen. Dabei sollen sowohl langsame, allmähliche wie auch rasche Veränderungen beachtet werden. Im Bereich der aktuellen Entwicklungen in Forschung und Technologie wird im globalen Kontext auf „Artensterben, Raumforschung, Entstehung und Struktur des Weltalls“⁹¹ eingegangen – also Bereiche, die von der Impact-Thematik berührt werden (siehe Abbildung 9).

Bisherige empirische Untersuchungen im deutschsprachigen Raum zu Schülervorstellungen befassen sich nicht mit Bereichen, die zu den Themenbereichen Meteoreiteneinschläge oder Naturkatastrophen in Verbindung stehen⁹². Jedoch gibt es ausführliche Studien zu Schülervorstellungen in der Physikdidaktik und Biologiedidaktik. Sie fußen auf dem klassischen qualitativen Vorgehen im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. ILLNER (2000) schlägt folgende Schritte für die Auswertung der Interviews vor:

- Durchführung problemzentrierter Interviews und Aufzeichnung mit analogem/digitalem Aufnahmegerät,
- Transkribierung der Interviews,
- Redigierung,
- Ordnung der Aussagen,
- Explikation,
- Strukturierung⁹³.

Auch für die vorliegende Studie werden Interviews zur Erhebung von Schülervorstellungen verwendet und analog dem Vorgehen von ILLNER (2000) und anderen Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion ausgewertet.

Im angelsächsischen Raum hat TREND (1998, 2001b)⁹⁴ das geologische Zeitbewusstsein von Kindern und Jugendlichen unterschiedlichen Alters untersucht. Er

⁸⁹ OECD (2007) S. 43

⁹⁰ OECD (2007) S. 43

⁹¹ OECD (2007) S. 43

⁹² Grundlegend für die Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen in der Geographiedidaktik sind die Arbeiten von SCHULER, S. (2004a) *Alltagstheorien von Schülerinnen und Schülern zum globalen Klimawandel*. In: Kroß, E. (Hrsg.) *Globales Lernen im Geographieunterricht. Erziehung zu einer nachhaltigen Entwicklung*. 15. Symposium des Hochschulverbandes für Geographie und ihre Didaktik in Bochum vom 10.-12.06.03. Nürnberg. (=Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 38), S.123-145, sowie SCHULER, S. (2004b) *Alltagstheorien über den globalen Klimawandel. Eine empirische Untersuchung von Schülervorstellungen*. In: Praxis Geographie 34.Jg., H.11, S. 42-43. und REINFRIED, S. (2005) *Wie kommt Grundwasser in der Natur vor? – Ein Beitrag zur Praxisforschung über physisch-geographische Alltagsvorstellung von Studierenden*. In: Geographie und ihre Didaktik 33, Heft 3, S. 133-156.

⁹³ ILLNER (2000) S. 13

⁹⁴ TREND, R. (1998) *An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children*. In: International Journal of Science Education, n. 20(8), S. 973-988.

verwendet das Konzept der „*deep time*“⁹⁵, also die Vorstellungen über Ereignisse im Rahmen der 4,5 Milliarden Jahre umspannenden Erdgeschichte. TREND (2001b) geht davon aus, dass die Vorstellungen zur geologischen Zeitskala einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis von Umweltprozessen haben:

*„It is proposed that failure to engage securely with deep time is likely to inhibit learning across many aspects of environmental science and across the range of intellectual levels.“*⁹⁶

Diese Sichtweise kann auch auf das Thema der Meteoriteneinschläge übertragen werden, da das Verständnis der geologischen Zeitskala direkte Auswirkungen auf die Einschätzung der Gefährdung durch Impakte hat. Der Gegensatz von geringer Wahrscheinlichkeit, jedoch gleichzeitig enormem Zerstörungspotenzial kann nur mit dem Verständnis der geologischen Zeiträume aufgelöst werden. Daher werden in Anlehnung an TREND (2001b) die Vorstellungen zum ‚Deep Time Framework‘ als ‚kritische Barriere‘ für das Bewusstsein über die Gefährdung durch Impakte gesehen⁹⁷. Methodisch arbeitet TREND (2001b) mit Fragebögen, auf denen die Probanden frei ihnen bekannte Ereignisse der Erdgeschichte zu den Themen Leben, Klima, Oberflächenformen und Stoffe der Erde angeben und – wenn möglich – datieren sollen. An der Untersuchung nahmen insgesamt 50 Probanden teil, so dass 775 Statements zu geologischen Ereignissen registriert werden konnten. TREND (2001b) gruppiert die Nennungen in 28 Unterkategorien (z.B. „*Big Bang*“, „*Earth formed*“)⁹⁸ und sortiert sie nach der Häufigkeit der Nennungen. In diesem Ranking stehen „*Bolide impacts on Earth*“ mit 20 Nennungen an 13. Stelle im Mittelfeld – (britischen) Schülern sind Meteoriteneinschläge damit durchaus bekannt und können als Begriff aktiv genannt werden.

Kausalzusammenhang	Anzahl der Nennungen
Impakt eines Boliden löst Aussterben der Dinosaurier aus	13
Urknall führt zur Entstehung der Erde	9
Menschen entwickeln sich aus Affen	7
Impakt eines Boliden löst Klimawandel aus	2
Klimawandel löst Aussterben der Dinosaurier aus	2
Urknall löst Aussterben der Dinosaurier aus	1
Vulkanausbrüche lösen atmosphärische Veränderungen aus	1
Vulkanausbrüche lösen atmosphärische Veränderungen aus, die wiederum zu Massensterben führen	1

Abbildung 10: Nennungen von Kausalzusammenhängen geologischer Ereignisse 17-jähriger Schüler nach TREND (2001b)⁹⁹

TREND, R. (2001) An investigation into the Understanding of Geological Time among 17-year-old Students, with implications for the Subject Matter Knowledge of Future Teachers. In: International Research in Geographical and Environmental Education, n. 10(3), S. 298-321.

⁹⁵ TREND (2001b) S. 309

⁹⁶ TREND (2001b) S. 308

⁹⁷ Siehe hierzu auch Kapitel 3.3.4. zur wissenschaftlichen Sichtweise über die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

⁹⁸ TREND (2001b) S. 310

⁹⁹ TREND (2001b) S. 312, übersetzt

In Bezug auf komplexere Vorstellungen kann die Studie zeigen, dass bei der Erklärung von Kausalzusammenhängen zwischen verschiedenen geologischen Ereignissen die Schüler an erster Stelle das Aussterben der Dinosaurier mit dem Einschlag eines Boliden in Verbindung bringen¹⁰⁰ (siehe auch Abbildung 10). In der Untersuchung von TREND nannten 13 Befragte den Einschlag eines Meteoriten als Auslöser für das Aussterben der Dinosaurier; sieben Probanden waren der Meinung, dass ein Meteoriteneinschlag einen Klimawandel ausgelöst habe.

Einige Schüler verfügen somit über komplexere Vorstellungen zur Impakt-Thematik, die sich auf der Ebene der Konzepte ansiedeln lassen – beinhalten sie doch über reine Begrifflichkeiten hinaus auch Vorstellungen zu systemischen Zusammenhängen. Dies führt jedoch laut TREND (2001b) zusammenfassend auch dazu, dass Schüler Begriffe und Zusammenhänge oftmals durcheinander bringen. Im Einzelnen führt er auf, dass viele Probanden

- den Urknall mit dem Einschlag eines Meteoriten verwechseln,
- die unter Wissenschaftlern konkret verstandene ‚Eiszeit‘ mit dem generellen Ausdruck einer Klima-Abkühlung verwechseln,
- das Aussterben der Dinosaurier mit dem Aussterben des Mammuts durch eine globale Abkühlung in Verbindung bringen¹⁰¹.

Alle genannten Punkte verweisen direkt oder durch den Zusammenhang mit Massensterben indirekt auf das Thema Meteoriteneinschläge – ein korrektes Verständnis dieses Phänomens und der damit verbundenen Prozesse sollte damit ein Bestandteil eines Curriculums zu ‚deep time‘ darstellen. So argumentiert auch TREND (2001b), der als Ausgangspunkt für ein ‚Deep Time Framework‘ acht Punkte vorstellt:

1. Anpassung und Verwendung der bei Lernenden vorhandenen Interessen und Erfahrungen,
2. Auseinandersetzung mit vorhandenen Vorstellungen zur Erdgeschichte,
3. Abdeckung der gesamten Erdgeschichte von 4,6 Milliarden Jahren,
4. Berücksichtigung großer Ereignisse in der Geschichte des Lebens, so z.B. das erste und letzte Auftreten einer Art und Massensterben,
5. Berücksichtigung großer Ereignisse kontinentaler Fragmentierung,
6. Berücksichtigung von Ereignissen, die eine Verbindung zwischen Gegenwart und Zukunft herstellen,
7. Adressierung der wichtigsten geologischen Materialien der Erde, so z.B. Gesteine und Mineralien,
8. Berücksichtigung des Klimawandels¹⁰².

Unter Berücksichtigung der genannten Punkte können Meteoriteneinschläge – da sie den Schülern aus den Medien als Phänomen der Erdgeschichte bekannt sind – als Ausgangspunkt für eine Auseinandersetzung mit der geologischen Zeitskala dienen und so das Verständnis für Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit von Impakten und anderen, oftmals auch schleichenden geologischen Prozessen, weiter entwickeln:

„we all need to be able to locate events which have ‘accumulating importance’ through geological time, whether or not they can be shown to relate to any ‘environmental crisis’.“¹⁰³

¹⁰⁰ TREND (2001b) S. 312

¹⁰¹ TREND (2001) S. 315

¹⁰² TREND (2001b) S. 316

LIBARKIN et al. (2005)¹⁰⁴ untersuchen Schülervorstellungen¹⁰⁵ über Systemprozesse auf der Erde, wobei sie offene Fragebögen und Interviews zur qualitativen und quantitativen Auswertung heranziehen. Im Rahmen der Untersuchung, bei der insgesamt 265 Fragebögen und 105 Interviews verfügbar waren, wurden Vorstellungen, Ontologien und das geologische Zeitbewusstsein erfasst. Das Thema Meteoriteneinschläge wird zwar nicht angesprochen, jedoch können die Ergebnisse zu den Vorstellungen über geologische Zeiträume für die vorliegende Arbeit eine Basis sein. LIBARKIN et al. (2005) kommen zu dem Ergebnis, dass weniger als 50% der Schüler glauben, dass die Erde vier bis fünf Milliarden Jahre alt sei. Die Schüler würden eine Reihe von Fehlvorstellungen¹⁰⁶ bezüglich der Entstehung der Erde und des Lebens vorbringen, die sich als interindividuell sehr konsistent erweisen. So würden viele Schüler annehmen, dass bereits bei der Entstehung der Erde neben einzelligen Lebewesen auch Dinosaurier, Reptilien oder Fische existiert hätten. Diese Vorstellungen sind allerdings unabhängig von anderen untersuchten Vorstellungen wie dem vermuteten Alter der Erde – im Gegensatz zur Vorstellung, dass Menschen bei der Entstehung der Erde anwesend waren: diese spezielle Vorstellung war immer mit einer religiösen Referenz versehen und geht in Einklang mit der Vorstellung eines jungen Alters der Erde (weniger als 100.000 Jahre). Zusammenfassend halten LIBARKIN et al. (2005) fest, dass die „*Miteinbeziehung von wissenschaftlicher Terminologie in Erklärungen nicht zwingend deren Verständnis impliziert*“¹⁰⁷. Dieser Schluss ist ein zentraler Hinweis für die vorliegende Studie, nicht auf der Ebene reiner Begrifflichkeiten zu verbleiben, sondern die schriftlich und mündlich geäußerten Schülervorstellungen auf ihre Konsistenz und Komplexität hin zu betrachten.

Studien zu den Themen Erdbeben und Vulkanismus liegen aus den USA und der Türkei vor. LIBARKIN (2007)¹⁰⁸ untersucht Vorstellungen über das Auftreten von Erdbeben und Vulkanen auf der Erde. Hierzu zeichneten 80 Probanden auf einer Weltkarte Gebiete ein, in denen Vulkane und Erdbeben gehäuft auftreten. Die Ergebnisse zeigen, dass viele Studenten den pazifischen Feuerring als Gebiet für das Auftreten beider Phänomene erkennen. Einige platzierten Erdbeben und Vulkane an bestimmten Orten, wie z.B. die Westküste Nordamerikas, Indien und Japan. Jedoch konnten Vulkane wesentlich weniger genau lokalisiert werden. Zusammenfassend kommt LIBARKIN (2007) zu dem Ergebnis, dass die Probanden entweder kein tieferes Verständnis für den Zusammenhang von Plattentektonik, Vulkanen und Erdbeben besitzen oder nicht fähig sind, auf einer Karte Plattengrenzen zu erkennen.

¹⁰³ TREND (2001b) S. 298, Hervorhebungen durch TREND nach einem Zitat von GOULD, S.J. (1990) *The golden rule – a proper scale for our environmental crisis*. In: Natural History Nr. 9, S. 24-30.

¹⁰⁴ LIBARKIN, J.C. et al. (2005) *Qualitative Analysis of College Students' Ideas about the Earth: Interviews and Open-Ended Questionnaires*. In: Journal of Geoscience Education. V.53, N.1, Februar 2005, S. 17-26.

¹⁰⁵ Die Untersuchung bezieht sich auf Studenten auf dem Introductory Level US-amerikanischer Universitäten; daher können die Daten mit denen von Oberstufenschülern deutscher Schulen durchaus verglichen werden

¹⁰⁶ Der von LIBARKIN et al. (2005) verwendete Begriff ‚misconceptions‘ soll hier in seiner verwendeten Bedeutung nicht umformuliert werden

¹⁰⁷ „*These findings suggest that the incorporation of scientific terminology into an explanation does not necessarily imply understanding*“, LIBARKIN et al. (2005) S. 24

¹⁰⁸ LIBARKIN, J.C. (2007) *Analysis of student conceptions of global earthquake and volcano occurrence*. In: 2007 GSA Denver Annual Meeting. Paper No. 213-4. (Internetquelle: http://gsa.confex.com/gsa/2007AM/finalprogram/abstract_130123.htm, Zugang April 2008)

LACIN SIMSEK (2007)¹⁰⁹ hat türkische Schüler der ersten, zweiten, sechsten und achten Jahrgangsstufe nach ihren Vorstellungen zu Erdbeben befragt. Dabei kamen halbstandardisierte Interviews zum Einsatz, womit insgesamt 40 Probanden befragt wurden. Zentrales Ergebnis ist, dass auch mit ansteigendem Alter keine wissenschaftliche Perspektive zur Erklärung von Erdbeben eingenommen wird. Viele Schüler sprechen Erdbeben sogar den Status eines natürlichen Phänomens ab und sehen sie als von Gott verursacht, also als metaphysisch bedingt und nicht von der Wissenschaft erklärbar. Diese Ansicht scheint in anderen Teilen der Türkei sogar noch weiter verbreitet zu sein¹¹⁰. Für die vorliegende Studie kann dieses Erkenntnis insofern von Bedeutung sein, als auch Meteoriteneinschläge als übernatürliches Phänomen gesehen werden könnten und darauf bei der Auswertung der Interviews und der Fragebögen geachtet werden sollte.

2.3.2. Schülervorstellungen: Affektive Komponente

Mit KATTMANN (2007) sollen Schülervorstellungen als Einheit kognitiver und affektiver Komponenten gesehen werden. Da jedoch letztere in enger Nachbarschaft zum theoretischen Konstrukt Einstellungen stehen, ist eine Abgrenzung der Bereiche erforderlich.

Besonders hervorzuheben zum Bereich Schülereinstellungen ist die Arbeit von UPHUES (2007)¹¹¹, die sich mit der Einstellung Jugendlicher zur Globalisierung auseinandersetzt. Dabei musste grundsätzlich eine Entscheidung getroffen werden zwischen dem 1-Komponenten-Ansatz und dem 3-Komponenten-Ansatz, die beide aus der pädagogischen Psychologie übernommen werden. UPHUES (2007) macht auf das Problem der Trennung von Vorstellungen und Einstellungen bereits indirekt aufmerksam, indem er sowohl die Vor- und Nachteile der beiden Einstellungs-Modelle vorstellt und sich dann für den komplexeren 3-Komponenten-Ansatz entscheidet. Er zeichnet sich durch eine Dreiteilung des Begriffs Einstellung in die kognitive, affektive und konative Dimension aus. Dabei repräsentiert die „*kognitive Vorstellung [...] die Gedanken, bei der Wahrnehmung eines Einstellungsobjekts, was als Wissen, bzw. Information über das Objekt gesammelt wird*“¹¹². Eine derartige Definition erschwert eine deutliche Abgrenzung zum Konstrukt der Vorstellungen, vielmehr könnten auch Vorstellungen als kognitive Unterkategorie von Einstellungen verstanden werden. Dieser Kategorisierung widerspricht jedoch KATTMANN (2007), der Interesse, kognitive und affektive Vorstellungen als eigenständig zu betrachten versteht. Weiterhin führt UPHUES (2007) an, dass die drei Einstellungs-Dimensionen empirisch schwierig zu unterscheiden seien: „*So sind beispielsweise die drei Reaktionen faktorenanalytisch nur schwer trennbar, da sie sehr hohe Interkorrelationen aufweisen*“¹¹³. Einstellungen seien eher ein „*hypothetisches Konstrukt*“, das sich aus aufeinander bezogene und sich beeinflussende Komponenten bestehe¹¹⁴. Diese Erkenntnis schlägt sich auch in der Formulierung der Hypothesen für die vorliegende Arbeit nieder. Zudem soll aufgrund der komplexen Verflechtungen der theoretischen Konstrukte im Weiteren eine Beschränkung auf den Bereich der Gefahreinschät-

¹⁰⁹ LACIN SIMSEK, C. (2007) *Children's Ideas about Earthquakes*. In: Journal of Environmental & Science Education, 2007, 2 (1), S. 14-19.

¹¹⁰ LACIN SIMSEK (2007) S. 17

¹¹¹ UPHUES, R. (2007) *Die Globalisierung aus der Perspektive Jugendlicher. Theoretische Grundlagen und empirische Untersuchungen*. In: Geographiedidaktische Forschungen. Band 41. Dissertation. Weingarten.

¹¹² UPHUES (2007) S. 5, Hervorhebung durch UPHUES

¹¹³ UPHUES (2007) S. 6

¹¹⁴ UPHUES (2007) S. 6

zung vorgenommen werden, der hier als affektive Komponente von Vorstellungen gesehen wird.

Den Zusammenhang von kognitiven und affektiven Vorstellungen (also der Risikoeinschätzung) macht BOGUN (2006)¹¹⁵ deutlich. Er versucht zu zeigen,

*„dass und warum es sinnvoll ist, Umwelt- und Nachhaltigkeitsprobleme als Probleme des gesellschaftlichen Umgangs mit Risiken sowie folglich auch die darauf bezogenen subjektiven Deutungs- und Einstellungsmuster als Risikobewusstsein zu begreifen.“*¹¹⁶

BOGUN (2006) entwickelt ein komplexes Modell der Risikowahrnehmung und -bewertung, das als zentralen Punkt beinhaltet, dass *„die Befragten klar zwischen persönlichen und gesellschaftlichen Risiken [unterscheiden]“*¹¹⁷. Dabei werden alltägliche Risiken als akzeptabel bewertet, während Risiken auf gesellschaftlicher Ebene in der Verantwortlichkeit von Politikern und der Industrie gesehen werden.

Zur Risikoeinschätzung von Umweltthemen und Naturkatastrophen gibt es eine Fülle von weiteren Untersuchungen¹¹⁸, die sich mit der Wahrnehmung von Risiken bezüglich Naturkatastrophen befassen. Kernbestandteil von PLAPPs (2002) Untersuchung zur Wahrnehmung von Risiken aus Naturkatastrophen ist die abhängige Variable der generellen Einschätzung der Gefährlichkeit von Naturrisiken. Sie wird operationalisiert aus den Komponenten Risikomerkmale, die freie Begründung der Gefährlichkeit, Ursachenzuschreibungen, Wertorientierungen und den persönlichen Eigenschaften¹¹⁹ (siehe Abbildung 11).

¹¹⁵ BOGUN, R. (2006) *Umwelt- und Risikobewusstsein als Voraussetzung für Verhaltensänderungen in Richtung Nachhaltigkeit*. (= artec-paper Nr. 133, artec - Forschungszentrum Nachhaltigkeit, Bremen).

¹¹⁶ BOGUN (2006) S. 2, Hervorhebungen durch BOGUN

¹¹⁷ BOGUN (2006) S. 17

¹¹⁸ Einen sehr ausführlichen Überblick bietet PLAPP, S.T. (2003) *Wahrnehmung von Risiken aus Naturkatastrophen. Eine empirische Untersuchung in sechs gefährdeten Gebieten Süd- und Westdeutschlands*. Diss. Karlsruhe.

¹¹⁹ PLAPP (2003) S. 125



Abbildung 11: Bausteine des Konzepts der Risikoeinschätzung nach PLAPP (2003)¹²⁰

Die Befragten sollten die generelle Gefährlichkeit der vorgegebenen Risikoquellen auf einer Skala von 1 bis 100 einzuschätzen. Die vorgegebenen Risikoquellen waren aus unterschiedlichen Bereichen ausgewählt worden, um so ein möglichst breites Bild zu erhalten, wie Sturm, Hochwasser und Erdbeben im Vergleich zu anderen Risikoquellen eingeschätzt werden. Dieses Vorgehen wird auch für das vorliegende Forschungsprojekt gewählt, jedoch wird die Skala verändert wieder verwendet.

¹²⁰ PLAPP (2003) S. 125

	N	Median	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Varianz
1. AIDS	446	88	75	27,65	764,39
2. Brand des Hauses	450	79,5	69,73	27,50	756,20
3. Schädigung der Ozonschicht	450	78	74,52	20,29	411,67
4. Erdbeben	449	73	62,66	31,45	989,11
5. Rauchen	447	72	71,36	21,73	472,03
6. Umweltverschmutzung	449	72	68,24	21,92	480,31
7. Atomenergie	448	65	63,02	27,72	768,28
8. *Hochwasser	448	61	59,13	26,02	677,10
9. *Wirtschaftskrise	446	56	57,93	23,67	560,09
10. *Gentechnisch veränderte Lebensmittel essen („Genfood“)	448	52	54,29	28,19	792,88
11. *Autofahren	449	50	51,42	22,70	515,07
12. *Alkohol trinken	445	49	49,37	23,75	564,17
13. *Sturm	446	45,5	47,59	23,29	542,64
14. *Elektrosmog	449	40	41,22	23,87	569,71
15. *Skifahren	446	37,5	37,88	21,11	445,78
16. Flugzeug fliegen	449	30	34,81	23,05	531,43
Gültige Fälle (listwise)	421				

Abbildung 12: Einschätzung der Gefährlichkeit verschiedener Risiken nach PLAPP (2003)¹²¹

Aus der Untersuchung geht hervor, dass die Befragten (n=450) die drei untersuchten Naturrisiken Sturm, Hochwasser und Erdbeben durchaus differenziert betrachten. Vergleicht man die Medianwerte, so werden Erdbeben als die gefährlichste Risikoquelle angesehen, Hochwasser nimmt eine mittlere Position ein, während das Item ‚Sturm‘ im unteren Feld der Liste als wenig gefährlich eingeschätzt wird¹²². Dabei stehen die Erdbeben insgesamt an vierter Stelle (siehe Abbildung 12). Weiterhin kann PLAPP (2003) feststellen, dass die Einschätzung der verschiedenen Naturrisiken mittelstark miteinander korrelieren (bei Hochwasser und Sturm, bzw. Hochwasser und Erdbeben): „Eine hohe Einschätzung von Hochwasser geht also tendenziell auch mit einer hohen Einschätzung von Sturm und Erdbeben einher.“¹²³ Dieses Resultat sollte auch auf die Gefahreneinschätzung von Meteoriteneinschlägen übertragbar sein. Da sich von den von PLAPP (2003) gewählten Naturrisiken Erdbeben am ehesten mit Meteoriteneinschlägen vergleichen lassen sollten, könnten sich die Ergebnisse zu Einschätzung dieses Naturrisikos mit jenen decken. Allerdings ist auf ein generelles Problem der Übertragung von PLAPPs Ergebnissen auf vorliegende Studie hinzuweisen: während das aktuelle Projekt Schüler aus den Klassenstufen 5 und 11 (und daher in den Altersstufen 10/11 sowie 17/18) im Fokus hat, liegt der

¹²¹ PLAPP (2003) S. 126; Hervorhebungen durch PLAPP

¹²² PLAPP (2003) S. 126

¹²³ PLAPP (2003) S. 126

Altersdurchschnitt bei PLAPP (2003) bei 47,6 Jahren¹²⁴. Daher müssen die Ergebnisse immer vor dem Hintergrund der altersabhängigen Entwicklung gesehen werden. Dennoch können PLAPPs zentrale Ergebnisse zumindest als Ausgangspunkt für weitere Überlegungen auch im schuldidaktischen Rahmen gesehen werden:

1. Sturm, Hochwasser und Erdbeben werden in ihrer Gefährlichkeit unterschiedlich eingeschätzt. Es fällt also schwer, von der Einschätzung von ‚Naturrisiken‘ als einer Gruppe zu sprechen;
2. Die Gefährlichkeit von Erdbeben wird von den Befragten in eine ähnliche Größenordnung wie die der ‚technischen‘ Risikoquelle (Atomkraft) und wie die globaler Umweltrisiken, Krankheiten (AIDS) und des Rauchens eingeordnet;
3. Die Naturrisiken Hochwasser und Sturm werden in ihrer Gefährlichkeit geringer als Umwelt-Risiken (Schädigung der Ozonschicht, Umweltverschmutzung) eingeschätzt¹²⁵.

Ähnliche Ergebnisse können PLAPP/WERNER (2002)¹²⁶ mit ihrer Untersuchung zur Wahrnehmung von Risiken aus extremen Naturereignissen präsentieren. Die Befragten sehen die generelle Gefährlichkeit von Sturm, Hochwasser, Erdbeben und Vulkanausbrüchen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Atomenergie, einen Hausbrand, das Autofahren oder eine Wirtschaftskrise¹²⁷. Insgesamt nahmen an der Untersuchung 77 Personen teil, davon 32 männlich und 43 weiblich. Das durchschnittliche Alter der Befragten lag mit knapp 26 Jahren zwar deutlich über der von der klassischen Schuldiddaktik anvisierten Zielgruppe, jedoch weisen PLAPP/WERNER (2002) darauf hin, dass das Antwortverhalten nicht auffallend vom Alter der Befragten (mit einer Altersspanne von 21 bis 40 Jahren)¹²⁸ abhing, so dass die Ergebnisse durchaus auch für jüngere Befragte als Vergleichswert – mit der gebotenen Bewusstheit der möglichen entwicklungspsychologisch bedingten Differenzen – herangezogen werden können. Im Detail wurden für die Studie 17 Risikoquellen aus unterschiedlichen Bereichen (Technik, Medizin, Umwelt und Natur, Alltags- und Freizeitaktivitäten)¹²⁹ auf einer Skala von 1 bis 100 nach ihrer Gefährlichkeit beurteilt. Ihre Ergebnisse schränken PLAPP/WERNER (2002) dahingehend ein, dass durch die große Streuung der Antworten nur ihrer Tendenz nach interpretiert werden sollen. Die Studie unterscheidet mehrere Schwerpunkte der Befragung:

1. Einschätzung von Naturrisiken im Vergleich zu anderen Risikoquellen
2. Wahrgenommene Risikomerkmale
3. Erklärungsmuster für Naturkatastrophen
4. Informationsquellen als Grundlage für die Beantwortung der Fragen
5. Risikobereitschaft
6. Einstellungen zu Gesellschaft und Natur

Für das vorliegende Forschungsprojekt sind aus dem Bereich der Einstellungen in erster Linie die Ergebnisse zur Einschätzung von Naturrisiken von Relevanz. Weiter-

¹²⁴ PLAPP (2003) S. 112

¹²⁵ PLAPP (2003) S. 126

¹²⁶ PLAPP, S.T. und WERNER, U. (2002) Hochwasser, Stürme, Erdbeben und Vulkanausbrüche : Ergebnisse der Befragung zu Wahrnehmung von Risiken aus extremen Naturereignissen. Sommerakademie der Studienstiftung des Deutschen Volkes. Rot an der Rot.

¹²⁷ PLAPP/WERNER (2002) S. 2

¹²⁸ PLAPP/WERNER (2002) S. 3

¹²⁹ PLAPP/WERNER (2002) S. 5

hin können die Ergebnisse von PLAPP/WERNER (2002) zu den Informationsquellen mit neuen Resultaten verglichen werden.

Zusammenfassend werden folgende Einschätzungen von Naturrisiken im Vergleich zu anderen Risikoquellen und die Quellen der Einschätzungen festgehalten:

- die Befragten setzen die vier Naturrisiken Sturm, Hochwasser, Erdbeben und Vulkanausbruch in eine ähnliche Größenordnung hinsichtlich ihrer allgemeinen Gefährlichkeit wie Atomenergie, Hausbrand, Autofahren und die Wirtschaftskrisen¹³⁰,
- aus drei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten („aus eigener Erfahrung“, „aus Medien aller Art (TV, Zeitungen, Büchern, Vorträgen)“, „aus Erzählungen von Freunden oder Bekannten“) wurden Medien und Bücher bei weitem am häufigsten genannt (siehe Abbildung 13); PLAPP/WERNER erklären dies „mit der Bedeutung, die Medien in unserem Leben und der Erfahrung im Geschehen in der Welt haben“¹³¹.

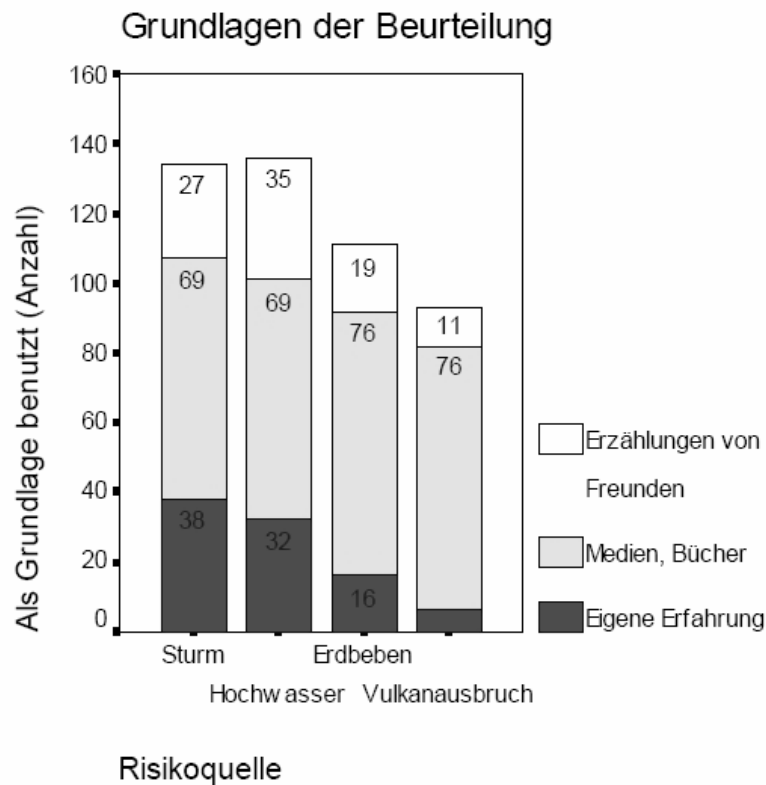


Abbildung 13: Informationsquellen zur Beurteilung von Naturrisiken nach PLAPP/WERNER (2002)¹³²

¹³⁰ PLAPP/WERNER (2002) S. 6

¹³¹ PLAPP/WERNER (2002) S. 13 und 14

¹³² PLAPP/WERNER (2002) S. 13

Für das vorliegende Forschungsprojekt schlagen sich diese Ergebnisse in der Formulierung einer Hypothese zur Gefahreneinschätzung durch Meteoriteneinschläge nieder, die ähnliche Werte für die Einschätzung von Meteoriteneinschlägen und anderen Gefahren wie Stürmen oder der Atomenergie postuliert (siehe Kapitel 4.2.2. zu den Hypothesen der Hauptstudie).

Weiterhin kann aufgrund der Ergebnisse von PLAPP/WERNER¹³³ davon ausgegangen werden, dass die Medien auch zum Thema Impakte die primäre Informationsquelle darstellen – fallen doch die eigenen Erfahrungen vollständig beiseite. Daher wird in vorliegender Arbeit der Bereich der Medien differenzierter betrachtet und eine Unterscheidung vorgenommen zwischen Dokumentationen im Fernsehen, Fachbüchern, Schule und Unterricht, Kino- und Fernsehfilmen, Zeitschriften, Tages- und Wochenzeitungen, dem Internet sowie sonstigen Quellen.

Äußerst umfassende Ergebnisse zur Risikoeinschätzung in der deutschen Bevölkerung liefert das BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2006) in seinem Bericht zum Umweltbewusstsein in Deutschland¹³⁴. Die 2006 durchgeführte Erhebung umfasste über 2000 Probanden und wurde mit klassischen quantitativen Methoden erhoben. Das für die vorliegende Studie wichtige Feld der Risikowahrnehmung wurde mit Hilfe einer 5-stufigen Likert-Skala erfasst, was die Vergleichbarkeit mit anderen Daten wesentlich vereinfacht (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Dabei konzentrierte sich die Befragung auf die individuelle Perspektive der Gefahreneinschätzung, da explizit gefragt wurde, wie gefährlich eine bestimmte Gefahr für sich selbst und die Familie eingeschätzt wird.

Angaben in %	äußerst gefährlich für mich und meine Familie	sehr gefährlich für mich und meine Familie	etwas gefährlich für mich und meine Familie	kaum gefährlich für mich und meine Familie	überhaupt nicht gefährlich für mich und meine Familie	Mittelwert
Wie gefährlich ist eine durch den „Treibhauseffekt“ verursachte weltweite Klimaveränderung Ihrer Meinung nach für Sie und Ihre Familie?	17	30	34	15	4	2,58
Wie gefährlich sind Atomkraftwerke und der entstehende radioaktive Müll Ihrer Meinung nach für Sie und Ihre Familie?	25	22	24	21	7	2,63
Wie gefährlich ist die Verwendung von gentechnisch veränderten Organismen (wie gentechnisch veränderter Mais) in verschiedenen Lebensmitteln Ihrer Meinung nach für Sie und Ihre Familie?	18	24	29	21	8	2,77
Wie gefährlich ist die durch Autos und Industrie verursachte Luftverschmutzung Ihrer Meinung nach für Sie und Ihre Familie?	5	23	44	23	6	3,02
Wie gefährlich ist das Verschmutzen der Bäche, Flüsse und Seen in Deutschland Ihrer Meinung nach für Sie und Ihre Familie?	7	19	36	30	7	3,13

Abbildung 14: Originaldaten zur Risikoeinschätzung für ausgewählte Themen nach BMU (2006)¹³⁵

Die Studie des BMU (2006) zeigt, dass fast jeder zweite Deutsche den Klimawandel und die Atomkraft als Bedrohung empfindet. Dabei ist die Einschätzung des Klimawandels unabhängig vom Geschlecht der Befragten, während sich durch die Atomkraft Frauen stärker als Männer persönlich bedroht fühlen¹³⁶. Diese Items können

¹³³ PLAPP/WERNER (2002) S. 14

¹³⁴ BMU (2006) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2006 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Berlin.

¹³⁵ Nach BMU (2006) S.32, graphsich verändert

¹³⁶ Nach BMU (2006) S.32, graphsich verändert

auch für die Befragung zum Thema Meteoriteneinschläge herangezogen werden und durch die Verwendung einer ähnlichen Skala verglichen werden – ursprünglich fand für die Untersuchung des BMU eine 5-stufige Likert-Skala Anwendung, jedoch war die Skala so konzipiert, dass ein niedriger Mittelwert eine als hoch empfundene Gefährdung anzeigt; um den Vergleich mit der in dieser Arbeit verwendeten Skala sicherzustellen, wurden die Werte in Abbildung 15 transformiert.

Die Werte wurden zur besseren Vergleichbarkeit auf die folgende Skala umgewandelt: Wert 1: niedrige Gefährdungseinschätzung, Wert 5: hohe Gefährdungseinschätzung; deutlich zu erkennen ist die überdurchschnittliche Bewertung der Themen Treibhauseffekt ($\xi=3,41$), Atomkraftwerke ($\xi=3,34$) und Luftverschmutzung ($\xi=3,23$).

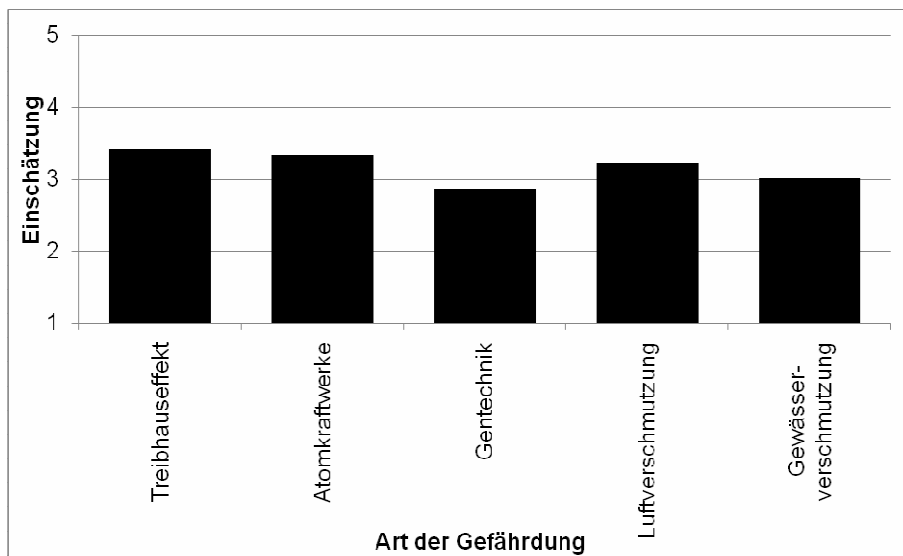


Abbildung 15: Risikoeinschätzung für ausgewählte Themen nach BMU (2006) – transponierte Daten¹³⁷

Wichtig für den Vergleich von wissenschaftlichen Risikoeinschätzungen und den Annahmen nicht-professioneller Personen ist die unterschiedliche Genese der Einschätzungen. Darauf weist WESTERHOFF (2002)¹³⁸ in seinem Artikel zu verschiedenen Risikowahrnehmungen hin. Grundsätzlich berechnen Experten das Risiko mit Hilfe mathematischer Formeln (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.4. zur Wahrscheinlichkeit eines Einschlags), während Laien oft undifferenzierter und nach dem Gefühl eine Risikobeurteilung abgeben. Auch PLAPP (2003) definiert:

„Unter Risikowahrnehmung und -bewertung wird hier im weiteren Sinne der alltagsweltliche Prozess verstanden, mit dem Menschen ohne die Rückgriffsmöglichkeit auf lange Datenreihen und exakte Rechenmodelle Risiken einschätzen.“¹³⁹

¹³⁷ Originaldaten aus BMU (2006) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2006 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Berlin. S.32

¹³⁸ WESTERHOFF, N. (2002) *Wir leben nach unserer persönlichen Risikoformel*. In: Freitag-Die Ost-West-Wochenzeitung; Nr. 37, 06.09.2002.

¹³⁹ PLAPP (2003) S. 1; Hervorhebungen durch PLAPP

Damit ist ein deutlicher theoretischer Unterschied zu den Konstrukten Interesse und der kognitiven Komponente von Vorstellungen gegeben. Diese Erkenntnis schlägt sich auch in der Formulierung einer Kernhypothese für die vorliegende Arbeit nieder: Kann empirisch ein Zusammenhang von Interesse, kognitiven und affektiven Komponenten von Vorstellungen nachgewiesen werden? Weiterhin ist zu betrachten, ob sich die wissenschaftlichen Risikoeinschätzungen, wie sie in Literatur und Interviews eruiert wurden, von der Einschätzung der Schüler nicht statistisch messbar unterscheiden.

2.3.3. Interesse

Das Interesse am Thema Meteoriteneinschläge kann zum einen als eigenständiger Bereich der Forschung angesehen und als abhängige Variable erhoben werden – hier kann an die zahlreichen Publikationen zum Interesse angeknüpft werden. Zum anderen kann man jedoch das Interesse auch als unabhängige Variable betrachten, da es Zusammenhänge zwischen Interesse und Vorstellungen geben sollte. Das Interesse von Schülern an Teilbereichen der Geographie ist in den letzten Jahren intensiv untersucht worden, so dass hier kein vollständiger Überblick gegeben werden soll¹⁴⁰. Vielmehr wird auf die für vorliegende Arbeit zentralen empirischen Untersuchungen im Bereich der Naturkatastrophen besonderer Wert gelegt. Diesem Teilbereich widmen sich – jedoch mit unterschiedlicher Zentrierung – umfangreiche quantitative Studien, von denen sich HEMMER et al. (2005)¹⁴¹, HEMMER (2000), OBERMAIER (1997)¹⁴² sowie HEMMER/HEMMER (1996)¹⁴³ als Grundlage für vorliegende Arbeit ausweisen. Die genannten Studien basieren auf dem Interessenskonstrukt der pädagogischen Interessentheorie der Münchener Gruppe um PRENZEL, KRAPP und SCHIEFELE¹⁴⁴. Hier wird Interesse als eine Personen-Gegenstands-Korrelation verstanden, die sich nach den psychologischen Konstrukten Kognition, Emotion und Valenz orientieren. Interesse ist danach die Auseinandersetzung mit einem Gegenstand, die ohne äußere Veranlassung geschehen soll. Im Bereich der Kognition gehen die Autoren davon aus, dass ein Zusammenhang besteht zwischen den kognitiven Wissensstrukturen und dem gezeigten Interesse: „Der über längere Zeit bestehende Interessensbezug manifestiert sich in der Person in differenziertem und integriertem Wissen über den Gegenstandsbereich.“¹⁴⁵ Darüber hinaus werden erste empirische Untersuchungen herangezogen, die eine Interrelation von interessensbasierter Moti-

¹⁴⁰ Für einen ausführlichen Überblick über die geographische Interessensforschung sei auf HEMMER, M. (2000) *Westen ja bitte – Osten nein danke! Empirische Untersuchungen zum geographischen Interesse von Schülerinnen und Schülern an den USA und der GUS*. München, S. 19-21 verwiesen, der eine Renaissance der Interessensforschung in den vergangenen Jahren konstatiert; aktuellerer Überblick in: HEMMER/HEMMER (2002a), HEMMER/HEMMER (2002b), HEMMER/HEMMER (2002c)

¹⁴¹ HEMMER, I., HEMMER, M., BAYRHUBER, H., HÄUSSLER, P., HLAWATSCH, S., HOFFMANN, L. und RAFFELSIEFER, M. (2005) *Interesse von Schülerinnen und Schülern an geowissenschaftlichen Themen*. In: *Geographie und ihre Didaktik*. Heft 2. S. 57 – 72.

¹⁴² OBERMAIER, G. (1997) *Strukturen und Entwicklung des geographischen Interesses von Gymnasialschülern in der Unterstufe – eine bayernweite Untersuchung*. Dissertation. München.

¹⁴³ HEMMER, I. und HEMMER, M. (1996) *Welche Themen interessieren Jungen und Mädchen am Geographieunterricht? – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung*. In: *Praxis Geographie* H. 12, S. 41-43.

¹⁴⁴ PRENZEL, M., KRAPP, A. und SCHIEFELE, H. (1986) *Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie*. Zeitschrift für Pädagogik, 32, 163-173.

¹⁴⁵ PRENZEL/KRAPP/SCHIEFELE (1986) S. 166

vation und den bevorzugten Lernstrategien sowie der Qualität und Quantität von Lernergebnissen unterstützen¹⁴⁶.

Daher stellt sich für diese Untersuchung die Frage, ob der konkrete Zusammenhang von Vorstellungen und Interesse, wie ihn die Interessentheorie postuliert, auch empirisch nachgewiesen werden kann.

Eine erste Antwort auf diese Frage versucht SCHMITZ (2006)¹⁴⁷, die in ihrer Untersuchung zum Bereich Meeresforschung auf den Zusammenhang von Interesse und Wissen eingeht. Unter Bezugnahme auf die Interessensforschung RENNINGERS, PRENZELS, KRAPPS und SCHIEFELES postuliert sie, dass theoretisch ein positiver Zusammenhang besteht sowohl zwischen dem situationalen wie dem individuellen Interesse und den kognitiven Strukturen der Wissensrepräsentation. Diese Strukturen bezeichnet sie als Wissen, nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion könnte hier jedoch auch - zumal SCHMITZ (2006) explizit Faktenwissen und Strukturwissen unterscheidet - auch von Konzepten und Vorstellungen gesprochen werden (siehe hierzu Kapitel 2.3.1. zum Bereich der Kompetenzen im Rahmen der PISA-Studien). Dabei ist der Zusammenhang wechselseitig positiv - hohes Interesse und gegenstandsbezogenes Wissen können sich gegenseitig begründen. Diesem Zusammenhang kann man mit der Betrachtung des Interesses als unabhängige Variable nachgehen. SCHMITZ (2006) formuliert also die Hypothese, dass ein Zusammenhang bestehe

„zwischen dem themenspezifischen Interesse und der qualitativen Wissensstruktur. Je größer das themenspezifische Interesse in einem Lernprozess ist, desto elaborierter und integrierter ist die aufgebaute Wissensstruktur und die damit verbundene Transferleistung“¹⁴⁸.

Methodisch verwendet SCHMITZ (2006) einen Fragebogen zur Erhebung des Interesses, für die Erfassung der Wissensentwicklung werden Concept Maps herangezogen, wobei hier qualitative und quantitative Auswertungsmethoden Anwendung finden.

Aus den Ergebnisse der empirischen Untersuchung wird gefolgert: *„Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wissen und Interesse der vorliegenden Studie zeigte einen Trend, in dem das Strukturwissen der Schüler umso integrierter war, je höher das Interesse an Naturwissenschaften (individuelles Interesse) war.“¹⁴⁹* Interessant dabei ist, dass SCHMITZ jedoch ihre eingangs aufgestellte Hypothese über den positiven Zusammenhang von Interesse und Wissen in einer bestimmten Domäne im Ganzen verwirft und nur für den Bereich des „Strukturwissens“ als Trend gelten lässt, während sie sie für das „Faktenwissen“ aufgrund der quantitativen Ergebnisse falsifiziert. Dies stellt einen Anknüpfungspunkt für die vorliegende Arbeit dar, denn SCHMITZs Stichprobengröße von n=36 lässt zum einen die Vermutung zu, die Falsifizierung ihrer Hypothese sei aufgrund der zu geringen Stichprobe zustande gekommen - zum anderen kann sich ihre Schlussfolgerung jedoch tatsächlich auf

¹⁴⁶ HIDI, S., RENNINGER, K. A., und Krapp, A. (2004) *Interest, a motivational construct that combines affective and cognitive functioning*. In: Dai, D.Y. und Sternberg, R.J. (Hrsg.), *Motivation, emotion and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development* (pp.89-115). Mahwah, New York. S. 92.

¹⁴⁷ SCHMITZ, A. (2006) *Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“*. Dissertation. Kiel.

¹⁴⁸ SCHMITZ (2006) S. 33, angelehnt an KRAPP, A. (1992a). *Interesse, Lernen und Leistung*. Zeitschrift für Pädagogik, Ausgabe 38(5), S. 747-770.

¹⁴⁹ SCHMITZ (2006) S. 177

die Unabhängigkeit von Interesse und Vorstellungen zurückführen lassen (siehe auch Kapitel 4.2.2.).

In ihrer interdisziplinären Untersuchung zum Interesse an geowissenschaftlichen Themen verwenden HEMMER et al. (2005) einen dreistufigen Ansatz: das Interesse wird als Konstrukt mit den Dimensionen Gebiet, Kontext und Tätigkeit verstanden, die miteinander in Verbindung stehen. Aus diesem Ansatz ergibt sich eine Matrix aus Inhalten und Kontexten, die zur Formulierung einzelner Items verwendet wird. Die Inhalte sind je nach dem gewählten Thema variabel, während die Kontexte eine Konstante darstellen. Die Subkategorien beinhalten jeweils Fragen zum individuellen, gesellschaftlichen, normativen, systemischen, bzw. fachlichen Kontext, sowie zu den Kontextbereichen der Erdgeschichte, des Raums an sich und der Wissenschaftsmethodik (siehe Abbildung 16). Jede Gebiet-Kontext-Kombination wurde zur Formulierung eines Items verwendet, das die Probanden auf einer fünfstufigen Likert-Skala¹⁵⁰ graduell zustimmend - bzw. ablehnend – beurteilen konnten. Die Kombination jedes Teilgebiets mit den Kontexten liefert eine Fülle von Items für eine quantitative Untersuchung des Interesses; hervorgehoben sind die für die vorliegende Untersuchung besonders relevanten Kontexte und der Teilbereich „Erdbeben“.

Für eine Untersuchung zum Thema Meteoriteneinschläge ist die Kombination der acht Kontexte mit dem Gebiet G9 ‚Erdbeben‘ von besonderem Interesse, da sich die Werte im Bereich der Naturkatastrophen grundsätzlich ähneln sollten.

Gebiet	Kontext
G1 Teilsysteme der Erde	K1 individuell
G2 Kohlenstoffkreislauf	K2 gesellschaftlich
G3 Gesteine und Minerale	K3 normativ
G4 Fossile Rohstoffe	K4 systemisch
G5 Boden	K5 fachlich
G6 Gashydrate	K6 erdgeschichtlich
G7 Meer	K7 räumlich
G8 Trinkwasser	K8 wissenschaftsmethodisch
G9 Erdbeben	
G10 Klimaänderungen	
G11 Veränderungen der Biodiversität	

Abbildung 16: Themengebiete und Kontexte der geowissenschaftlichen Interessensforschung¹⁵¹

Die Studie kommt zu folgenden wichtigen Ergebnissen bezüglich des Interesses an geowissenschaftlichen Themen im Allgemeinen und dem Bereich Erdbeben im Speziellen:

- Generell zeigt sich ein mittleres Interesse an den elf Inhaltsgebieten,
- Am interessantesten finden Schülerinnen und Schüler die Bereiche ‚Erdbeben‘, ‚Klimaänderungen‘ und ‚Meer‘,

¹⁵⁰ Die methodische Überlegung bei der Verwendung der Likert-Skala geht davon aus, dass der Proband die Aussage eines Items um so mehr ablehnt, je weiter seine eigene Einstellung von der Formulierung des Items abweicht; damit soll eine methodisch objektive Messung von Einstellungen oder Interesse möglich sein.

¹⁵¹ HEMMER et al. (2005) S. 61

- Im offen gestalteten Teil des Fragebogens werden von den Probanden unter anderem noch die Bereiche ‚Vulkanismus‘ und ‚Naturkatastrophen‘ als besonders interessant erwähnt.

Zentral für diese Arbeit ist, dass sich für den Teilbereich ‚Erdbeben‘ in der Studie von HEMMER et al. (2005) ein deutlich über dem Durchschnitt liegendes Interesse zeigt und insgesamt als interessantestes Thema gesehen wird¹⁵². Dieses hohe Interesse sollte auch für den Bereich der Meteoriteneinschläge gelten, da sich die Naturkatastrophen Erdbeben und Meteoriteneinschläge in ihrer Perzeption ähneln.

Auch HEMMER (2000) geht in seiner Untersuchung zum Interesse von Schülern an den USA und den Nachfolgestaaten der UdSSR auf das Gebiet der Naturkatastrophen ein. Im Rahmen seiner Untersuchung wird mit dem nicht weiter unterteilten Bereich „Interesse an Naturkatastrophen“ gearbeitet, dabei ebenfalls auf der pädagogischen Interessentheorie der Münchner Gruppe aufbauend. HEMMER (2000) verwendet auch eine fünfstufige Likert-Skala, so dass die Ergebnisse mit vorliegender Arbeit leicht zu vergleichen sind. Der verwendete Fragebogen besteht aus 37 Items, die durch Hauptkomponentenanalyse und Varimax-Rotation zu sieben Subskalen verbunden werden¹⁵³: Topographie, Naturkatastrophen, Landschaft/Klima, Informationen über Jugendliche, Lebensalltag der Menschen, Wirtschaft/Besiedelung sowie Umweltprobleme. Zusammengefasst werden von HEMMER (2002) folgende zentrale Ergebnisse zum Thema Schülerinteresse an Naturkatastrophen vorgestellt¹⁵⁴:

- Die Subskala ‚Naturkatastrophen‘ erzielt den höchsten Mittelwert der gesamten Untersuchung,
- Bei der Hierarchisierung der einzelnen Items nehmen die ‚Gefahren durch Naturkatastrophen‘ mit $\xi=3,96$ ¹⁵⁵ hinter dem Item zum Internetkontakt mit Jugendlichen ($\xi=3,99$ ¹⁵⁶) den zweiten Platz ein,
- Das Interesse an der Subskala ‚Naturkatastrophen‘ bleibt zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 13 konstant hoch,
- Es können keine signifikanten Unterschiede in der Interessenslage für verschiedene Schularten (Hauptschule, Realschule, Gymnasium) in Bezug auf Naturkatastrophen ausgemacht werden,
- Jungen interessieren sich im Vergleich zu Mädchen geringfügig mehr für die Subskala ‚Naturkatastrophen‘.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich einige zentrale Hypothesen zur weiteren Überprüfung ableiten: liegt das Interesse für das Thema Meteoriteneinschläge ähnlich hoch wie in der Untersuchung von HEMMER (2000)? Zeigen sich Unterschiede im Interesse zwischen den Geschlechtern oder den Altersstufen?

Weiterhin ist zu prüfen, ob das Interesse bei Mädchen und Jungen unterschiedlich hoch ist, bzw. ob sich Unterschiede aufgrund des Alters nachweisen lassen (siehe hierzu auch das fünfte Kapitel zu den Hypothesen).

¹⁵² HEMMER et al. (2005) S. 62; der Mittelwert des Interesses liegt bei Jungen bei $x=3,67$, bei Mädchen bei $x=3,44$

¹⁵³ HEMMER (2000) S. 47

¹⁵⁴ HEMMER (2000) S. 108-118; Größe der Stichprobe: $n=2014$

¹⁵⁵ Errechnet aus den Mittelwerten der für USA und GUS getrennt angegebenen Aussagen der Schüler

¹⁵⁶ Ebenfalls errechnet aus den getrennt angegebenen Mittelwerten

Bereits weiter zurück liegt die Untersuchung von OBERMAIER (1997), die jedoch aufgrund ihrer Ausführlichkeit und des detaillierten Eingehens auf den Bereich Naturkatastrophen einen wichtigen Beitrag für die vorliegende Arbeit darstellt, zumal die Strukturen und Entwicklung des geographischen Interesses den Kernbereich von OBERMAIERs Arbeit bilden. Grundlage für die Studie bildet ein quantitativ auswertbarer Fragebogen, den 8000 Probanden ausfüllten. Aus dieser Anzahl wurden 1000 Fragebögen willkürlich gewählt, um eventuelle Lehrer- und Klasseneffekte, die das Ergebnis verfälschen könnten, zu vermeiden¹⁵⁷. Die Auswertung erfolgte mit den klassischen Methoden der statistischen Wissenschaften (Chi-Quadrat-Test auf Unabhängigkeit (Kreuztabellen), Mann-Whitney-U-Test, Kruskal-Wallis-H-Test)¹⁵⁸ und diente der Hypothesentestung.

OBERMAIER (1997) geht in einer ihrer Unterhypothesen davon von folgender Annahme aus: „Das Interesse ändert sich in seiner inhaltlichen Struktur im Zuge des Übergangs von der Kindheit zur Adoleszenz.“¹⁵⁹ Die Auswertung der Daten führt schließlich zu folgenden Ergebnissen:

„Fazit 7: Die geographischen Interessenbereiche verändern sich zwischen Kindheit und Adoleszenz.“

Fazit 8: In der Kindheit liegen die geographischen Interessenschwerpunkte in den Bereichen Orientierung, Physische Geographie und Naturkatastrophen.

Fazit 9: In der Adoleszenz liegen die Interessenschwerpunkte in den Bereichen Kulturgeographie I, II und der Umwelt.“¹⁶⁰

Dies sind drei zentrale Aussagen, die auch für vorliegende Studie verwendet werden können. Dabei kann von einer Veränderung des Interesses am Thema Meteoriteneinschläge zwischen den Jahrgangsstufen 5 und 11 ausgegangen werden, ebenso wie von einem stark erhöhten Interesse an der Thematik, vor allem in der 5. Klasse. Die These, das Interesse verschiebe sich in der Adoleszenz weg vom Thema Naturkatastrophen steht in Widerspruch zu den Ergebnissen von HEMMER (2002), der ein konstant hohes Interesse am Bereich Naturkatastrophen festgestellt hat. Daher ist für vorliegende Studie eine Hypothese zu den Interessensunterschieden verschiedener Altersstufen formuliert.

OBERMAIER (1997) kann empirisch die bereits theoretisch postulierte Unterscheidung zwischen Sachinteresse und Personeninteresse belegen und mit den verschiedenen Altersgruppen zu vier Interessentypen verbinden (siehe Abbildung 17). Anhand des umfangreichen Datenmaterials konnte die Studie vier Interessentypen bestimmen; dabei sind die Interessentypen Ia und IIa der Kindheit zugeordnet, die Typen IIa und IIb der Adoleszenz; weiterhin kann eine Unterscheidung nach Personeninteresse (Ia, Ib) und Sachinteresse (Ib, IIb) vorgenommen werden¹⁶¹; eine wertvolle Erkenntnis liefert die Tatsache, dass das Thema Naturkatastrophen sowohl von Typ Ia und IIa als sehr interessant erachtet wird.

¹⁵⁷ OBERMAIER (1997) S. 41

¹⁵⁸ OBERMAIER (1997) S. 55

¹⁵⁹ OBERMAIER (1997) S. 63, Unterhypothese 1.3

¹⁶⁰ OBERMAIER (1997) S. 65

¹⁶¹ OBERMAIER (1997) S. 70

Interesstyp Ia „Personinteresse“	Interesstyp IIa „Sachinteresse“
für beide IT von Interesse: Naturkatastrophen	
Interesse an: eigenem Lebensraum, darin z.B.: - Ernährung - Klima - Freizeit- und Erholungsräume	Interesse an: physische geographischen Themen z.B.: - Geomorphologie - Geologie
Interesstyp Ib „Personinteresse“	Interesstyp IIb „Sachinteresse“
für beide IT von Interesse: Umwelt	
Interesse an: fremden Lebensräumen, Menschen in anderen Ländern, Städten	Interesse an: Physischer Geographie Kulturgeographie II

Abbildung 17: Die vier Interessentypen nach OBERMAIER (1997)¹⁶²

Zentrale Aussage für die vorliegende Studie ist, dass das Thema Naturkatastrophen sowohl von Interessentyp Ia als auch von Interessentyp IIa als interessant angegeben wird. Diese Tatsache sollte sich auch beim Thema Impakte in einem erhöhten Interesse widerspiegeln (siehe Abbildung 18). Die Untersuchung von OBERMAIER zeigt deutlich das hohe Interesse an der Subskala Naturkatastrophen¹⁶³, die mit Mittelwerten von $x_M=3,22$ und $x_W=3,08$ von den Probanden als interessantestes Teilgebiet der Geographie gewählt wurde.

Weiterhin kann OBERMAIER (1997) belegen, dass für das geographische Gesamtinteresse keine signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen auftreten. Jedoch interessieren sich Schüler und Schülerinnen für unterschiedliche Themenbereiche in der Geographie. Dabei lässt sich erkennen, dass sich vor allem die Jungen für das Thema Naturkatastrophen interessieren¹⁶⁴. Diese Geschlechterdifferenzen verstärken sich noch von der Kindheit zur Adoleszenz¹⁶⁵.

¹⁶² OBERMAIER (1997) S. 70; in der Abbildung sind die Bezeichnungen „Interesstyp Ib“ und „Interesstyp IIb“ korrigiert worden

¹⁶³ OBERMAIER (1997) S. 76

¹⁶⁴ OBERMAIER (1997) S. 77, Fazit 25-29

¹⁶⁵ OBERMAIER (2007) S. 78, Fazit 30

	Subskalen und Items	Mittelwerte männlich	Mittelwerte weiblich	Signifikanz*
F11.GES	Durchschnittswerte Frage 11	2,76	2,74	p = 0,8136
F11.KAT	Subsk.: Naturkatastrophen	3,22	3,08	p = 0,0005
F11.KI	Subsk.: Kulturgeographie I	2,60	2,72	p = 0,0010
F11.KII	Subsk.: Kulturgeographie II	2,46	2,17	p = 0,0000
F11.ORIE	Subsk.: räuml. Orientierung	2,65	2,58	p = 0,1982
F11.PHY	Subsk.: physische Geographie	2,69	2,71	p = 0,4844
F11.UMW	Subskala: Umwelt	2,90	3,13	p = 0,0000

Abbildung 18: Übersichtstabelle zum Interesse an verschiedenen geographischen Themenfeldern nach OBERMAIER (1997)¹⁶⁶

Besondere Beachtung verdient OBERMAIERs Lehrplanvorschlag, der in der 5. Jahrgangsstufe das Thema Naturkatastrophen in 28 von insgesamt 56 Stunden behandeln sollte¹⁶⁷; zwar werden Meteoriteneinschläge nicht explizit als Beispiel für eine Naturkatastrophe genannt, jedoch verfügt der Lehrplanentwurf durch die geschickte Aufteilung in endogene sowie exogene Kräfte sowie für die Sekundarstufe I bedeutsamen Nahraumbeispiele über gleich mehrere Anknüpfungspunkte. So könnte das Nördlinger Ries als Beispiel für ein im Nahraum anzutreffendes Relikt einer großen Naturkatastrophe behandelt und besucht werden, ebenso wie Meteoriteneinschläge als außergewöhnliche exogene Kraft im Unterricht ihren Platz finden können.

In der mit einer Stichprobengröße von über 2600 Probanden empirisch umfangreichsten Studie haben HEMMER/HEMMER (1996) der geographiedidaktischen Interessensforschung Mitte der 90er Jahre einen erheblichen Impuls verliehen. Die Studie basiert auf der quantitativen Auswertung eines dreiteiligen Fragebogens, der im ersten Bereich das Interesse an 50 Einzelthemen, 24 Regionen und 13 Arbeitsweisen erfasst. Die hierbei verwendete fünfstufige Likert-Skala von ‚interessiert mich sehr‘ bis ‚interessiert mich gar nicht‘ ist in Abwandlungen bis heute die gebräuchlichste Skalierung in der Geographiedidaktik. Jedoch wurden in der Ergebnisdarstellung der Studie von 1995 die Wertigkeiten noch entgegengesetzt zur heutigen Art verwendet: Wert 1 stand für hohes Interesse, Wert 5 für niedriges Interesse. Die Werte werden daher hier im Original zitiert, jedoch immer in die heutige Skalierung umgewandelt.

Die Studie konnte zehn Themen mit deutlich erhöhtem Interesse ausmachen, von denen hier die ersten fünf in absteigender Reihung geordnet sind: „*Naturkatastrophen [...], Weltraum/Planeten/Sonnensystem, Entdeckungsreisen, Entstehung der Erde, Waldsterben, [...]*“¹⁶⁸. Damit steht die Thematik der Meteoriteneinschläge beim Interesse von Jungen und Mädchen zugleich an erster und zweiter Stelle, ist sie doch genau am Schnittpunkt zwischen Naturkatastrophen und Weltraum angesiedelt. Weiterhin ist der hohe Interessenswert von 4,22 für das Thema Naturkatastrophen

¹⁶⁶ OBERMAIER (1997) S. 76; Hervorhebungen durch OBERMAIER

¹⁶⁷ OBERMAIER (1997) S. 118-119

¹⁶⁸ HEMMER/HEMMER (1996) S. 41

zum weiteren Vergleich mit den Werten aus vorliegender Arbeit von Bedeutung, da davon auszugehen ist, dass sich der Wert für die Meteoriteneinschläge in einem ähnlich hohen Bereich befindet.

Die Ergebnisse von HEMMER/HEMMER (1996) sind daher in Einklang mit weiteren Studien, die ebenfalls ein erhöhtes Interesse am Themenfeld der Naturkatastrophen feststellen. Dies schlägt sich in der deutlichen Formulierung der Hypothesen zum Bereich Interesse nieder.

2.4. Didaktische Strukturierung

Grundlage für die didaktische Strukturierung ist die Herstellung von systematischen Beziehungen zwischen den Vorstellungen aus Fachwissenschaft und von Schülerseite. Zielsetzung ist dabei immer die Verwendung der Ergebnisse für die didaktische Umsetzung. Typische Fragen bei der Strukturierung sollen sein¹⁶⁹:

- Welche Korrespondenzen und unterrichtliche Möglichkeiten eröffnen sich aus dem Vergleich der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Schülern?
- Welche Schülerperspektiven sind bei der Vermittlung von Begriffen und bei der Verwendung von Termini zu beachten?
- Welche metafachlichen und metakognitiven Denkwerkzeuge können für ein angemesseneres und fruchtbares¹⁷⁰ Lernen nützlich sein?

Zentral dabei ist der wechselseitige Vergleich der Vorstellungen, der eine einseitig normative Vorgehensweise verhindern soll. Der Vergleich soll nach den Kategorien Eigenheiten, Gemeinsamkeiten, Verschiedenheiten und Begrenztheiten vorgenommen werden.

Die didaktische Strukturierung bildet zum einen die Synthese aus Fachlicher Klärung und Schülervorstellungen, stellt aber andererseits auch wieder die Grundlage für weitere unterrichtsbezogene Untersuchungen oder Akzeptanzstudien dar.

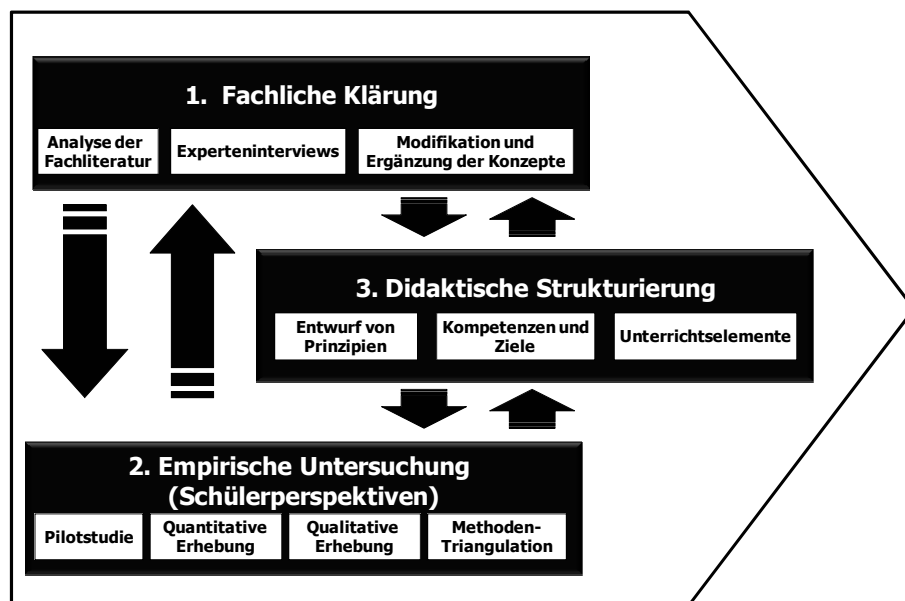


Abbildung 19: Iterativer Ablauf der Forschung im Modell der Didaktischen Rekonstruktion¹⁷¹

¹⁶⁹ KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S.12

¹⁷⁰ Im Original von KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) steht „furchtbares Lernen“ und wird hier abgeändert

Zentrales Anliegen ist es, die Verknüpfung der drei Ebenen didaktischen Arbeitens als wechselseitigen und fortschreitenden Prozess zu gestalten, der einen wesentlichen didaktischen Fortschritt erlaubt.

¹⁷¹ Nach KATTMANN/DUIT/GROPENGIESSER/KOMOREK (1997) S. 12, inhaltlich und graphisch verändert

2.5. Zusammenfassende Darstellung der Methodik

Die Methodik der vorliegenden Arbeit orientiert sich grundsätzlich an der Methodik, die im Kontext des Modells der Didaktischen Rekonstruktion verwendet wird. Das iterative Vorgehen zur Verknüpfung von fachwissenschaftlichen Konzepten und Lernperspektiven bildet die Grundlage für vorliegende Arbeit.

Die fachwissenschaftliche Klärung wird mit Hilfe der Analyse von Literatur und Experteninterviews vorgenommen (siehe Kapitel 3.2.).

Der moderate Konstruktivismus bildet die Grundlage für die Begründung der Methodik der Didaktischen Rekonstruktion. Frühere Arbeiten ermittelten darum die Schülervorstellungen nur durch qualitative Methoden, also die Analyse von Interviews. Dem gegenüber werden in der vorliegenden Arbeit neben den Interviews auch Fragebögen eingesetzt, um die Schülerperspektiven wie Interessen und Gefahreinschätzung auch quantitativ zu erfassen¹⁷². Dies widerspricht auf den ersten Blick dem konstruktivistischen Ansatz der Didaktischen Rekonstruktion, jedoch ist das Modell grundsätzlich offen für methodische Variationen¹⁷³, so dass für die zusammenhängende Erfassung von Interesse, Vorstellungen und der subjektiven Gefahreinschätzung die Erhebung mit Fragebögen erfolgen kann. Dieses Vorgehen bietet mehrere zentrale Vorteile: Zum einen können Schülervorstellungen in ihrer Abhängigkeit von unabhängigen Variablen dargestellt werden, zum anderen können durch die Datenfülle auch Extrema in den Konzepten erfasst werden, die durch wenige Interviews eventuell nicht erkannt worden wären. Darüber hinaus wird mit Hilfe des Instruments der Clusteranalyse¹⁷⁴ versucht, quantitative (in diesem Fall Fragebogen) und qualitative (in diesem Fall Interviews) Methoden nicht nur additiv zu verbinden, sondern zu einer logisch strukturierten methodischen Triangulation zusammenzuführen. Die Auswahl der Interviewpartner für die nach der qualitativen Inhaltsanalyse auszuwertenden Interviews wird dadurch objektiver gestaltet. Zudem können die Ergebnisse zu den Schülervorstellungen der Fragebögen und der Interviews aufeinander bezogen und auf ihre Komplementarität hin untersucht werden.

Bei der Konstruktion des Unterrichts spielen neben der Fachlichen Klärung und den ermittelten Schülerperspektiven die Erfahrungen der Vorstudie (siehe Kapitel 4.1) eine Rolle, die bereits erste empirische Ergebnisse und in der Praxis erprobte Konzepte lieferte. Das bereits vorhandene Unterrichtskonzept und Material dieser Vorstudie – vor allem die CRATER-Simulation – wird hier wieder aufgegriffen und mit Hilfe der neuen Ergebnisse, die die fachliche Klärung sowie die ausführliche Erhebung der Schülerperspektiven liefert, überarbeitet, um die Schülerinnen und Schüler bei dem Aufbau eines tieferen Verständnisses des Themenkomplexes Meteoriteinschläge zu unterstützen.

¹⁷² Vergleiche hierzu die z.B. die Arbeiten HEMMER, M. (2000) *Westen ja bitte – Osten nein danke! Empirische Untersuchungen zum geographischen Interesse von Schülerinnen und Schülern an den USA und der GUS*. München. S. 40.

¹⁷³ Die Methodik hat sich immer an Gegenstand und Zielsetzung der Arbeit zu orientieren

¹⁷⁴ In der Geographiedidaktik erstmals durchgeführt durch in UPHUES, R. (2007) *Die Globalisierung aus der Perspektive Jugendlicher. Theoretische Grundlagen und empirische Untersuchungen*. In: Geographiedidaktische Forschungen. Band 41. Dissertation. Weingarten.

3. Fachliche Klärung des Themas Meteoriteneinschläge

„Welche Aufgaben erfüllen die ungezählten Meteore und Meteoriten, welche die Erdbahn kreuzen und im Niederstürzen so mancherlei Schaden anrichten?“

Ludwig Büchner, Kraft und Stoff (1902), S. 85

3.1. Meteoriteneinschläge als Gegenstand der Forschung

3.1.1. Untersuchungsobjekt Raum

Bereits HOLT-JENSEN (1980) macht in seinen Ausführungen zur Konzeption der Geographie darauf aufmerksam, dass sich noch eine weitere Wissenschaft mit dem Untersuchungsobjekt Raum beschäftige – die Astronomie: „*Today, discoveries in outer space make the greatest appeal to man's urge to discover the unknown.*“¹⁷⁵ LESER/SCHNEIDER-SLIWA (1999) gehen von zwei definierenden Aspekten der geographischen Wissenschaft aus:

- Erforschung der Gesamtheit der Prozess- und Funktionsgefüge
- der Raum, in dem dieses Gefüge funktioniert¹⁷⁶

Der Raum stellt damit einen konstituierenden Faktor für die Wissenschaft Geographie dar. Die Maßstäbe können dabei variieren und reichen von der globalen Ebene zu mikroskopischen Detailuntersuchungen.

Die Astronomie als zweite Wissenschaft, die sich mit dem Raum als solchem beschäftigt, wird hingegen definiert als die „*Wissenschaft von der Materie im Weltall, ihrer Verteilung, ihrer Bewegung und ihres physikalischen Zustandes sowie ihrer Zusammensetzung und Entwicklung [...]*“¹⁷⁷. Somit stellt der Raum außerhalb der Erde den Forschungsgegenstand der Astronomie dar. Es wird ausdrücklich auf eine Grenze zur Geographie verwiesen: „*die Erde gehört [...] nicht zum eigentlichen Arbeitsgebiet der Astronomie [...] Mit der Erde beschäftigen sich die Geowissenschaften, wie Geophysik, Geologie, Geographie und Meteorologie.*“¹⁷⁸ Damit wird von beiden Wissenschaften eine Abgrenzung zur Nachbardisziplin vorgenommen – dabei auf ein Raumkonzept stützend. Die Überschneidungsbereiche – in denen auch das Themenfeld der Meteoriteneinschläge angesiedelt ist – fallen in ein wissenschaftstheoretisches Vakuum, das erst seit kurzem erschlossen worden ist.

Es muss jedoch noch darauf hingewiesen werden, dass sich die Terminologie in Bezug auf den Begriff Raum zwischen Astronomie und Geographie sowie innerhalb der Geographie deutlich ausdifferenziert. KENT (2003)¹⁷⁹ bietet einen Überblick über das Raumkonzept der Physischen Geographie: er macht deutlich, dass der Raumansatz in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgetreten ist zugunsten einer Prozesskunde. In Fällen eines deutlichen Raumbezugs, so etwa in der Biogeographie

¹⁷⁵ HOLT-JENSEN, A. (1980) *Geography. Its History and Concepts*. London. S. 3

¹⁷⁶ LESER, H. und SCHNEIDER-SLIWA, R. (1999) *Geographie-eine Einführung. Aufbau, Aufgaben und Ziele eines integrativ-empirischen Faches*. Braunschweig (= Das Geographische Seminar). S. 109

¹⁷⁷ ZIMMERMANN (1995) S. 18

¹⁷⁸ ZIMMERMANN (1995) S. 18

¹⁷⁹ KENT, M. (2003) *Space: Making Room for Space in Physical Geography*. In: Holloway et al. (2003) (Hrsg.) S. 109-127

oder der Geomorphologie von Flusseinzugsgebieten, beschränken sich die Untersuchungen auf die lokale oder regionale Maßstabsebene. Dem ist jedoch hinzuzufügen, dass dem globalen Maßstab in neuesten Veröffentlichungen durchaus eine entscheidende Rolle zugesprochen wird, wie die Global Change Problematik beweist.

Deutlich komplexer gestaltet sich das Raumkonzept in der Humangeographie, welche den Raum ausdrücklich als (soziales) Konstrukt ansieht. THRIFT (2003)¹⁸⁰ gibt hierzu eine Einführung. Jedoch würden die modernen sozialwissenschaftlichen und psychologischen Ansätze einen zu weiten Rahmen für diese Arbeit setzen.

Auch das Raumkonzept der Astronomie beginnt erst, sich zu einem komplexen Theoriegebäude zu erweitern, wenn die Forschungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie miteinbezogen werden. Diese sind jedoch sowohl für die Geographie wie auch für die Thematik der Meteoriteneinschläge nicht bedeutsam.

Es kann somit zusammenfassend festgehalten werden, dass sich die für das Thema Meteoriteneinschläge relevanten Raumkonzepte der Physischen Geographie und der Astronomie nur auf ihrer Maßstabsebene unterscheiden, Meteoriteneinschläge jedoch in beiden Maßstabsebenen vorkommen.

3.1.2. Paradigmenwechsel in den Geowissenschaften

Die fachwissenschaftlichen Entwicklungen im Umfeld der Meteoritenforschung können durchaus als Paradigmenwechsel bezeichnet werden – jedoch liegt diese Wende kaum drei Jahrzehnte zurück. DEUTSCH und BISCHOFF (1995) weisen auf den Einfluss von Einschlägen extraterrestrischer Projektile auf die Entwicklung der Erde hin¹⁸¹. Der „*Paradigmenwechsel in den Geowissenschaften*“¹⁸², der durch die Akzeptanz von Meteoriteneinschlägen auf der Erde vollzogen wurde, habe zwei zentrale Grundannahmen der Geowissenschaften ins Wanken gebracht:

- Den Uniformitarismus¹⁸³, der nur die Beobachtung gegenwärtiger geologischer Prozesse zur Deutung der Vergangenheit zulässt;
- Den Gradualismus¹⁸⁴, nach dem Vorgänge in der Geosphäre nur allmählich vor sich gehen.

Diese Paradigmen bilden seit LYELL die Grundlage für das Aktualismusprinzip, nach dem die Geowissenschaften auch heute noch arbeiten. Ein Grund für die Persistenz dieser Axiome ist der Versuch, sich von den alten Anschauungen des Katastrophismus abzugrenzen¹⁸⁵. Diese geowissenschaftliche Lehrmeinung geht davon aus,

¹⁸⁰ THRIFT, N. (2003) *Space: the fundamental stuff of geography*. In: Holloway et al. (2003) (Hrsg.). S. 95-109

¹⁸¹ DEUTSCH, A. und BISCHOFF, A. (1995) *Die Bedeutung von Einschlägen extraterrestrischer Projektile für die Entwicklung des Planeten Erde - Ein Paradigmenwechsel in den Geowissenschaften*. In: Berichte über die Gesellschaft zur Förderung der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster e.V., S. 15-18.

¹⁸² DEUTSCH/BISCHOFF (1995), S. 15

¹⁸³ zurückgehend auf James HUTTON (1785): HUTTON, J. (1785) *Theory of the Earth*. Edinburgh.

¹⁸⁴ zurückgehend auf Charles LYELL (1830): LYELL, C. (1830) *The Principles of Geology*. Harmondsworth.

¹⁸⁵ STÖFFLER, D. (2003) *Bedrohung aus dem All – Asteroiden und Kometen*. In: Emmermann, R. u.a. (Hrsg.) (2003), S. 81-98.

dass Vorgänge auf der Erde auch nicht-graduell ablaufen können. Meteoriteneinschläge bilden durch ihre theoretisch unbegrenzte Energiefreisetzung und die Schnelligkeit ihres Ablaufs ein beispielhaftes Szenario für diese Ansicht. STÖFFLER (2003) geht sogar so weit, die Entwicklung der Ansichten zum Thema Meteoriteneinschläge als „kopernikanische Wende“¹⁸⁶ der Geowissenschaften zu bezeichnen und stellt den Paradigmenwechsel der Geowissenschaften seit den 1960ern auf zwei Fundamente: die Anerkennung der Plattentektonik als Theorie zur derzeit besten Erklärung geologischer Phänomene einerseits und die Anerkennung der Erde als offenes System, das immer wieder einschneidenden Einflüssen durch Meteoriteneinschläge ausgesetzt ist andererseits.

Trotz des rasanten und umfassenden Umbruchs der geowissenschaftlichen und geographischen Sichtweise muss sich die Forschung auf dem Gebiet der Meteoriteneinschläge ständig davor in Acht nehmen, nicht für apokalyptische Prophezeiungen aller Couleur missbraucht zu werden. Denn auch heute spielen Asteroiden, Kometen und Meteoriteneinschläge eine nicht zu unterschätzende Rolle in religiös motivierten Weltuntergangsszenarien. Diese stehen jedoch weit außerhalb des wissenschaftlichen Diskurses und sollen nicht weiter betrachtet werden.

Vielmehr soll noch ein kurzer Blick auf die schnelle Verbreitung des gewandelten Bilds von Ablauf und Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen durch die breitenwirksamen Medien Fernsehen und Internet geworfen werden. HARTWELL (2007)¹⁸⁷ kann eine 90 Positionen umfassende Liste an Filmen, TV-Serien und Videos anführen, die sich mit der Impakt-Thematik beschäftigen. An erster Stelle zu nennen sind hier die Kinofilme ‚Armageddon‘ (1998) und ‚Deep Impact‘ (1998), die beide von der drohenden Gefahr durch einen großen Meteoriteneinschlag handeln und wenigstens ansatzweise versuchen, eine wissenschaftliche Perspektive beizubehalten. Durch die enorme Breitenwirkung dieser Medien ist die Möglichkeit gegeben, sich auf die aktuellen Konzepte zu konzentrieren. Dabei soll die historische Genese und Vorläufigkeit der wissenschaftlichen Vorstellungen jedoch nicht geleugnet werden, sondern Teil der Betrachtung sein.

Die Entwicklung der wissenschaftlichen Literatur zum Thema Impakte und Impaktkrater kann in drei grobe Zeitabschnitte eingeteilt werden (siehe auch Abbildung 20): vor Mitte der 1960er Jahre war die Idee einer kosmischen Entstehung z.B. des Nördlinger Ries kaum verbreitet und zudem schwer beweisbar¹⁸⁸. Zu erwähnen ist, dass Alfred WEGENER auch auf dem Gebiet der Meteoritenkrater seiner Zeit voraus war und bereits 1921 die kosmische Genese der Mondkrater postulierte¹⁸⁹: „*Wir sind im vorangehenden auf rein morphologisch-empirischem Wege zu dem Resultat gekommen, daß die typischen Mondkrater sich am besten als Aufsturzkrater deuten lassen.*“¹⁹⁰ Auch den Meteoriten-Krater in Arizona erkennt WEGENER richtig als Impaktkrater.

¹⁸⁶ STÖFFLER, D. (2003) S. 84.

¹⁸⁷ HARTWELL, W.T. (2007) *The Sky on the Ground: Celestial Objects and Events in Archaeology and Popular Culture*. In: BOBROWSKY und RICKMAN (2007), S. 80-81

¹⁸⁸ Zu anderen Entstehungstheorien siehe KAVASCH, J. (1987) S.33; hierzu zählen die Hypothesen von Vulkanen, Gletschern und Aussprengung durch Wasserdampfexplosion; SAGAN, C. und DRUYAN, A. (1997) *Comet-Revised Edition*. London. bieten einen Überblick über frühe Vorstellungen zu Kometen und Einschlägen auf der Erde; diese sind jedoch für eine didaktische Umsetzung der Thematik weniger relevant, so dass sie hier keine weitere Betrachtung erfahren

¹⁸⁹ WEGENER, A. (1920) *Die Entstehung der Mondkrater*. Braunschweig. Diese Arbeit WEGENERs hat bisher noch zu wenig Beachtung gefunden

¹⁹⁰ WEGENER (1920) S. 40

Mit der Erforschung des Ries durch die Geologen Edward CHAO und Eugene SHOEMAKER¹⁹¹ und deren Schlussfolgerung, es handle sich nicht um ein irdisches Phänomen, sondern um einen Meteoritenkrater¹⁹², begann schließlich der Prozess, der heute als Paradigmenwechsel bezeichnet werden kann.

In den folgenden Jahrzehnten befasste sich die Erforschung von Impakten auf der Erde mit vorhandenen Einschlagsspuren, die zum Teil weit in der geologischen Vergangenheit des Planeten liegen. Einen frühen Kulminationspunkt erreichten diese Arbeiten mit der Entdeckung des Chicxulub-Kraters auf/vor der Halbinsel Yucatan, der vor 65 Millionen Jahren entstanden war und für das Verschwinden der Dinosaurier verantwortlich sein könnte.¹⁹³ Grundlegend hierfür sind die Arbeiten der Gruppe um Luis und Walter ALVAREZ, die auf Grund einer Iridium-Anomalie an der Kreide-Tertiär-Grenze¹⁹⁴ die erfolgreiche Suche nach einem Impaktkrater aufnahmen¹⁹⁵.

Die schließlich letzte Wende in der Diskussion um Impakte brachte der Absturz des Kometen Shoemaker-Levy 9 auf Jupiter im Juli 1994, der nicht nur in Wissenschaftskreisen die Bekanntheit der Impakttheorie multiplizierte und die Aktualität drastisch vor Augen führte¹⁹⁶.

Der Einschlag von mehreren Dutzend Fragmenten des Kometen auf dem Gasriesen hinterließ Einschlagsspuren in der Größe der Erde in Jupiters Atmosphäre. Ein Einschlag dieser Größe auf der Erde hätte zu einem neuen Massensterben geführt. Spätestens seit diesem Ereignis befassen sich sowohl Geologen mit der Suche nach weiteren Impaktstrukturen als auch Astronomen mit der Erfassung von erdbahnkreuzenden Kometen und Asteroiden.

HARTWELL (2007) kann aufzeigen, dass Shoemaker-Levy 9 auch auf die Häufigkeit der Impakt-Thematik in Film und Fernsehen Auswirkungen hatte, denn von 1936 bis 1993 bezogen sich nur acht Filme auf die wissenschaftlich begründete Gefahr eines Einschlags¹⁹⁷, während es von 1994 bis 2004 22 Filme waren¹⁹⁸.

Zusammenfassend lässt sich damit die Entwicklung der Literatur zum Thema Meteoriteneinschläge grob in drei Phasen einteilen: zu Beginn stand die Untersuchung irdischer Meteoritenkrater im Vordergrund, während seit der Veröffentlichung von

¹⁹¹ SHOEMAKER, E. M. und CHAO, E. C. T. (1961) *New evidence for the impact origin of the Ries basin, Bavaria, Germany*, in Journal of Geophysical research. no. 66(10), S. 3371-3378. Washington.

¹⁹² BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996) *Geologische Karte von Bayern-Erläuterungen*. München

¹⁹³ Die Vorstellung hat schnell Einzug in wissenschaftliche und populärwissenschaftliche Publikationen gefunden

¹⁹⁴ Auch im Englischen K-T-Boundary (Kreide-Tertiär-Grenze) genannt; es ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „Tertiär“ von der Internationalen Kommission für Stratigraphie (ICS) seit 2000 nicht mehr verwendet wird, sondern durch die Begriffe „Paläogen“ und „Neogen“ als Perioden des Känozoikums ersetzt wurde: <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2008.pdf> (Zugang August 2009)

¹⁹⁵ ALVAREZ, L. et al. (1980) *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction*. In: Science 208, S. 1095; sowie ALVAREZ, W. et al. (1982) *Iridium Anomaly Approximately Synchronous with Terminal Eocene Extinctions*. In: Science 216, S. 886; die Literatur zum Chicxulub-Krater ist bis heute exponentiell angestiegen, daher kann hier kein umfassender Literatur-Überblick gegeben werden

¹⁹⁶ NASA (2007a) *Comet Shoemaker-Levy Collision with Jupiter*. <http://www2.jpl.nasa.gov/sl9/> (Zugang August 2007).

¹⁹⁷ HARTWELL (2007) S. 82

ALVAREZ (1980) eine Verbindung von Impaktereignissen und der Erdgeschichte erkannt wurde; die schließlich letzte Phase - angestoßen durch den Einschlag eines Kometen auf Jupiter – lässt die Wahrnehmung der Gefährdung durch Impakte in den Vordergrund treten; dabei ist jedoch anzumerken, dass diese Phasen nicht als Sukzessive zu verstehen sind, sondern heute parallel und in Betrachtung der anderen Beschäftigungsbereiche existieren (siehe Abbildung 20).

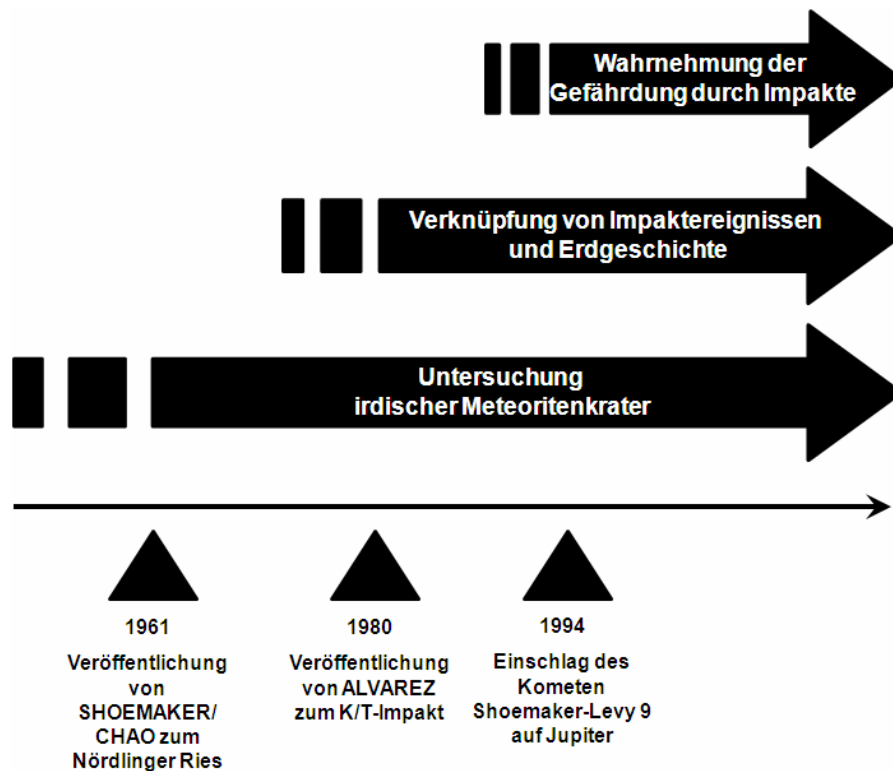


Abbildung 20: Entwicklungsverlauf der Literatur zu Meteoriteneinschlägen auf der Erde¹⁹⁹

CHAPMAN (2004)²⁰⁰ verweist jedoch darauf, dass viele Geowissenschaftler immer noch Probleme hätten, die Statistiken zu Impakten auf Mond, Mars und Erde als gegeben anzuerkennen. Von Seiten der Astronomie gibt es diese Vorbehalte nicht mehr. Weiterhin sieht CHAPMAN die Forschungsfelder weiter gestreut als bis heute ausgearbeitet: Impakte von Objekten mit nur 500 m Durchmesser würden die moderne Welt vor bisher nicht da gewesene Herausforderungen stellen, so dass auch sämtliche Sozialwissenschaften Interesse an der Thematik zeigen sollten. Denn mit dem Paradigmenwechsel einher geht bereits eine angeregte theoretische und empirische Forschungstätigkeit im naturwissenschaftlichen Bereich, wie BREITERMANN (2000)²⁰¹ ausführlich darstellt. Er zeigt verschiedene Zusammenhänge im

¹⁹⁹ Quelle: eigener Entwurf

²⁰⁰ CHAPMAN, C.R. (2004) *The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth*. In: Earth and Planetary Science Letters 222. S. 1-15.

²⁰¹ BREITERMANN, C. (2000) *Considering the Earth as an Open System*.

System Erde-Kosmos auf, so z.B. Meteoriteneinschläge, interplanetarischer Staub, Entstehung von Eiszeiten und Auswirkungen auf die biologische Diversifizierung. Die Veröffentlichung von BOBROWSKY/RICKMAN (2007)²⁰² zum Thema ‚Comet/Asteroid Impact an Human Society‘ macht bereits im Titel auf die umfassende interdisziplinäre Betrachtung des Themas aufmerksam. Die Geographie hat einen erheblichen Anteil an der Ausgestaltung des disziplinübergreifenden Forschungsprozesses über Meteoriteneinschläge. Für die Sammelveröffentlichung von BOBROWSKY/RICKMAN (2007) wurden neben der International Astronomical Union (IAU) und der International Union for Geological Sciences (IUGS) auch die International Union for Geodesy and Geophysics (IUGG) sowie die International Geographical Union (IGU) als aktiver Partner herangezogen²⁰³.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein kleiner Schritt gemacht werden, diesen Ansatz auch in der Schule konsequent durchzuführen. MORRISON (1997) bereitet aus wissenschaftlicher Sicht auf dieses Anliegen vor:

„On the positive side, the impact issue is proving to be an excellent vehicle for communicating some interesting aspects of contemporary science to the public. The topic, bringing together astronomy, environmental threats, and dinosaurs, is a natural. It focuses on the way historical science works (how can we figure out what really made the dinosaurs go extinct?), on the fragility of the environment (how can one small impact have global consequences?), on the nature of evolution (why were the mammals who succeeded the dinosaurs so different from them?), and on the nature of probability (if big impacts take place only once every million years, why worry now?). There is great potential here to teach good science as well as stimulate a useful public policy debate. Let's hope these lofty goals are achieved in practice.“²⁰⁴

<http://jesse.usra.edu/articles/breiterman/breiterman-paper.html> (Zugang August 2007).

²⁰² BOBROWSKY, P. und RICKMAN, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York.

²⁰³ BOBROWSKY, P. und RICKMAN, H. (Hrsg.) (2007) S. VI

²⁰⁴ MORRISON (1997)

3.2. Anmerkungen zur Analyse der Literatur und der Experten-Interviews

Die im Modell der Didaktischen Rekonstruktion für die Analyse der wissenschaftlichen Literatur vorgeschlagene Methode der qualitativen Inhaltsanalyse²⁰⁵ anhand von Originalarbeiten und Fachbüchern kann für das Thema Meteoriteneinschläge nicht solitär verwendet werden²⁰⁶. Die Ausführungen orientieren sich daher zum einen am aktuellen Stand der Forschung, wie er in Aufsätzen und Internetseiten²⁰⁷ zu finden ist, sowie an den Ergebnissen von drei Experteninterviews. Für eine umfassendere Erfassung der vorhandenen wissenschaftlichen Konzepte zum Thema Meteoriteneinschläge konnten im Zeitraum von 2005 bis 2007 drei Experten zum Thema interviewt werden:

1. Prof. Dr. Gerhard BERZ (MÜNCHENER RÜCK Versicherung, Gruppe Georisikoforschung),
2. Prof. Dr. Max TILZER (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, WBGU),
3. Prof. Dr. Gerd TETZLAFF (Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V., DKKV).

Die Interviews mit Max TILZER und Gerd TETZLAFF wurden telefonisch durchgeführt, Gerhard BERZ stand für ein ausführliches Interview in den Gebäuden der MÜNCHENER RÜCK in München zur Verfügung. Die Interviews wurden durch einen kurzen Interviewleitfaden strukturiert. Nach der Klärung der Verbindung der Interviewpartner zum Thema Meteoriteneinschläge (also der Ausweisung als ‚Experte‘) wurde die Frage nach der Notwendigkeit einer Beschäftigung mit dem Thema aus fachwissenschaftlicher und gesellschaftswissenschaftlicher Sicht in den Vordergrund gestellt, wobei auch auf die fachwissenschaftliche Struktur und Hauptaspekte des Themas eingegangen wurde. Der Vergleich der Impakt-Thematik mit anderen Naturkatastrophen (Vulkane und Erdbeben, Stürme und Fluten) und anthropogenen Risiken (Klimawandel, Umweltzerstörung, ABC-Krieg, alltägliche Risiken) ging auf die Relevanz des Themas im Kontext bekannterer Risiken ein. Dies leitete zur Frage über, ob die Interviewpartner eine Notwendigkeit sehen, Meteoriteneinschläge im Geographieunterricht zu behandeln. Hierzu wurden auch die Ergebnisse der Pilotstudie den Experten vorgelegt, die als Kernaussagen ein hohes Interesse am Thema, aber auch erhebliche Unterschiede in der Komplexität der Vorstellungen aufzeigten. Damit sollten alle aus didaktischer Sicht relevanten Themen durch den Interviewleitfaden abgedeckt sein.

Jeder der drei Experten verfügt über die benötigten Verbindungen zum Thema Meteoriteneinschläge, die sie als Interviewpartner auszeichnen.

Gerhard BERZ ist „Diplom-Meteorologe, Honorarprofessor für Meteorologie (LMU München) und ehemaliger Leiter der Gruppe Georisikoforschung der MÜNCHENER RÜCK“ (Interview Berz, Frage 1a). Vor allem durch die Tätigkeit bei der MÜNCHENER RÜCK kam er wiederholt mit der Thematik in Kontakt, denn „Meteoriteneinschläge sind ein Georisiko, mit dem sich die Versicherungswirtschaft beschäftigen muss“ (Interview Berz, Frage 1b).

²⁰⁵ MAYRING, P (1990) *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. München

²⁰⁶ zur Begründung siehe Kapitel 3.2.2.

²⁰⁷ Um die Wissenschaftlichkeit der Quellen zu wahren, wird nur auf Internetquellen der NASA sowie auf die bekannter Meteoritenforscher zurückgegriffen

Max TILZER „[...] war von 1996 bis 2000 im „Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung“ (WBGU); daher war ich einer der Mit-Herausgeber des 1998 erschienenen WBGU-Berichts „Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken“, in dem auch das Thema Meteoriteneinschläge ausführlich im Rahmen globaler Herausforderungen behandelt wird.“ (Interview Tilzer, Frage 1b). Gerd TETZLAFF ist „Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats des Deutschen Komitees Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) und Professor an der Universität Leipzig am Institut für Meteorologie“ (Interview Tetzlaff, Frage 1a) und sieht Meteoriteneinschläge als Ereignisse, die „die Umwelt beeinflussen und über die Beeinflussung der Atmosphäre ist für mich der Zugang zu dem Thema vorhanden.“ (Interview Tetzlaff, Frage 1b). Weiterhin ist eine Verbindung durch die Tätigkeit beim DKKV vorhanden, „denn Meteoriteneinschläge sind ähnlich wie andere atmosphärische Ereignisse ein Risiko.“ (Interview Tetzlaff, Frage 1b).

Die Interviews wurden nach dem Modell der Fachlichen Klärung ausgewertet. Der Schwerpunkt lag dabei bereits auf dem letzten Schritt der Fachlichen Klärung – der strukturierten Darstellung der Ergebnisse. Dabei wird auf die Gemeinsamkeiten der unterschiedlichen Quellen nicht weiter hingewiesen, während in Kapitel 3.3.5. auf Grenzen und Differenzen der unterschiedlichen Quellen eingegangen wird. Damit wird dem expliziten Vorteil der Fachlichen Klärung, eben nicht nur eine Lektüre der Literatur zu sein, sondern Unterschiede und Begrenztheiten der Quellen zu beleuchten, Rechnung getragen²⁰⁸.

Die Gliederung der Ergebnisse in die Bereiche Ablauf, Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit eines Einschlags ergeben sich aus den wiederkehrenden Aufbaumustern der betreffenden Literatur. So wird in der Veröffentlichung der MÜNCHENER RÜCK (2001)²⁰⁹ zuerst auf die „wissenschaftliche Analyse des Meteoritenrisikos“²¹⁰ unter Betrachtung der „Quellen des Bombardements aus dem All“²¹¹ eingegangen, im zweiten Schritt auf die eigentliche „Bedrohung/Gefährdung“²¹² mit der Darstellung der Auswirkungen. Der dritte Schritt zeigt die „versicherungstechnischen Aspekte, d.h. insbesondere die Deckungsformen für die Einschlagsfolgen unter den gängigen Sachversicherungskonzepten“²¹³.

Einen ähnlichen Aufbau zeigt die sehr ausführliche Veröffentlichung von BOBROWSKY/RICKMAN (2007):

Teil 1: Anthropologie, Archäologie, Geologie
 Teil 2: Astronomie und Physikalische Implikationen
 Teil 3: Sozio-Ökonomische und Politische Implikationen

Dieser Aufbau kann auch für die Ergebnisse der Fachlichen Klärung verwendet werden. Daher werden im Weiteren die gemeinsamen Konzepte zu Ablauf, Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit von Impakten dargestellt – diese Konzepte bilden die Basis für die Aussagen zur Notwendigkeit einer Behandlung der Thematik im Unterricht und den Vergleich von Schülervorstellungen und fachlichen Konzepten.

²⁰⁸ So können auch unnötige Wiederholungen vermieden werden

²⁰⁹ MÜNCHENER RÜCK (2001) *Meteoriten – (auch) ein unterschätztes Kumulrisiko?* In: MÜNCHENER RÜCK (2001) *topics-Jahresrückblick 2001*. München. S. 36-41.

²¹⁰ MÜNCHENER RÜCK (2001) S. 37

²¹¹ MÜNCHENER RÜCK (2001) S. 37

²¹² MÜNCHENER RÜCK (2001) S. 38

²¹³ MÜNCHENER RÜCK (2001) S. 40

3.3. Ergebnisse der Fachlichen Klärung

3.3.1. Historische Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen

Obwohl der Schwerpunkt der Fachlichen Klärung für diese Studie auf der Darstellung von Gemeinsamkeiten, Unterschieden und Grenzen der Forschungen der letzten 30 Jahre gelegt wurde, darf die Analyse der wissenschaftshistorischen Dimension des Thema nicht gänzlich vernachlässigt werden. Denn Kometen und deren Einfluss auf die Erde sind seit Jahrtausenden in philosophischen und naturkundlichen Werken behandelt worden.

Neben der verbreiteten Vorstellung, Kometen zeigen ein kommendes Unheil²¹⁴ an, sind zwei Autoren zu nennen, die sich mit Kometen unter wissenschaftlichen Fragestellungen beschäftigt haben: ARISTOTELES und Pierre Simon de LAPLACE. ARISTOTELES sah Kometen als atmosphärisches Phänomen innerhalb eines sich verändernden Erdsystems – während die Sphäre des Kosmos als unveränderlich angesehen wurde. Kometen als wandernde und sich wandelnde Objekte wurden als sich von der Erde entfernende Gasströme gesehen, die durch ihre Nähe zur rotierenden Himmelssphäre ebenfalls in Rotation versetzt wurden²¹⁵. Hier wurde zwar eine Verbindung von Erde und Kosmos hergestellt, jedoch genau in die entgegengesetzte Richtung zum heutigen Verständnis.

In den folgenden Jahrhunderten werden Kometen als Unheilsbringer gedeutet und finden sogar Eingang in zentrale Kunstwerke der jeweiligen Zeit – SAGAN/DRUYAN (1997) gehen auf diese Deutung ein und führen als Beispiele Darstellungen aus Deutschland (Abbildung eines Kometen über Konstantinopel, das von einem Erdbeben heimgesucht wird) und den Teppich von Bayeux an, der Szenen der Überfahrt des Normannenherzogs Wilhelm des Eroberers nach England und seines Sieges über Harold II. in der Schlacht bei Hastings (1066) darstellt und einen Kometen als Zeichen des kommenden Unheils beinhaltet²¹⁶. Jedoch wird in diesen Fällen keine Gefahr durch Kometen im Sinne von Impakten gesehen, sondern vielmehr als Omen heraufziehender Gefahren.

LAPLACE schließlich ist der erste, der sich der Gefahr durch einschlagende kosmische Objekte annimmt und sie versucht, wissenschaftlich zu begründen:

„To the terrors which the apparition of comets the inspired succeeded the fear, that of the great number which traverse the planetary system in all directions, one of them might overturn the earth. [...] It is only by striking the earth that they can produce any disastrous effects.“²¹⁷

Die Vorstellungen von LAPLACE schließen die Veränderung der Erdachse durch Impakte ebenso ein wie die Auslösung einer globalen Flut und das Aussterben einer Vielzahl von Spezies und die Zerstörung der industriellen Errungenschaften des Menschen. SAGAN/DRUYAN (1997) zeigen, dass einige dieser Ideen in späteren wissenschaftlichen Überlegungen wieder aufgegriffen wurden, andere jedoch verworfen werden können. Zusammenfassend ziehen SAGAN/DRUYAN (1997) den Schluss, dass auch in der wissenschaftlichen Diskussion die Erwartung eines Unheils, das die

²¹⁴ Siehe hierzu ausführlich SAGAN/DRUYAN (1997)

²¹⁵ SAGAN/DRUYAN (1997) S. 24-25

²¹⁶ SAGAN/DRUYAN (1997) S. 29-31

²¹⁷ LAPLACE, P. S. (1809) *The System of the World*. London. S. 63

Kometen mit sich bringen, äußerst beständig sei. Einzig die Auswahl der Katastrophen ändere sich mit der Zeit:

*„The expectation that comets – through universal deluge or other means – are in fact harbingers of disasters has been a respectable speculation for the whole scientific history of the subject, dating back to Edmond Halley himself [...]. The brand of mischief that comets are said to bring – flood, darkness, fire, rending the Earth asunder – changes with time and astronomical fashion. But the association of comets with catastrophe remains curiously steady through the generations.“*²¹⁸

Da sich ein Vergleich der Schülervorstellungen mit den wissenschaftlichen Konzepten im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion auch auf die historische Dimension dieser beziehen sollte, werden die – wenn auch kurzen – Aussagen LAPLACES zur Gefahr durch Meteoriteneinschläge bei einer Zusammenschau der Vorstellungen wieder aufgegriffen.

3.3.2. Ablauf eines Einschlags

Der Ablauf eines Meteoriteneinschlags hängt wesentlich von der Art des Impaktors ab. Die zwei großen Gruppen von Projektilen, die bisher bekannt sind, umfassen relativ dichte – dafür aber etwas langsamere – Asteroiden sowie schnellere, aber weniger dichte Kometen.

Asteroiden umkreisen die Sonne wie die großen Planeten und bilden einen Gürtel zwischen Mars- und Jupiterbahn. Die Klassifizierung von Asteroiden konnte in den letzten Jahren durch die Funde von Tausenden von Bruchstücken auf der Erde wesentlich verfeinert werden. Ging man früher von einer einfachen Gruppierung in Eisenmeteoriten und Steinmeteoriten aus (siehe auch Abbildung 21), so ist die Systematik heute auf mehrere Dutzend Gruppen angewachsen²¹⁹.

Die Zusammensetzung von Asteroiden aus Gesteinen und Metallen²²⁰ führt zu einer hohen Dichte von ca. 3,5 g/cm³. Derartige Dichten führen bei einem Einschlag zu einer enormen Energieentwicklung, ohne dass das Objekt vorher durch die Reibungshitze wesentlich abgebremst werden kann. Weiterhin stellen Asteroiden dergestalt eine Gefahr dar, dass sie nicht wie Kometen in Sonnennähe Materie verlieren und damit leicht sichtbar werden. Mit heutigen Beobachtungsmethoden wäre es denkbar, dass ein kilometergroßer Asteroid bis wenige Tage vor dem Impakt unentdeckt bleiben könnte.²²¹ Dabei liegt die Geschwindigkeit eines Asteroiden innerhalb eines weit gefassten Spektrums, das grob mit den Werten 10 km/s bis 60 km/s eingegrenzt werden kann.²²²

²¹⁸ SAGAN/DRUYAN (1997) S. 279

²¹⁹ ausführliche Angaben zur Klassifizierung von Asteroiden finden sich in BISCHOFF, A. (2001) *Fantastic new chondrites, achondrites, and Lunar meteorites as the result of recent meteorite search expeditions in hot and cold deserts*. In: Earth, Moon & Planets 85-86, S. 87-97., sowie in BISCHOFF, A. (2001) *Meteorite classification and the definition of new chondrite classes as a result of successful meteorite search in hot and cold deserts*. In: Planetary and Space Sciences 49, S. 769-776.

²²⁰ ZIMMERMANN (1995) S. 306; siehe auch Abbildung 21

²²¹ ATKINSON, H., TICKNELL, C., WILLIAMS, D. (2000) *Report of the Task Force on Potentially Hazardous Near Earth Objects*. UK Government, London. S.11

²²² LANGE (1996) S.8

Kometen sind ebenfalls alte Objekte des Sonnensystems, haben jedoch eine wesentlich andere Zusammensetzung als Asteroiden. Sie bestehen hauptsächlich aus gefrorenem Wasser, Staub und Gesteinsfragmenten²²³. Daher besitzen sie eine wesentlich geringere Dichte (0,8-1,2 g/cm³), was bei einem Einschlag zu einem anderen Ergebnis führen könnte (siehe Abbildung 21). Die meisten Kometenkerne befinden sich im Kuiper-Gürtel, ca. 500 AE²²⁴ von der Sonne entfernt und der Oort-schen Kometenwolke, die sich weit außerhalb der Plutoumlaufbahn befindet²²⁵.

Durch Änderungen der gravitativen Einflüsse²²⁶ kann ein Komet in das innere Sonnensystem geschleudert werden, wo er auch auf die Erde treffen könnte. Dabei kann ein Komet wesentlich höhere Geschwindigkeiten von bis zu 75 km/s als ein Asteroid erreichen²²⁷.

	Dichte (g/cm ³)		Geschwindigkeit (km/s)	
	<i>minimal</i>	<i>maximal</i>	<i>minimal</i>	<i>maximal</i>
Asteroiden	1,7	7,8	11,2	60
Kurzperiodische Kometen	1	3,3	11,2	-
Langperiodische Kometen	0,2	2	11,2	72,8

Abbildung 21: Wertebereiche von Dichte und Geschwindigkeit für Asteroiden und Kometen²²⁸

Ein Objekt, das die Umlaufbahn der Erde kreuzt, oder näher als 0,3 AE an sie herankommt, wird als erdnahe Objekt²²⁹ bezeichnet; kommt das Objekt näher als 0,05 AE (ca. 7,5 Millionen Kilometer), wird es als potenziell gefährlich eingestuft²³⁰. Sowohl Kometen als auch Asteroiden können NEOs werden. Dem einher geht die Definition eines Meteoriten: „*ein interplanetarer Kleinkörper (oder ein Teil eines derartigen Körpers), der beim Eindringen in die Erdatmosphäre nicht vollständig zerstört wurde, sondern bis zur Erdoberfläche gelangte [...]*“.²³¹ Damit ist der Bezug zur Erdoberfläche und zur Geographie hergestellt.

Die folgenden Ausführungen stellen eine Zusammenfassung der fachlichen Konzepte dar, wie sie in nahezu allen Veröffentlichungen vorzufinden sind. Dabei sind die

²²³ Die genaue Zusammensetzung ist jedoch umstritten und noch nicht eindeutig geklärt; einige Missionen der NASA und ESA beschäftigen sich näher mit Aufbau und Dichte von Kometen (NASA-Mission Deep Impact: NASA (2007d) *Deep Impact. A Smashin Success*. http://www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/main/index.html (Zugang August 2007)).

²²⁴ eine AE (astronomische Einheit) ist definiert als der mittlere Abstand zwischen Sonne und Erde; eine AE entspricht $1,4959787 \cdot 10^{11}$ m (ca. 150 Millionen Kilometer)

²²⁵ bis zu 100.000 AE, entspricht ca. 1,5 Lichtjahren

²²⁶ so etwa durch einen nahe vorbei fliegenden Stern oder die oszillierende Bewegung der Sonne durch die Milchstraßenebene hindurch; ausführlich hierzu SAGAN (1997) S. 297-305 und HILLS (1981)

²²⁷ LANGE (1996) S.8

²²⁸ verändert übernommen aus LANGE (1996) S.8

²²⁹ Near Earth Object (NEO)

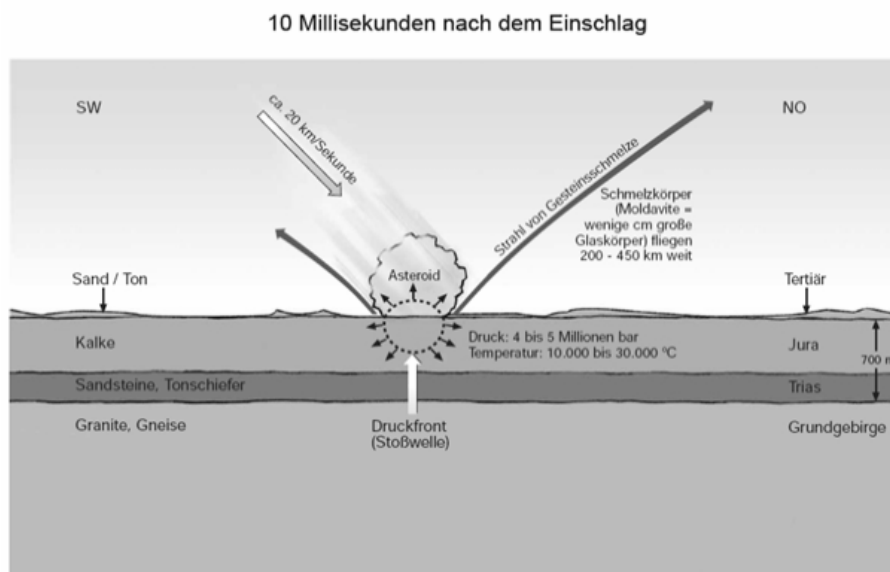
²³⁰ Potentially Hazardous Object (PHO)

²³¹ ZIMMERMANN (1995) S. 234

Aussagen generell an die physikalischen Ausgangsbedingungen gebunden. Eine genaue Betrachtung liefern COLLINS et al. (2005)²³².

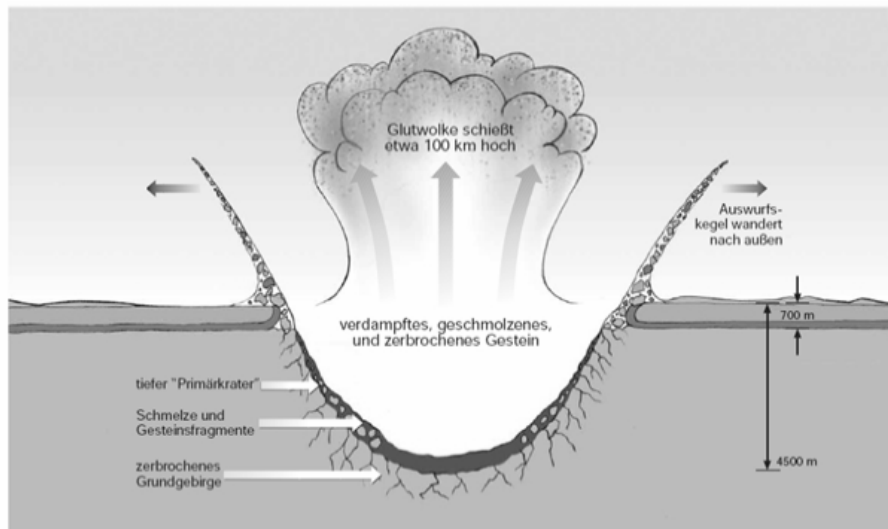
Tritt ein Meteorit in die Erdatmosphäre ein, vergehen vom Eintritt in die Erdatmosphäre (bei 25 km/s durchdringt der Meteorit die Troposphäre in ca. einer halben Sekunde) bis zur Kraterbildung nur wenige Minuten. Der Meteorit trifft auf die Erdoberfläche und dringt je nach Größe bis zu mehreren Kilometern tief in die Erdkruste ein; dabei laufen Stoßwellen durch das Gestein, die sich ähnlich wie Erdbeben um den Einschlagsort herum ausbreiten. An der Oberfläche wird das Gestein aufgeschmolzen, zertrümmert und ausgeworfen. Der Meteorit verdampft explosionsartig. Es entsteht eine riesige Glutwolke, die mehrere Kilometer aufschließen kann. Eine Druck- und Hitzewelle breitet sich in der Umgebung aus. Die zuvor hochgeschleuderten Gesteinstrümmen fallen in die Umgebung zurück. Bei sehr großen Einschlägen verteilen sich die heißen Gesteinstrümmen über den gesamten Erdball und lösen damit einen globalen Brand aus - die Atmosphäre kann sich auf mehrere Hundert Grad erhitzen. Die feineren Aschepartikel bleiben in der Atmosphäre und verdunkeln den Himmel - je länger die Verdunkelung anhält, desto wahrscheinlicher ist ein ‚Impakt-Winter‘, der noch Monate oder Jahre später die Nahrungskette zum Erliegen bringt. Schlägt ein Meteorit im Meer ein, entstehen Tsunamis. Diese Wellen können mehrere Hundert Meter hoch aufsteigen und bis tief in die Kontinente hinein Zerstörungen anrichten.

Exemplarisch kann die Beschreibung des Impakt-Verlaufs für das Nördlinger Ries herangezogen werden. Abbildung 22 fasst die wissenschaftlichen Konzepte zum Ablauf des Impakts zusammen.

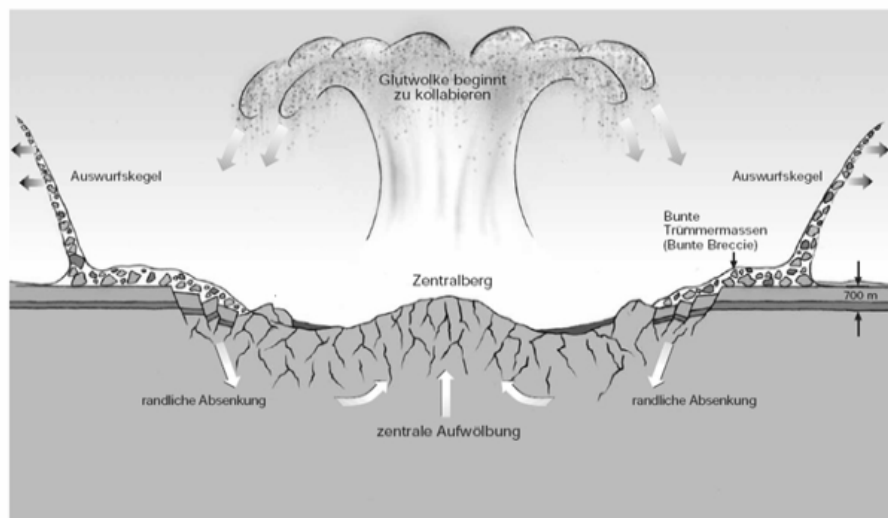


²³² COLLINS, G.S. et al. (2005) *Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth*. In: *Meteoritics & Planetary Science* 40, Nr. 6, S. 817–840.

"Primärkrater" erreicht maximale Tiefe nach etwa 10 Sekunden



Kollaps des "Primärkraters" und Ablagerung der Auswurfsmassen nach 1 Minute



Ende der Kraterbildung und Ablagerung des Suevits nach 10 Minuten

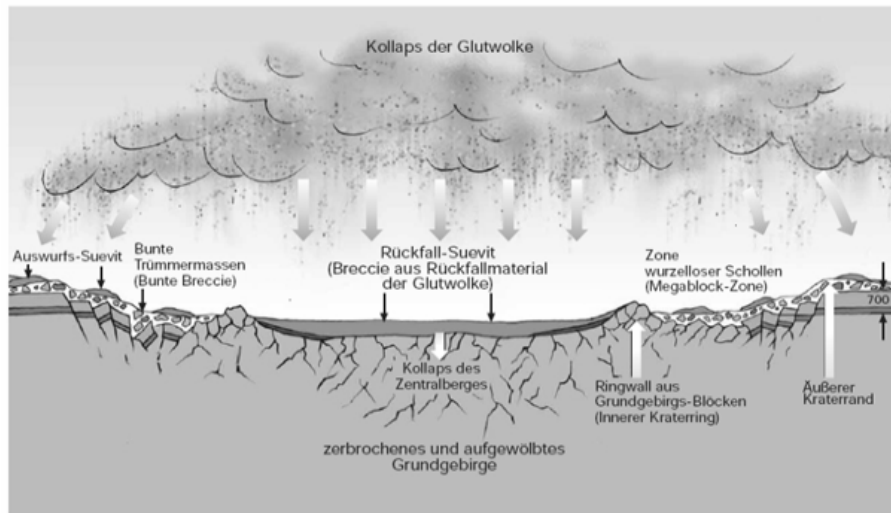


Abbildung 22: Ablauf eines Meteoriteneinschlags - Beispiel des Nördlinger Ries²³³

3.3.3. Auswirkungen eines Einschlags und Abwehrmöglichkeiten

„Wir sind doch nunmehr ganz / ja mehr denn ganz verheeret!“
Andreas Gryphius, Thränen des Vaterlandes (1636)

3.3.3.1. Auswirkungen eines Einschlags heute

Clark CHAPMAN weist in einem 2003 geführten Interview darauf hin, dass die Gefahr durch Meteoriteneinschläge nahezu einzigartig sei und ein Einschlag die Zivilisation zurück in ein ‚dunkles Zeitalter‘ versetzen oder sogar ganz auslöschen könnte²³⁴. Damit ähneln sich die Auswirkungen denen eines nuklearen Schlagabtauschs²³⁵ - dabei ist wiederum darauf hinzuweisen, dass die folgenden Forschungsergebnisse strikt zu trennen sind von apokalyptischen Prophezeiungen aller Couleur. Hervorzuheben sind hier die Ausführungen von LIFTON (1986) im Rahmen der Diskussion

²³³ GEOPARK RIES (2009) Geopark Ries. Europas Riesiger Meteoritenkrater. Nationaler Geopark Ries. Donauwörth; hingewiesen sei auch auf die Abbildung in BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996) S. 138 zum Vorgang der Kraterbildung des Nördlinger Ries, ergänzt nach CHAO (1977)

²³⁴ „And cosmic impacts if large enough - are nearly unique (along with nuclear war and perhaps some 'Andromeda Strain' pandemic) of having the possibility of sending civilization back into a Dark Age or even exterminating our species [...]“; SPACE.COM (2003) *The Impact Debate Part 2: Media Hype*. http://www.space.com/scienceastronomy/impact_debate_part2_030218.html (Zugang November 2007).

²³⁵ es ist darauf zu verweisen, dass sich ein Nuklearkrieg und ein Meteoriteneinschlag in ihren Auswirkungen grundsätzlich ähneln, jedoch bei letzterem keine radioaktive Strahlung freigesetzt wird

über den ‚Nuklearen Winter‘²³⁶, der sich entschieden für eine wissenschaftlich fundierte Diskussion von globalen Katastrophen einsetzt. Dieser Ansatz muss auch für das hier gewählte Thema verfolgt werden, steht doch die Vermittlung im Unterricht zur Debatte.

Die zu den Auswirkungen eines Einschlags veröffentlichten Artikel verwenden nahezu ausnahmslos eine geographische Terminologie, wenn sie die Gliederung nach lokalen, regionalen und globalen Folgen vornehmen. Dies erleichtert die Integration in eine geographische Arbeit erheblich.

Grundsätzlich können zwei Szenarien unterschieden werden:

- Einschläge mit Folgen, die an die geographische Umgebung gebunden bleiben (lokale, regionale und kontinentale Auswirkungen),
- Einschläge mit globalen Folgen.

Die Auswirkungen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, von denen die wichtigsten die Geschwindigkeit, Dichte, Größe und Einschlagswinkel des Impaktors sowie die Dichte und Materialbeschaffenheit an der Einschlagsstelle sind. Grundsätzlich ist mit folgenden Auswirkungen zu rechnen (Auflistung nach CHAPMAN (2002):

- Hitzewelle vom Impaktor vor dem Einschlag und durch den Feuerball der Explosion,
- Atmosphärische Druckwelle bis hin zu Tornados durch den schnellen Eintritt des Meteoriten in die Atmosphäre und die Explosion,
- Verdampfen des Impaktors und des getroffenen Gesteins,
- Auswurf von Trümmern mit Überschallgeschwindigkeit, oft bis in den Weltraum zurück,
- Wiedereintritt von Trümmerteilen in die Atmosphäre,
- Schwerer Fallout von Trümmerteilen in der näheren Umgebung,
- Seismische Wellen (ähnlich denen eines Erdbebens),
- Freisetzung von giftigen Gasen durch die Einschlagshitze, dadurch saurer Regen und eine mögliche Zerstörung der Ozonschicht (BIRKS/CRUTZEN/ROBLE (2007) gehen ab einem Meteoriten-Durchmesser von 390-660 Metern von einer ernsthaften Schädigung der Biosphäre durch Verlust der Ozonschicht aus)²³⁷,
- Regionale oder globale Abkühlung durch Staub und Asche in der Atmosphäre,
- Schwere Umweltschäden und Freisetzung radioaktiver Strahlung beim Einschlag in Regionen mit Chemieanlagen oder Atomanlagen²³⁸.

Bei Einschlägen der subglobalen Kategorie muss mit steigendem Energieumsatz der Wirkungsradius erweitert werden. Die direkten Folgen eines Einschlags sind eine sich ausbreitende Druck- und Hitzewelle sowie Erdbeben und Trümmerproduktion.

²³⁶ LIFTON (1986) in GRINSPOON (1986) S. 81; ähnlich äußern sich ERIKSON (1986), SAGAN (1986) sowie GOULD (1986) im selben Band

²³⁷ BIRKS, J.W., CRUTZEN, P.J. und ROBLE, R.G. (2007) *Frequent Ozone Depletion Resulting from Impacts of Asteroids and Comets*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 225-245.

²³⁸ Siehe hierzu ausführlich FRANKE, M.R. (2001) *Der Impakt eines Asteroiden in Mitteleuropa. Eine Analyse der Auswirkungen des Impakts eines Near-Earth-Objects auf Nuklearkraftwerke und Anlagen der Großchemie sowie die Folgen für Mensch und Umwelt*. Berlin.

Diese Folgen sind bekannt und quantitativ abschätzbar durch den Vergleich mit Wasserstoffbombendetonationen, die im Bereich von einer Megatonne bis 50 Megatonnen TNT²³⁹ liegen.

Im Vergleich mit anderen Naturrisiken zeigt sich zum einen eine wesentlich höhere Maximalenergie, die nur durch Impakte erzeugt werden kann. Weder Erdbeben noch Vulkanausbrüche können über die Grenze von ca. 10^{22} Joule hinaus Energie erzeugen. Bei Meteoriteneinschlägen reichen die möglichen Energien bis 10^{26} Joule. Jedoch zeigen Erdbeben und Vulkanausbrüche eine wesentlich höhere Häufigkeit, so dass sie auf das langjährige Jahresmittel mehr Energieinput haben (siehe Abbildung 23).

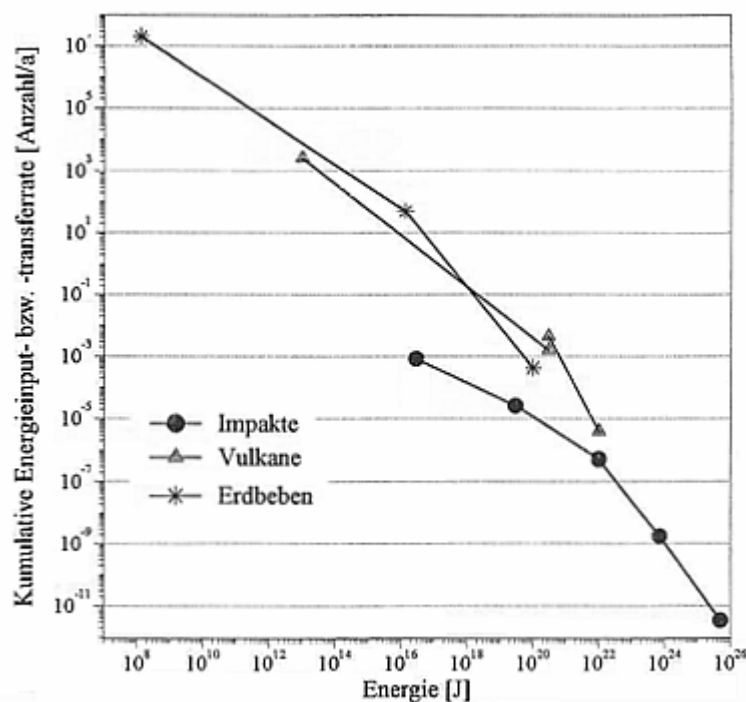


Abbildung 23: Gesamtenergie und kumulativer Energieinput von Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Impakten im Vergleich²⁴⁰

Jedoch ist es die nahezu einzigartige Bedrohung der menschlichen Zivilisation, die Meteoriteneinschläge aus der Reihe dieser Naturrisiken ausscheren lässt. Annahmen der ESA²⁴¹ gehen ab einer Impaktor-Größe von 2000 Metern von einer globalen Katastrophe mit Gefahr für den Fortbestand der Menschheit aus – diese Einschät-

²³⁹ EHRLICH et al. (1984) *The Cold and the Dark. The World after Nuclear War*. London. S. 15

²⁴⁰ Nach LANGE, D. (1996) *Impakte extraterrestrischer Körper, Vulkanausbrüche und Erdbeben: Energiebilanzen und Häufigkeitsverteilungen im Vergleich*. Diss. Kiel. S. 127; leicht graphisch verändert

²⁴¹ NEOMAP (2004) *Space Mission Priorities for Near-Earth Object Risk Assessment and Reduction*. Berlin. S. 11

zung wird auch von anderen Autoren geteilt (siehe Abbildung 24). Erklären lässt sich dies mit dem Konzept des „Nuklearen Winters“²⁴² das ursprünglich von der T-TAPS-Gruppe²⁴³ um SAGAN entwickelt wurde, um auf die Gefahren durch einen nuklearen Schlagabtausch hinzuweisen. Es beschreibt die globalen Auswirkungen der in die Troposphäre und Stratosphäre injizierten Staubmassen durch Kernwaffen-Explosionen oder Meteoriteneinschläge. Aus der Studie geht hervor, dass die Energie eines kilometergroßen Impakts ausreicht, um genügend Staub in die Atmosphäre zu schleudern, der zu einer jahre- oder jahrzehntelangen globalen Blockade des Sonnenlichts führt. Der Zusammenbruch sämtlicher Nahrungsketten hätte ein Massensterben zur Folge, von dem auch die Spezies Mensch betroffen sein könnte. Dass dieses Szenario genau an der Schnittstelle von Natur- und Sozialwissenschaften angesiedelt ist, zeigen MORRISON/HARRIS/SOMMER/ CHAPMAN (2003):

*„It is now evident that the impact problem has several peculiar characteristics that make it an issue of great scientific and social importance. Scientifically, the core of the problem is to understand the dynamical and physical processes that lead to impacts and that may affect the development and evolution of life on Earth. Socially, we need to understand the effects of impacts (and warnings of impacts) on human society. This double character of the problem is one of the reasons for its confused status at a political level, and is the most urgent aspect that needs to be solved on an international basis.“*²⁴⁴

²⁴² Für den Vorgang bei einem Meteoriteneinschlag sollte der angemessenere Begriff „Impakt-winter“ verwendet werden;

²⁴³ Akronym aus den Namen TURCO, TOON, ACKERMANN, POLLACK, SAGAN; TURCO, R.P. et al. (1983) *Global Consequences of Multiple Nuclear Explosions*. In: Science 222, S. 1283-1292.

²⁴⁴ MORRISON, D., HARRIS, A.W., SOMMER, G. and CHAPMAN, C.R. (2003) *Dealing with the Impact Hazard*. In: Cellino, A., Paolicchi, P. and Binzel, R. (2003) *Asteroids III*. Tuscon. S.739-754. (Internetquelle: <http://www.lpi.usra.edu/books/AsteroidsIII/download.html>, Zugang April 2008)

Environmental Effects ₁	Asteroid Diameter			
	1 km	2 km	5 km	10 km
Kinetic Energy (millions of megatons of TNT)	0.1	1	10	100
Average impact interval	120,000 years	400,000 years	6 million years	50 million years
Crater Diameter ₂ - final rim to rim [transient - slumps within minutes]	24 km [11 km]	46 km [20 km]	100 km [40 km]	200 km [70 km]
Radius for ignition from fireball radiation ₃ (within seconds)	150 km	250 km	600 km (but see ballistic ejecta)	1800 km (but see ballistic ejecta)
Blast radius for 4psi overpressure ₄ - 500km/h winds, buildings destroyed. Also bombardment by debris (10s of minutes). [1 psi overpressure - trees knocked over, glass windows implode.] (hours)	130 km [300 km]	180 km [400 km]	470 km [1100 km]	1800 km [4000 km]
Dust and debris fallout cover the ground and cause severe mud flows. (months)	300 km	400km	1100 km	4000 km
Area for firestorm ignition due to radiation from reentry of ballistic ejecta ₃ (within hours)	Local	Local (600 km radius)	Regional (5000 km radius)	Global
Earthquakes, hurricanes, torrential rain (muddy and highly acidic) and, for ocean impacts, tsunami (hours to months)	Regional	Regional	Global	Global
Dark skies and cooling from dust, soot and oxides of sulfur.	Regional freezing for weeks. Mild global effects for weeks.	Globally, skies darker than darkest cloud cover. Moderate global effects for months (no summer).	Severe global effects, day becomes night for months.	Very severe global effects. Day becomes night for months. Freezing conditions away from coastlines.
Acid rain, pyrotoxins (poisons from fires) and fallout of toxic heavy metals.	Regional for months	Regional for months	Global for months	Global for years
Destruction of ozone shield due to chlorine and oxides of nitrogen (hazardous UV radiation)	Partial global destruction for years	Severe global destruction for years	Total global destruction for years	Total global destruction for decades
Global greenhouse warming due to injection into the atmosphere of water, CO ₂ and methane ₅	Negligible	Minor for years	Moderate for decades	Major for centuries
Plant growth and extinctions.	Plant growth disrupted for months. Some global crop failures.	Plant growth disrupted for years. Some regional extinctions. Global crops failures.	Photosynthesis stops for months. Decades for plants to recover. Major regional extinctions.	Disruption for hundreds of years. Global mass extinctions

Abbildung 24: Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen verschiedener Größe auf der Erde²⁴⁵

²⁴⁵ Nach PAINE, M, und PEISER, B. (2002) *The Frequency and Predicted Consequences of Cosmic Impacts in the Last 65 Million Years*. In: Proceedings of IAU Symposium 213: Bio-astronomy 2002, Astronomical Society of the Pacific. Sydney. S. 12-13, graphisch leicht verändert

Die einzige Begebenheit in der jüngeren Geschichte, die heute zweifelsfrei als Impaktereignis anerkannt wird, war 1908 über Sibirien zu beobachten. Beim Tunguska-Vorfall war eine Fläche von der Größe von Washington, D.C. direkt betroffen (siehe Abbildung 25) – dabei detonierte der Bolide jedoch bereits in der Troposphäre und erreichte überhaupt nicht die Erdoberfläche. Die Größe des Meteoriten ist nicht bekannt – je kleiner jedoch die angenommene Größe ist, desto wahrscheinlicher wird ein Ereignis mit ähnlichen Auswirkungen heute.

Wie sehr der Tunguska-Vorfall die Forschung im Bereich der Meteoriteneinschläge beeinflusst, zeigt die ausführliche Behandlung in BOBROWSKY/RICKMAN (2007). Dort wird diesem Ereignis ein eigenes Unterkapitel gewidmet, in dem sieben Autoren auf 47 Seiten Aspekte des Einschlags diskutieren. Auch Gerhard BERZ nennt im Interview explizit das Ereignis von 1908 als Beispiel: „Es ist daher nur eine Frage der Zeit, bis ein Tunguska-Ereignis (oder ein viel größeres) wieder eintritt.“ (Interview Berz, Frage 4).

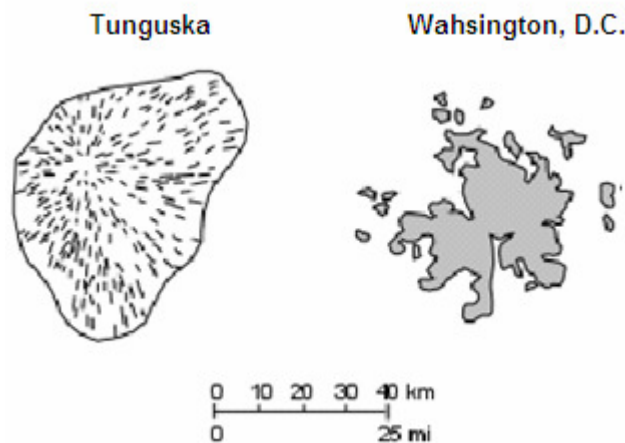


Abbildung 25: Vergleich des 1908 durch das Tunguska-Ereignis verwüsteten Gebiets in Sibirien mit Washington, D.C.²⁴⁶

Gerhard BERZ verweist auch auf die besondere Gefährdung durch Einschläge im Meer: „Besonderes Augenmerk liegt auf einem Einschlag im Meer. Dort herrscht eine massive Konzentration von Tourismuseinrichtungen an der Küste, die meist auch durch All-Risk-Versicherungen abgedeckt sind. Ein Vergleich kann mit der Tsunami-Gefahr auf La Palma gezogen werden.“ (Interview Berz, Frage 2, Abschnitt iii). Da ein Impakt im Meer wahrscheinlicher ist als auf dem Land, liegt ein Forschungsschwerpunkt in der Berechnung von Größe und Auswirkungen impaktgenerierter Tsunamis²⁴⁷.

²⁴⁶ Nach NELSON, S.A. (2006) *Meteorites, Impacts, and Mass Extinctions*. Tulane., graphisch leicht verändert; <http://www.tulane.edu/~sanelson/geol204/impacts.pdf> (Zugang August 2007).

²⁴⁷ Hierzu GUSIAKOV, V.K. (2007) *Tsunami as a Destructive Aftermath of Oceanic Impacts*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 247-263.

Die MÜNCHENER RÜCK²⁴⁸ fasst in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahr 2001 die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags für die Versicherungswirtschaft so zusammen:

„Die zerstörerischen Erscheinungsformen eines Meteoriteneinschlags fallen – mit Ausnahme der reinen Impakt- und Druckwellenschäden – überwiegend in den Deckungsumfang der weltweit gängigen Bedingungswerke. Sicherlich: Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist sehr gering. Würde jedoch ein dicht besiedeltes Gebiet von einem direkten Einschlag oder von einer Flutwelle nach einem solchen Einschlag getroffen, könnte es zu einem Schadenkumul von bisher nicht gekanntem Ausmaß kommen. Die Versicherungswirtschaft muss sich angesichts einer derart substanziellen Bedrohung die Frage stellen, ob sie für ein solches Szenario gerüstet ist; dies muss man bezweifeln. Mit dem bloßen Verweis auf die vermeintliche Seltenheit solcher Ereignisse dürfte es im Lichte der neueren Erfahrungen jedenfalls nicht mehr getan sein.“²⁴⁹

Diese Erkenntnis kann nicht nur für die Versicherungswirtschaft als gültig angesehen werden. Denn Impakte haben vielfache soziale, ökonomische und politische Konsequenzen. Ausführlich werden die Berührungspunkte bei BOBROWSKY/RICKMAN (2007) dargelegt, die dem Bereich ‚socio-economic and policy implications‘ einen eigenen Abschnitt widmen und folgende Themen behandeln:

- Risikowahrnehmung: Entscheidungsprozesse, psychometrische Studien, Risikowahrnehmung in der Öffentlichkeit²⁵⁰;
- Soziale Perspektiven: technokratische Autorität und die Geographie der sozialen Verwundbarkeit²⁵¹;
- Wirtschaftliche Folgen und möglicher Kollaps von Gesellschaften durch Impakte: Gesellschaften als komplexe Systeme, Fallstudien zu einem Einschlag in einem mitteleuropäischen Land²⁵²;
- Management der Risiko-Kommunikation und politische Implikationen²⁵³.

Aus geographischer Perspektive von besonderer Bedeutung ist die Verbindung von Impakt-Thematik und internationalen Entwicklungsländer-Studien, die Ben WISNER (2007) in seiner Studie zu den gesellschaftlichen Folgen eines Einschlags her-

²⁴⁸ MÜNCHENER RÜCK (2001) *Meteoriten – (auch) ein unterschätztes Kumulrisiko?* In: MÜNCHENER RÜCK (2001) *topics-Jahresrückblick 2001*. München. S. 36-41.

²⁴⁹ MÜNCHENER RÜCK (2001) S. 41

²⁵⁰ SLOVIC, P. (2007) *Perception of Risk from Asteroid Impact*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 369-382.

²⁵¹ HEWITT, K. (2007) *Social Perspectives on Comet/Asteroid Impact (CAI) Hazards: Technocratic Authority and the Geography of Social Vulnerability*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 399-417.

²⁵² CARUSI, A., CARUSI, A. und POZIO, L. (2007) *May Land Impacts Induce A Catastrophic Collapse of Civil Societies?* In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 419-447.

²⁵³ ANDERSEN, J. (2007) *Towards Rational International Policies on the NEO Hazard*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 521-526.

stellt²⁵⁴. Dabei greift er auf die Risiko-Formel zurück, die von vielen Hazard-Forschern verwendet wird:

$$R = H \times V$$

‚H‘ steht dabei für den möglichen ‚Hazard‘ (Intensität, Dauer, Ort, Frequenz), während mit ‚V‘ die Vulnerabilität eines Systems dargestellt wird²⁵⁵. Zur Reduzierung der Vulnerabilität (also des Faktors ‚V‘) schlägt WISNER (2007) ein „Zehn-Punkte-Paket“ von Maßnahmen vor, das auch (aber nicht ausschließlich) für einen Meteoriteneinschlag Gültigkeit besitzt und besonders in Entwicklungsländern von Bedeutung ist²⁵⁶:

- Reduzierung von gewalttätigen Konflikten, die zur Vertreibung von Menschen führen; dadurch Schaffung einer Basis für die nachhaltige ökonomische Landnutzung;
- Ermutigung zu verantwortungsvollem und kompetenten Regieren auf nationalem bis lokalem Niveau;
- Ausweitung und Stärkung des öffentlichen Gesundheitswesens;
- Kontrolle des ungeplanten Städtewachstums;
- Ausweitung der Anstrengungen zur Erhaltung der Biodiversität;
- Kontrolle der globalen Erwärmung;
- Ausweitung der Möglichkeiten für einen gesicherten Lebensunterhalt für die Armen in Städten und auf dem Land;
- Roll out von alternativen Energiequellen;
- Nationale Gesetzgebung zur Dezentralisierung von Megastädten
- Förderung der ‚low input sustainable agriculture‘ (LISA).

Diese Schritte könnten nach WISNER (2007) auch für den Fall eines Meteoriteneinschlags die Fähigkeit der Menschheit, mit einem derartigen Ereignis umzugehen, wesentlich verbessern.

Die Auswirkungen eines Einschlags heute gehen damit weit über die rein physikalischen, geologischen und klimatologischen Konsequenzen hinaus. Vielmehr bedarf es eines weit umfassenderen interdisziplinären Ansatzes, um auch die Folgen im psychologischen, sozialen, ökonomischen und politischen Bereich zu verstehen.

3.3.3.2. Auswirkungen von Einschlägen in der Erdgeschichte

Dass Massensterben in der Erdgeschichte vorkamen, zeigen die vielfachen geologischen Hinweise durch nahezu alle Gesteinsschichten. Diesen Ereignissen fielen bis zu 90% der damals lebenden Arten zum Opfer (siehe Abbildung 26). Die durch die Massensterben hervorgerufenen biologischen Umbrüche markieren oftmals geologische Periodenwechsel. Bisher konnte sich die Biosphäre nach jedem Ereignis

²⁵⁴ WISNER, B. (2007) *The Societal Implications of a Comet/Asteroid Impact on Earth: a Perspective from International Development Studies*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 437-447.

²⁵⁵ WISNER (2007) S. 440

²⁵⁶ Zusammengefasst und gekürzt nach WISNER (2007) S. 441 und 442

erholen – jedoch wurde die Makroevolution durch die anschließende adaptive Radiation der verbliebenen Arten jedes Mal in eine neue Richtung gelenkt²⁵⁷.

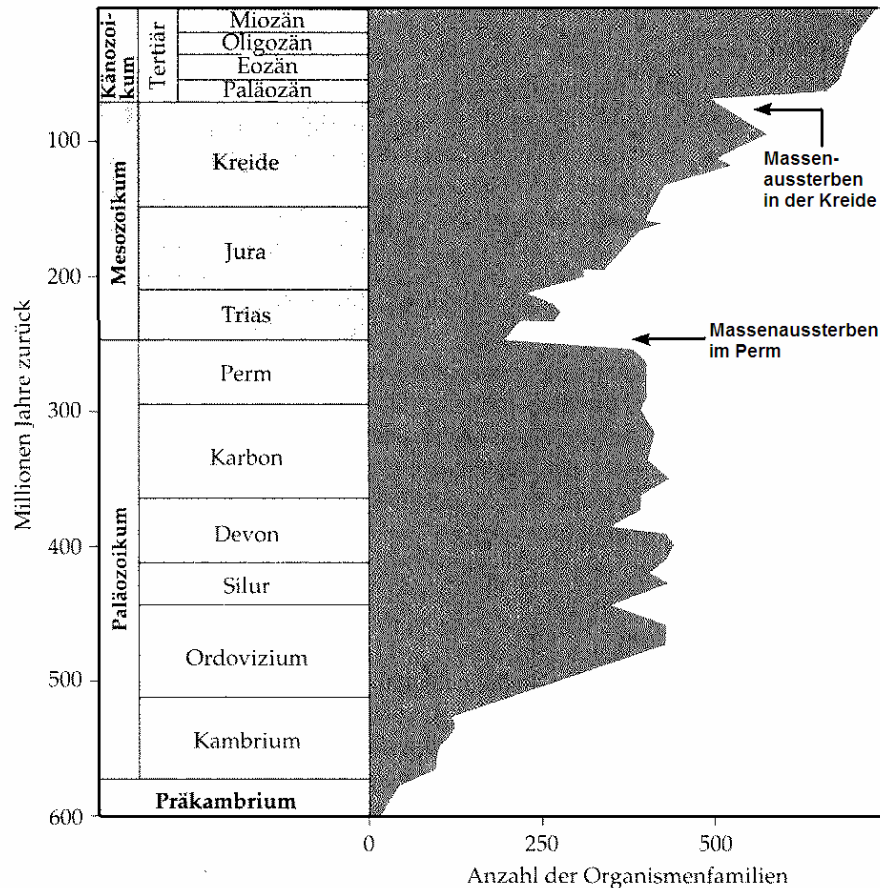


Abbildung 26: Massensterben in der Erdgeschichte nach CAMPBELL (1997)²⁵⁸

Als Auslöser für Extinktionen kommen verschiedene Prozesse und Ereignisse in Frage. Eine zentrale Rolle spielen globale geophysikalische Ereignisse: 'Global Geophysical Events' (GGE) bilden eine Zusammenfassung verschiedener Naturereignisse, die auf globalem Maßstab katastrophale Ereignisse für Umwelt, Wirtschaft und

²⁵⁷ Zu den Konzepten zum Thema Massensterben und Impakte in der Biologie sei auf das ausführliche Kapitel „Die Mechanismen der Evolution – Auf den Spuren der Phylogenie: Makroevolution, Fossilbelege und Systematik“ in CAMPBELL, N.A. (1997) *Spektrum Lehrbuch Biologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford, S. 507-510 verwiesen

²⁵⁸ Nach CAMPBELL (1997) S. 508, graphisch verändert; die Graphik zeigt Extinktionen anhand von Organismenfamilien an; da eine Familie aus zahllosen Arten bestehen kann und erst dann als ausgestorben gilt, wenn alle Arten verschwunden sind, zeigt sich prozentual in dieser Abbildung ein geringere Aussterberate; dennoch sind die wichtigsten Extinktionen der Erdgeschichte deutlich zu erkennen; auch hier ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „Tertiär“ in der Terminologie der ICS nicht mehr verwendet wird

Gesellschaft nach sich ziehen können²⁵⁹. MCGUIRE (2006) listet folgende Ereignisse als GGE²⁶⁰:

- Einen kilometergroßen Meteoriteneinschlag (z.B. Chixculub),
- Eruption eines Supervulkans (z.B. Yellowstone, Toba),
- Kollaps eines im Meer befindlichen Vulkans und anschließender Tsunami (z.B. Kanarische Inseln),
- Vulkanausbrüche, die das Klima verändern können (z.B. Laki, Tambora),
- Strategische Erdbeben (z.B. unter Tokio),
- Flutbasalte (z.B. Dekkan-Traps).

MCGUIRE (2006) sieht in diesen geophysikalischen Vorgängen grundlegende Ereignisse, die gravierenden und mehr oder weniger plötzlichen Einfluss haben auf die Evolution des Lebens auf der Erde. Dass einige deutliche Floren- und Faunenschnitte auf Impakt-Ereignisse zurückzuführen sind, wurde erstmals durch die Arbeiten von ALVAREZ et al. (1980) zum Aussterbeereignis vor 65 Millionen Jahren postuliert²⁶¹. Auch Max TILZER verweist in seinem Interview auf diese Theorie:

„Für den Geographieunterricht ist die Hypothese, dass die letzte große Massenauslöschung von Organismen am Ende der Kreidezeit durch einen Meteoriten ausgelöst wurde, wichtig und sollte sinnvollerweise dort behandelt werden. Es gibt inzwischen gute Hinweise darauf, dass dies so gewesen ist. Ein erster Hinweis war die Iridium-Anomalie – dieses Element ist in Meteoriten sehr häufig. Nach einem Meteoriteneinschlag findet sich eine positive Iridiumkonzentration und diese war auch der erste Hinweis auf einen Einschlag.“ (Interview Tilzer, Frage 2)

Während das Kreide/Tertiär-Ereignis heute weitestgehend als durch einen Einschlag ausgelöst akzeptiert wird, zeigen neueste Untersuchungen auch für das Perm-Massensterben eine kosmische Ursache²⁶². Das Perm-Massensterben stellt mit 90% Verlust aller damals lebenden Taxa das größte Massensterben der Erdgeschichte dar (siehe Abbildung 26). Der stratigraphisch dazu passende Bedout-Krater vor Australien hat einen Durchmesser von ca. 200 Kilometern.

Weiterhin gibt es erste Hinweise für eine atmosphärische Detonation eines kosmischen Körpers über dem nordamerikanischen Kontinent zu Beginn der Jüngeren Dryas-Zeit vor ca. 12.900 Jahren²⁶³. Vermutet wird, dass ein Komet in der Atmosphäre explodiert ist und durch den Energieeintrag Teile des damals noch vorhandenen Eises zum Schmelzen gebracht hat. Der schnelle Abfluss des Schmelzwassers in

²⁵⁹ MCGUIRE, W. J. (2006) *Global risk from extreme geophysical events: threat identification and assessment*. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, Nr. 364, S. 1889–1909.

²⁶⁰ MCGUIRE (2006) S. 1890

²⁶¹ Einen Überblick über den Forschungsstand zum Thema Impakte und Massenextinktionen bietet KOEBERL, C. (2007) *Impakt und Massensterben – Ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand*. In: Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt Österreich, Band 147, Heft 1+2, S. 169–191. Wien (= Festschrift zum 65. Geburtstag von HR Univ.-Prof. Dr. Hans Peter Schönlaub, Direktor der Geologischen Bundesanstalt).

²⁶² BECKER, L. et al. (2004) *Bedout: A Possible End-Permian Impact Crater Offshore North-western Australia*. In: *Science*, Vol 304, Issue 5676, 1469-1476. Die Ergebnisse sind jedoch umstritten (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.5.)

²⁶³ Erste Forschungsergebnisse wurden vorgetragen auf dem Joint Assembly der AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (AGU) im Mai 2007 im Fachbereich Paläoozeanographie und Paläoklimatologie; Informationen zu einzelnen Vorträgen finden sich unter AGU (2007) *Joint Assembly – Session Information - Paleooceanography and Paleoclimatology - PP41A*. http://www.agu.org/meetings/sm07/sm07-sessions/sm07_PP41A.html (Zugang August 2007).

den Nordatlantik soll die Zirkulation des Golfstroms unterbrochen haben und dadurch zum Einbruch der Jüngerer Dryas-Eiszeit geführt haben. Der Einschlag könnte zudem für das schnelle Verschwinden der Clovis-Kultur Nordamerikas und ein kleineres Massensterben (dem z.B. auch die Mammuts zum Opfer gefallen sind) verantwortlich sein.

Am bekanntesten ist jedoch das Ereignis, das vor 65 Millionen Jahren an der Grenze der Erdzeitalter Mesozoikum und Känozoikum stattgefunden hat. Die dabei derzeit akzeptierte wissenschaftliche Konzeption - hier zitiert nach CHAPMAN (2002)²⁶⁴ – geht davon aus, dass ein ca. zehn bis fünfzehn Kilometer großer Asteroid vor der Halbinsel Yucatan in flaches Meerwasser eingeschlagen ist und einen Krater mit ca. 180 Kilometern Durchmesser gebildet hat (Chicxulub-Krater). CHAPMAN (2002) fasst die Auswirkungen zusammen:

- Feuer werden global entfacht; globaler Feuersturm durch Explosion beim Einschlag und wieder in die Atmosphäre eintretendes Auswurfmaterial;
- Globale Nacht durch Staub in der Stratosphäre; langjähriger ‚Impakt-Winter‘;
- Leichte bis mittlere Schäden durch Erdbeben auf globaler Ebene;
- Tsunamis treffen die meisten Küstenlinien bis ca. 100 km landeinwärts und überfluten tief liegende Gebiete weltweit.²⁶⁵

Durch diese globale Umweltkatastrophe wurde ein Massensterben ausgelöst, dem auch die Dinosaurier, Flugsaurier und alle Meeressäurier zum Opfer fielen.

Insgesamt registriert die Earth Impact Database²⁶⁶ derzeit 174 wissenschaftlich anerkannte Krater auf der Erde. Da strenge Auswahlkriterien für die Aufnahme in die Liste gelten, sind Ereignisse wie Tunguska, der Clovis-Einschlag oder der vermutete Bedout-Krater nicht erfasst. Der größte genannte Krater ist die Vredefort-Struktur in Südafrika mit 300 Kilometern Durchmesser. Der Chicxulub-Krater in Mexiko wird mit einem konservativen Wert von 170 Kilometern Durchmesser an 3. Stelle gelistet, während das Nördlinger Ries mit 24 Kilometern Durchmesser an 35. Stelle steht. Dass die Gesamtzahl der Krater jedoch wesentlich höher liegen wird, zeigt Abbildung 27: die höchste Kraterdichte weisen gut erforschte Gebiete wie die USA und Australien auf, während in Afrika, Asien, Südamerika und der Antarktis eine sehr viel geringere Dichte auffällig ist. Da es keinerlei Grund gibt, eine variable Impaktdichte anzunehmen, können auf der Erde mehrere Hundert Krater noch unentdeckt sein – noch nicht miteinbezogen ist dabei der Meeresgrund. Nur wenige Einschläge haben die Energie, überregionale Auswirkungen zu produzieren – die größten Einschläge jedoch können zu globalen Folgen führen und Massensterben auslösen.

Gerhard BERZ zeigt die notwendige Verbindung von geologischen Erkenntnissen und aktuellem Handeln auf: „Man muss von den Indizien für die großen geohistorischen Ereignisse ausgehen, in denen das Leben nahezu ausgelöscht wurde. Im Vergleich mit dem Mond müsste auch die Erde pockennarbig sein, was jedoch auf Grund der Vegetation nicht der Fall ist. Einschläge gab es auch in jüngerer Zeit. [...] Daher müssen die Folgen eines Einschlags bedacht werden.“ (Interview Berz, Frage 4).

²⁶⁴ CHAPMAN, C.R. (2002) *Impact lethality and risks in today's world: Lessons for interpreting Earth history*. In: Geological Society of America, Special Paper 256, S. 7-19.

²⁶⁵ CHAPMAN (2002) S. 12

²⁶⁶ Planetary and Space Science Centre University of New Brunswick (2008) *Earth Impact Database*. <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/> (Zugang April 2008)



Abbildung 27: Globale Verteilung bekannter Impakt-Krater²⁶⁷

Die Forschung zu den Auswirkungen von Einschlägen in der Erdgeschichte kann zusammenfassend zwar große Fortschritte aufweisen, jedoch zeigen die beinahe jährlich neu gefundenen Krater und Spuren vergangener großer Einschläge, dass bei weitem noch nicht alle Ereignisse bekannt sind und ihre Rolle für die Evolution des Lebens auf der Erde verstanden ist.

Die Folgen eines möglichen Einschlags auf die heutige Zivilisation müssen daher – vor dem Hintergrund globaler geohistorische Ereignisse – erkannt, erforscht und kommuniziert werden. Dieser Auffassung ist auch Gerhard BERZ:

Insgesamt stellen Meteoriteneinschläge eines der großen Katastrophenszenarien auf der Erde dar, eventuell sogar das größte. Das Risiko schließt eine globale Auslöschung ein, die aber aus Versicherungssicht nicht relevant wäre. Ein Vergleich mit Riesenvulkanen ist angebracht, die auch Artensterben hervorrufen können. Diese kommen aber nicht plötzlich, sondern haben eine Vorlaufzeit. Bei Meteoriten hat man dagegen oft erst ein paar Tage hinterher einen Vorbeiflug festgestellt. Das Überraschungsmoment ist größer. (Interview Berz Frage 2, Abschnitt iv).

²⁶⁷ Nach LPI (2000) *Geographic Distribution of Known Impact Structures*. http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/craters/images/02_DISTRIBUTION_MAP.JPG (Zugang: April 2008) graphisch verändert; eine ähnliche Karte findet sich bei ESA- ICDY (2008) *Impact Crater Discovery Project*. <http://earth.esa.int/rtd/Projects/ICDY/> (Zugang April 2008); Originalquelle: CHICAROO, A., ABELS, A. et al. (2003) *ERS Synthetic Aperture Radar Imaging of Impact Craters* (69 pp), SP-1275, ESA Publications Division, ESTEC. Noordwijk.

3.3.3.3. Möglichkeiten der Abwehr eines Meteoriten

Trotz der beschriebenen Magnitude eines Impakts könnte die Gefahr durch Meteoriten die einzige Naturkatastrophe sein, die mit den derzeitigen technologischen und logistischen Mitteln vermieden werden könnte.

Die laufenden Projekte untersuchen die Interventionsmöglichkeiten, die sich einzelnen Staaten oder der Staatengemeinschaft bieten. Dabei können vier Stadien unterschieden werden:

- Erkennen der potenziellen Bedrohung,
- Einschätzung der Auswirkungen und räumliche Zuordnung eines Impakts,
- Vorkehrung zur Minimierung der Schäden bei einem Einschlag,
- Falls technisch möglich: Abwehr der Impaktors.

Derzeit finden auf allen Ebenen wissenschaftliche Forschungen statt, die 2007 zu einer gemeinsamen Veröffentlichung der NASA geführt haben²⁶⁸. Ziel der Untersuchung war es, Möglichkeiten für weitere Detektionsprogramme auszuloten und die Realisierbarkeit von Abwehrmaßnahmen zu analysieren. Die wichtigsten Ergebnisse für die Überwachungsprogramme sind:

- Das Ziel des Detektionsprogramms sollte es sein, bis Ende 2020 90% aller PHOs zu erfassen, zu katalogisieren und zu charakterisieren, die einen Durchmesser von mehr als 140 Metern haben und näher als 0,05 AE an die Erde herankommen,
- Zur Einschätzung der Gefahr durch einen NEO ist es wichtig, seine Masse und seinen genauen Orbit zu kennen; die gewonnenen Ergebnisse sollen direkt in ein Abwehrprogramm einfließen.

Das Abwehrprogramm sieht als beste Option die Detonation nuklearer Sprengkörper vor, da diese 10-100 mal effektiver seien als nicht-nukleare Alternativen. Bisherige Favoriten wie langsame Stoßverfahren wurden aufgrund der hohen Kosten und des geringen technischen Entwicklungsstands verworfen:

„The study team assessed a series of approaches that could be used to divert a NEO potentially on a collision course with Earth. Nuclear explosives, as well as non-nuclear options, were assessed.

- *Nuclear standoff explosions are assessed to be 10-100 times more effective than the non-nuclear alternatives analyzed in this study. [...]*
- *“Slow push” mitigation techniques are the most expensive, have the lowest level of technical readiness, and their ability to both travel to and divert a threatening NEO would be limited unless mission durations of many years to decades are possible.”*²⁶⁹

²⁶⁸ NASA (2007e) *Near-Earth Object Survey and Deflection Analysis of Alternatives Report to Congress*. http://www.nasa.gov/pdf/171331main_NEO_report_march07.pdf (Zugang August 2007).

ANMERKUNG: sämtliche Abbildungen der NASA unterstehen nicht dem Copyright und können daher auch in vorliegender Arbeit zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden; siehe ausführlich hierzu NASA (2005) *Using NASA Imagery and Linking to NASA Web Sites*. (http://www.nasa.gov/audience/formedia/features/MP_Photo_Guidelines.html) Zugang Oktober 2007)

²⁶⁹ NASA (2007e)

Damit wird ein gewichtiger Grund vorgebracht, ein nukleares Arsenal zur Abwehr von NEOs zu erhalten und diese auch im Weltraum einzusetzen. Ein derartiges Vorgehen wird jedoch durch internationale Verträge bisher verhindert, worauf auch im Bericht NASA (2007e) hingewiesen wird:

„It should be noted that because of restrictions found in Article IV of the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, use of a nuclear device would likely require prior international coordination. The study team also examined conventional explosives, but found they were ineffective against most threats.“²⁷⁰

Die gravierenden politischen Implikationen dieser Aussagen müssen in Verhältnis gesehen werden zur Wahrscheinlichkeit eines Einschlags, der eine derartige Abwehr notwendig machen würde.

Der NASA-Bericht²⁷¹ zur Deflektion von NEOs (NASA (2007e)) zeigt zudem nur die Abwehr von NEOs mit einem Kilometer Durchmesser als möglich auf – größere Asteroiden oder Kometen sind derzeit nicht im Bereich technischer Möglichkeiten. Die Menschheit wäre also genau bei den Einschlägen mit globalen Konsequenzen auf Sekundärmaßnahmen angewiesen. Dennoch trifft die Forderung von Gerd TETZLAFF zu: *„Was mir sehr wichtig erscheint, ist, dass in der Öffentlichkeit und in der Schule ein bisschen stärker die durchaus vorhandenen Einrichtungen zur Meteoritenabwehr – es gibt eine Übereinkunft zwischen Europa und den USA – ins Bewusstsein gerufen werden. Es gibt Überwachungsgeräte, die den Weltraum nach Flugkörpern abtasten können. Hier ist wichtig zu vermitteln, dass die Regierungen durchaus bereits Vorkehrungen unternommen haben.“* (Interview Tetzlaff, Frage 8). Denn eine kritische Auseinandersetzung mit den Argumenten für oder gegen einen weiteren Ausbau der Abwehrmaßnahmen kann für den Unterricht fruchtbar sein.

3.3.4. Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

„Es bleibt nur zu hoffen, dass nicht erst das „Kind in den Brunnen“ fallen muss, bevor man auch in Deutschland und Europa die weitreichende Bedeutung dieses Themas erkennt und rechtzeitig ausreichende Vorsorgemaßnahmen trifft.

Es ist schließlich nicht die Frage, ob uns ein Impakt bevorsteht, sondern wann dies sein wird!“²⁷²

Zwei Quellen können herangezogen werden, die Wahrscheinlichkeit von Einschlägen auf der Erde abzuschätzen: geologische Zeugen vergangener Einschläge auf Erde, Mond und anderen Himmelskörpern können die durchschnittliche Häufigkeit von Einschlägen erkennen lassen. Die astronomische Beobachtung von NEOs und

²⁷⁰ NASA (2007e) S. 20, Hervorhebungen durch NASA

²⁷¹ NASA (2007f) 2006 Near-Earth Object Survey and Deflection Study. http://www.hq.nasa.gov/office/pao/FOIA/NEO_Analysis_Doc.pdf (Zugang August 2007). S. 111-115; auf dieses Problem hat vor Jahren bereits Carl SAGAN aufmerksam gemacht; siehe hierzu auch PLANETARY DEFENCE CONFERENCE (2007) *Summary and Recommendations from the 2007 Planetary Defense Conference held on March 5 – 8, 2007 at the Cloyd Heck Marvin Center George Washington University Washington, D.C.* (Internetquelle: <http://www.aero.org/conferences/planetarydefense/2007papers/>, Zugang November 2007)

²⁷² GRITZNER, C. und FASOULAS, S. (2001) *Katastrophen durch Einschläge von Asteroiden und Kometen*. In: Tetzlaff, G., Trautmann, T. und Radtke, K.S. (2001) DKKV - Zweites Forum Katastrophenvorsorge „Extreme Naturereignisse – Folgen, Vorsorge, Werkzeuge“. Bonn, Leipzig. S.43

PHOs hingegen zeigt die aktuelle und zukünftige Gefährdung anhand konkreter Objekte an. Dabei hat die systematische Suche nach NEOs erst 1998 mit den Programmen NEAT²⁷³ und LINEAR begonnen – deren beachtenswerte Erfolge spiegeln sich auch in den Statistiken wider (siehe Abbildung 28): LINEAR, NEAT sowie das neueste Programm Catalina haben zu einem sprunghaften Anstieg der Anzahl neu entdeckter NEOs geführt.

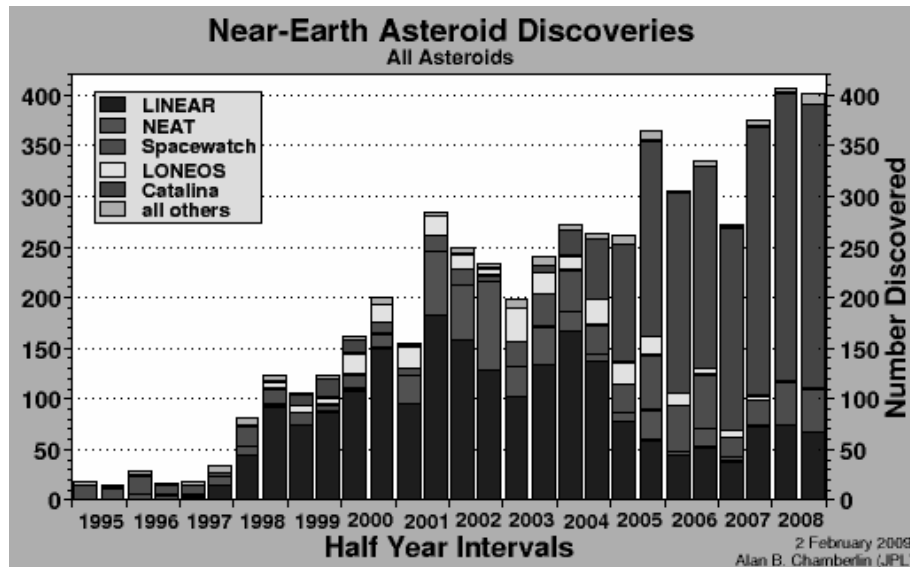


Abbildung 28: Anzahl der entdeckten NEOs pro Halbjahr²⁷⁴

Derzeit liegt die Zahl der bekannten NEOs bei ca. 6200²⁷⁵ (siehe Abbildung 30) – inklusive ca. 780 großer NEOs. Die auf den ersten Blick Abbildung 29 ähnelnde Statistik offenbart den rasanten Anstieg der Anzahl bekannter NEOs. Vergleicht man die Ordinaten der beiden Graphiken, zeigt sich die Differenz der NEOs: waren es im Jahr 2005 noch ca. 3500, so ist die Zahl bis Mitte 2009 auf über 6200 angestiegen. Diese Objekte werden erfasst und regelmäßig beobachtet – so können die Daten der Flugbahn genau erfasst werden und eine potenzielle Kollision vorausberechnet werden.

²⁷³ NEAT steht für Near Earth Asteroid Tracking, LINEAR für Lincoln Near-Earth Asteroid Research

²⁷⁴ NASA (2007b) *Near Earth Object Program*. <http://neo.jpl.nasa.gov/> (Zugang August 2009).

²⁷⁵ NASA (2007b) *Near Earth Object Program*. <http://neo.jpl.nasa.gov/> (Zugang August 2009); aus Gründen der Verfügbarkeit kann hier ausschließlich auf Internetquellen zurückgegriffen werden; Stand November 2008: 5735 NEOs, davon 760 mit einem Durchmesser von über einem Kilometer

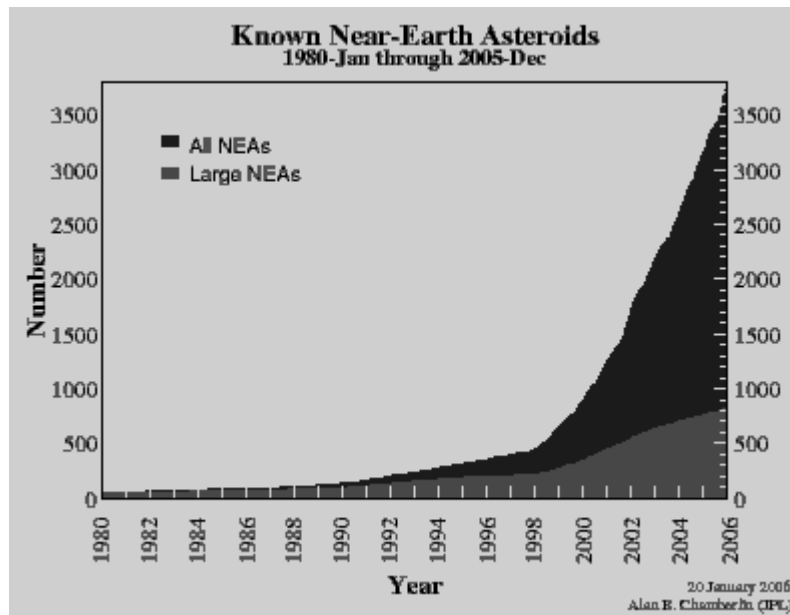


Abbildung 29: Anzahl der bekannten erdnahen Asteroiden, Stand Ende 2005²⁷⁶

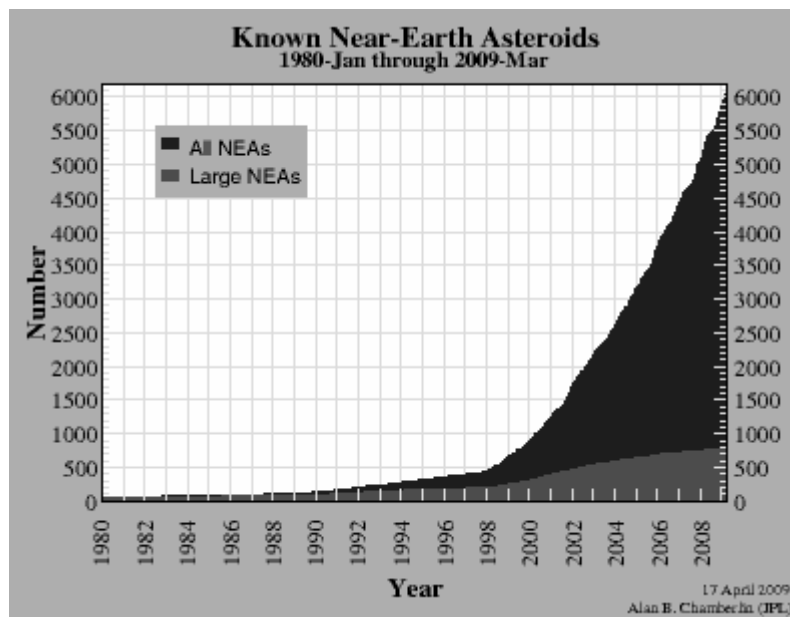


Abbildung 30: Anzahl der bekannten erdnahen Asteroiden, Stand Mitte 2009²⁷⁷

²⁷⁶ NASA (2007b) *Near Earth Object Program*. <http://neo.jpl.nasa.gov/> (Zugang Dezember 2005).

²⁷⁷ NASA (2007b) *Near Earth Object Program*. <http://neo.jpl.nasa.gov/> (Zugang August 2009).

Sobald eine Kollision wahrscheinlich wird, muss eine Abschätzung der Auswirkungen erfolgen. Dabei geht es ebenso um die freiwerdende Gesamtenergie wie auch um die Folgen für Flora, Fauna und betroffene Menschen. Die generelle Einteilung erfolgt an Hand der Turiner Skala, die auch die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags mit einbezieht. Sie wurde von Richard BINZEL²⁷⁸ entworfen um Kollisionswahrscheinlichkeit und Auswirkungen zusammengefasst zu betrachten. Erst seit dem Jahr 1995 (respektive 1999 nach der Überarbeitung) gibt es diese international gültige Skala zur Einstufung von neu entdeckten NEOs in Bezug auf ihr Gesamtrisiko. Die Turiner Skala ist ausdrücklich als Kommunikationsmittel zwischen Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit gedacht, um die Gefahr eines neu entdeckten Kometen oder Asteroiden einschätzen zu können²⁷⁹. Die Skala arbeitet mit Werten von 0 bis 10, wobei die Impaktwahrscheinlichkeit und die vermutlichen Auswirkungen miteinander korreliert werden²⁸⁰. Für die Geographie wieder von Interesse und Vorteil ist, dass ein Dreischritt aus lokalen, regionalen und globalen Auswirkungen ein zentraler Bestandteil der Skala ist (siehe Abbildung 31). Diese Unterteilung wird an der Ordinate des Koordinatensystems verwendet, während die Abszisse die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags abbildet.

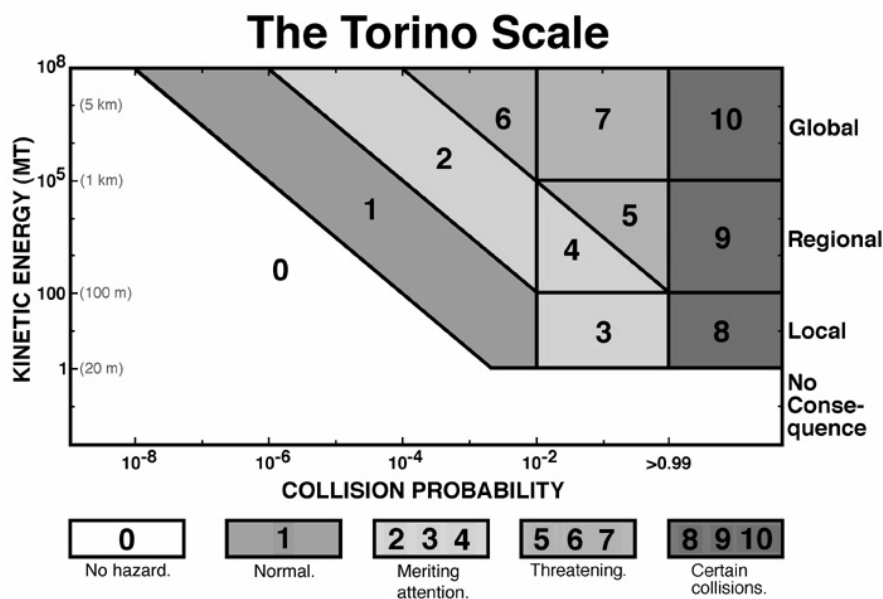


Abbildung 31: Die Turiner Skala²⁸¹

²⁷⁸ BINZEL, R. P. (2000) *The Torino Impact Hazard Scale*. In: *Planetary & Space Science* 48, S. 297-303.

²⁷⁹ In diesem Zusammenhang sei darauf verwiesen, dass ca. die Hälfte aller neu entdeckten Kometen von Amateurastronomen aufgefunden werden

²⁸⁰ NASA (2007c) *The Torino Impact Scale*. <http://impact.arc.nasa.gov/> (Zugang August 2007).

²⁸¹ NASA (2007) *The Torino Impact Scale*. <http://impact.arc.nasa.gov/torino.cfm> (Zugang August 2007).

Bisher waren nur wenige NEOs zu berichten, die über einen Wert von 0 oder 1 (keine Gefährdung) hinaus eingestuft wurden. Die höchste Einstufung erreichte Asteroid 2004 MN4 (Apophis) im Dezember 2004 mit der Stufe 4 – ein Einschlag 2029 wurde als Möglichkeit errechnet (Wahrscheinlichkeit 2,7%). Durch weitere Beobachtungen konnte die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags neu berechnet werden und ist derzeit als vernachlässigbar klein eingestuft. Jedoch wird der Asteroid am 13. April 2029 in einer Entfernung von nur 29.470 Kilometern an der Erde vorbeifliegen – mit 12,59 km/s. Die NASA hat für Apophis eine eigene Informationsseite eingerichtet²⁸² – zumal immer wieder Meldungen eines möglichen Einschlags durch die Medien hochgespielt werden. Besonders erwähnenswert ist hier, dass ein 13-jähriger deutscher Schüler eigene Berechnungen für einen Einschlag von Apophis angestellt hat und zu wesentlichen erhöhten Ergebnissen gekommen ist und gleich den Weltuntergang prophezeite. Diese Aussagen wurden in der deutschen Presse so lange verbreitet, bis sich die NASA zu einer korrigierenden Darstellung genötigt sah²⁸³. Hier kann auch die CRATER-Simulation mit den beigegeführten Materialien einen Beitrag leisten, die Vorstellungen über einen derartigen Vorfall zu beeinflussen.

Berechnungen, die alle bisher gefundenen Krater und die bekannten NEOs mit einbeziehen, kommen zu dem Schluss, dass Einschläge von großen Objekten wesentlich seltener vorkommen als kleinere Impakte. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass weder alle Krater auf der Erde noch alle NEOs bekannt sind²⁸⁴ – hierzu ist die Forschung noch nicht weit genug fortgeschritten. Eine Schwierigkeit, die Angaben aus unterschiedlichen Quellen zu vergleichen und didaktisch zu verwerten, ist die unterschiedliche Art und Weise, die geologischen Zeiträume in aussagekräftige statistische Angaben zu verwandeln. So verwendet die NASA Angaben zur Wiederkehrwahrscheinlichkeit in Millionen Jahren, während der Bericht der OECD²⁸⁵ die Wahrscheinlichkeit für das 21. Jahrhundert angibt. Die Mehrzahl der Statistiken geben folgende Angaben zur Wahrscheinlichkeit verschieden großer Einschläge²⁸⁶:

- Ereignisse ähnlich dem Tunguska-Vorfall aus dem Jahr 1908 (Explosion des Objekts in der Atmosphäre mit einer anschließenden Druckwelle, keine Kraterbildung) im Intervall von mehreren Hundert Jahren²⁸⁷,
- Einschläge in Größe des Barringer Craters (Impaktor ca. 75 m, Kraterdurchmesser 1,5 km; Energie 10 bis 100 Megatonnen TNT; bei einer Megatonne = 4.3×10^{15} Joule) alle 1000 Jahre,

²⁸² NASA (2008) *Predicting Apophis' Earth Encounters in 2029 and 2036*. <http://neo.jpl.nasa.gov/apophis/> (Zugang April 2008).

²⁸³ NASA (2008) *NASA Statement on Student Asteroid Calculations*. <http://neo.jpl.nasa.gov/news/news158.html> (Zugang April 2008).

²⁸⁴ Und auch nicht bekannt sein können; das maximale Alter des Meeresbodens von ca. 200 Millionen Jahren verhindert den Fund älterer Krater, zudem kann erst seit einigen Jahren eine konsequente Suche auch am Ozeanboden vorgenommen werden; weiterhin verschwinden terrestrische Impaktstrukturen durch die Wirkung von Klima und Vegetation (siehe hierzu auch Interview Tilzer, Frage 3)

²⁸⁵ OECD (2003) *Workshop on Near Earth Objects: Risks, Policies and Actions – Final Report*. Frascati. (Internetquelle: <http://www.oecd.org/dataoecd/39/40/2503992.pdf>, Zugang April 2008).

²⁸⁶ Angaben nach ATKINSON/TICKNELL/WILLIAMS (2000)

²⁸⁷ Hier mussten die Angaben nach neueren Veröffentlichungen nach oben korrigiert werden: gingen ATKINSON/TICKNELL/WILLIAMS (2000) noch von einem Intervall von 1000 Jahren aus, wird heute eine Wiederkehr von mehreren Jahrhunderten angenommen: SANDIA NATIONAL LABORATORIES (2007) *Sandia supercomputers offer new explanation of Tunguska disaster - Smaller asteroids may pose greater danger than previously believed*. <http://www.sandia.gov/news/resources/releases/2007/asteroid.html> (Zugang April 2008).

- Einschläge in Größe des Nördlinger Ries (Impaktor mit einem Durchmesser von ca. einem Kilometer; Kraterdurchmesser 25 Kilometer; Energie 100.000 bis eine Million Megatonnen TNT) alle 350.000 Jahre,
- Globale Katastrophen wie der Chicxulub-Einschlag (vor 65 Millionen Jahren vor der Halbinsel Yucatan; Impaktor ca. zehn Kilometer; Kraterdurchmesser 180 Kilometer; Energie bis 1 Milliarde Tonnen TNT) alle 100 Millionen Jahre.

Um die Gefährdung durch Meteoriteneinschläge jedoch umfassend einschätzen zu können, ist es von Bedeutung, ein geologisches Zeitbewusstsein zu entwickeln²⁸⁸. Zeiträume von Hunderttausenden oder Millionen von Jahren fallen oft außerhalb des vom Menschen erfassbaren Zeitrahmens. Dennoch muss ein Bewusstsein vorhanden sein oder geschaffen werden um die Wahrscheinlichkeit eines großen Impakts einordnen und abschätzen zu können. Viele Autoren, so auch PAINE (2004)²⁸⁹ und CHAPMAN (2004)²⁹⁰, bedienen sich hierzu der statistischen Darstellung von Opferzahlen durch Alltagsvorfälle und bekannte Naturkatastrophen im Vergleich zu Meteoriteneinschlägen. Wie in Abbildung 32 dargestellt, ist die Wahrscheinlichkeit durch einen Einschlag sein Leben zu verlieren etwa genau so hoch wie durch einen Flugzeugabsturz.

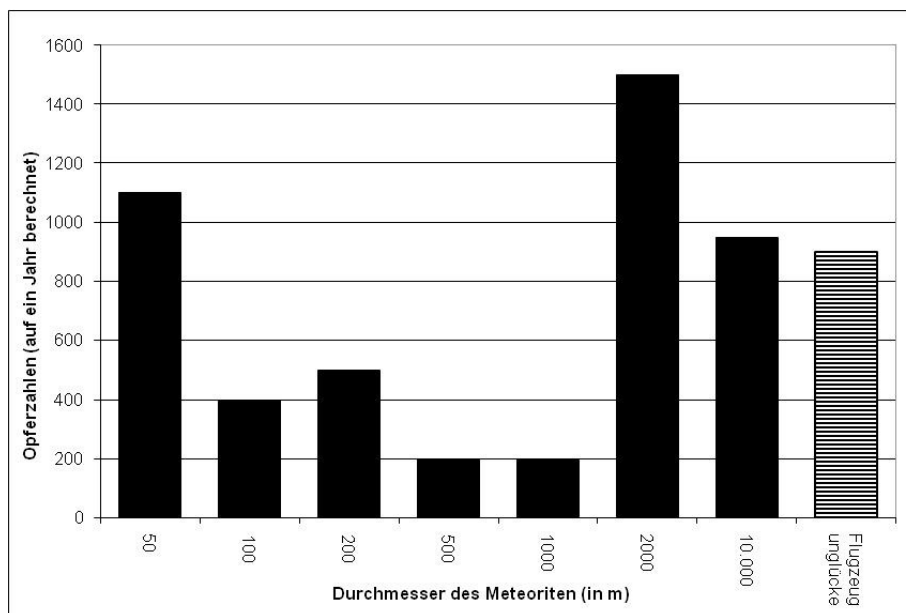


Abbildung 32: Statistische Opferzahlen für Meteoriteneinschläge²⁹¹

²⁸⁸ Ausführlich zu diesem Konzept: SCHUMMER, J. (2001) *Zeitbewußtsein, Ökologie und Ethik*. In: Antennae 3, 2001, S. 172-190. Rom.

²⁸⁹ PAINE, M. (2004) *Tsunami from Asteroid/Comet Impact*.

<http://www1.tpgi.com.au/users/tps-seti/spacegd7.html> (Zugang August 2007).

²⁹⁰ CHAPMAN, C.R. (2004) *The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth*. In: Earth and Planetary Science Letters 222. S. 1-15.

²⁹¹ Zahlenangaben nach PAINE (2004) <http://www1.tpgi.com.au/users/tps-seti/spacegd7.html> (Zugang August 2007)

Vor allem die Einschläge von großen Meteoriten ab zwei Kilometern Durchmesser stellen eine Gefährdung für die Menschheit dar und schlagen sich deshalb trotz ihrer geringen Wahrscheinlichkeit derart in der Statistik nieder; auch kleine Einschläge im unteren Dutzendmeterbereich stellen Risiken dar, da sie vergleichsweise häufig auftreten. Nach diesen Schätzungen muss die Frage gestellt werden, wie die vergleichsweise geringe Bedeutung der Gefährdung durch Meteoriteneinschläge in den Bereichen Politik, Forschung und Unterricht gerechtfertigt werden kann.

Auch für die Geographie zeigt sich ein ähnliches Bild, sobald Impakte mit anderen Naturrisiken verglichen werden. So zeigt NELSON (2006), dass die Gefahr von Einschlägen deutlich über der von anderen Naturgefahren ist, so z.B. von Tornados oder Fluten. So liegt die Wahrscheinlichkeit, bei einem Tornado zu sterben, bei 1:60.000, bei einem Einschlag jedoch bei 1:20.000 (siehe Abbildung 33).

Todes-Wahrscheinlichkeit durch ausgewählte Ursachen (Angaben für die USA)	
Ursache	Wahrscheinlichkeit
Verkehrsunfall	1 in 100
Mord	1 in 300
Feuer	1 in 800
Unfall mit Schusswaffen	1 in 2500
Stromschlag	1 in 5000
Meteoriteneinschlag	1 in 20.000
Flugzeugunglück	1 in 20.000
Flut	1 in 30.000
Tornado	1 in 60.000
Giftiger Stich oder Biss	1 in 100.000
Botulismus	1 in 3.000.000
[Lotto-Hauptgewinn]	[1 in 7.000.000]

Abbildung 33: Statistik zu Todesursachen in den USA nach NELSON (2006)²⁹²

Dass die Impakt-Thematik dadurch zu einem nicht zu vernachlässigenden Faktor wird, zeigt der Bericht des Wissenschaftlichen Beirats Globale Umweltveränderungen der Deutschen Bundesregierung (WBGU) aus dem Jahr 1998 zu den Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Darin werden globale Risiken nach den Dimensionen Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (also nach der naturwissenschaftlich-technischen Risikobewertung) in verschiedenen Gruppen eingeteilt (siehe Abbildung 34). Die Namensgebung orientiert sich dabei an der griechischen Mythologie – nach RENN et al. (2007)²⁹³ zeigt sich hier „die zeitlich unbegrenzte Relevanz der Problemstellung eines gelingenden Umgangs mit Risiko.“²⁹⁴

²⁹² Zahlenangaben nach NELSON (2006) S.11; übersetzt und graphisch verändert;

²⁹³ RENN, O., SCHWEIZER, P.-J., DREYER, M. und KLINKE, A. (2007) *Risiko - über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. München.

²⁹⁴ RENN et al. (2007) S. 145

Risikotyp	Charakterisierung	Beispiele
Damokles	<i>W</i> gering (gegen 0) Abschätzungssicherheit von <i>W</i> hoch <i>A</i> hoch (gegen unendlich) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> hoch	• Kernenergie • Großchemische Anlagen • Staudämme • Meteoriteneinschläge
Zyklop	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch	• Überschwemmungen • Erdbeben • Vulkaneruptionen • AIDS-Infektion • Massenentwicklungen anthropogen beeinflusster Arten • Frühwarnsysteme von Nuklear- und ABC-Waffensystemen • Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation
Pythia	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (potentiell hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß	• Sich aufschaukelnder Treibhauseffekt • Freisetzung und Inverkehrbringen transgener Pflanzen • BSE/nv-CJD-Infektion • Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie • Instabilität der westantarktischen Eisschilde
Pandora	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (nur Vermutungen) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß Persistenz hoch (mehrere Generationen)	• Persistente organische Schadstoffe (POP) • Endokrin wirksame Stoffe
Kassandra	<i>W</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Verzögerungswirkung hoch	• Anthropogener schleichender Klimawandel • Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme
Medusa	<i>W</i> eher gering Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher gering (Exposition hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Mobilisierungspotential hoch	• Elektromagnetische Felder

Abbildung 34: Einteilung von Risikotypen des WBGU (1998)²⁹⁵

²⁹⁵ Graphisch verändert nach WBGU (1999) *Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung. Globale Umweltveränderungen. Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltprobleme. Jahresgutachten 1998*. Berlin, Heidelberg, New York. S.11

Der WBGU sieht Impakte im Bereich des Risikotyps Damokles:

„Wesentliches Kennzeichen dieses Risikotyps ist das hohe Schadenspotential bei niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit. [...] Dem griechischen Mythos zufolge war Damokles von seinem König zu einem Bankett eingeladen worden. Er mußte jedoch sein Essen unter einem scharf geschliffenen Schwert einnehmen, das nur an einem hauchdünnen Faden hing. Chance und Risiko hingen für Damokles eng zusammen, und das Damoklesschwert wurde zum Sinnbild für eine im Glück drohende Gefahr. Das Schadenspotential des Risikos für Damokles war das höchstmögliche, nämlich der Verlust seines Lebens. Aber andererseits war die Eintrittswahrscheinlichkeit denkbar gering, denn der Mythos berichtet, daß der Faden, der das Schwert hielt, nicht riß.“²⁹⁶

Neben den zentralen Kriterien Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß, die ähnlich auch in der Turiner Skala Verwendung finden, nimmt der WBGU noch weitere Merkmale in die Charakterisierung des Risikos mit auf:

- Die Ubiquität zeigt den möglichen Wirkungskreis einer Katastrophe an – hier wird wieder auf eine geographisch fundierte Terminologie zurückgegriffen, da die Angaben ‚gering‘ bis ‚hoch‘ in einen lokalen bis globalen Maßstab übersetzt werden;
- Die Persistenz wiederum zeigt die Dauer des Risikos an, in der es noch fortbestehen kann. Eine geringe Persistenz zeigt eine Verweildauer von weniger als einem Jahr an, eine hohe Persistenz zeigt den Verbleib des Risikos für mehrere Generationen;
- Mit der Angabe zur Irreversibilität werden auch die Auswirkungen eines Schadensfalls genauer definiert – die Angabe zeigt die Möglichkeit der Wiederherstellung des Zustandes vor dem Eintritt des Ereignisses dar. Eine geringe Irreversibilität zeigt die Möglichkeit einer Wiederherstellung an, eine hohe hingegen den unwiederbringlichen Verlust des vorausgegangenen Zustands;
- Die Verzögerungswirkung beschreibt den Zeitraum zwischen dem eigentlichen Ereignis und den daraus folgenden Auswirkungen;
- Das Mobilisierungspotential schließlich ist das Maß der politischen Relevanz des Themas. Ein geringes Mobilisierungspotential zeigt, dass die Thematik nicht politisch relevant ist, während ein hohes Mobilisierungspotential die große Relevanz in der Politik angibt²⁹⁷.

Abbildung 35 zeigt die Anwendung der genannten Kriterien auf die Impact-Thematik. Der WBGU kommt zu dem Schluss, dass

1. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Impakts gering ist, wobei der Wert eine hohe Abschätzungssicherheit hat;
2. Das Schadensausmaß hoch ist – jedoch ist diese Angabe mit einer eher geringen Abschätzungssicherheit behaftet (aufgrund der stark differierenden Vulnerabilität verschiedener Bereiche der Erdoberfläche);
3. Die Ubiquität der Gefährdung hoch ist – Impakte können globale Folgen nach sich ziehen;
4. Die Persistenz in einem weiten Spektrum von eher gering bis hoch einzuschätzen ist;
5. Die Irreversibilität der Folgen eines Impakts hoch sind;

²⁹⁶ WBGU (1998) S. 56

²⁹⁷ WBGU (1998) S. 75

6. Die Verzögerungswirkung gering ist;
7. Das Mobilisierungspotenzial ebenfalls gering ist.

Letzter Punkt stellt aufgrund des zu erwartenden Schadensausmaßes, der hohen Ubiquität und der Irreversibilität der Konsequenzen eines Meteoriteneinschlags beinahe ein Paradoxon dar.

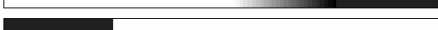
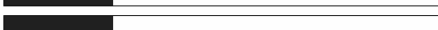
Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit W					☐
Abschätzungssicherheit von W					☐
Schadensausmaß A					☐
Abschätzungssicherheit von A					☐
Ubiquität					☐
Persistenz					☐
Irreversibilität					☐
Verzögerungswirkung					☐
Mobilisierungspotential					☐

Abbildung 35: Detailkriterien für Meteoriteneinschläge nach WBGU (1998)²⁹⁸

Der Ansatz des WBGU ist insofern von Bedeutung, als er über die rein naturwissenschaftlich-technische Risikobewertung hinausgeht: „In seinem Jahresgutachten von 1998 hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU) den Versuch unternommen [...], auf der Basis einer interdisziplinären Vorgehensweise einen neuen Vorschlag für den effektiven und effizienten Umgang mit globalen Risiken zu unterbreiten.“²⁹⁹ Damit ist ein sozialökologisches Modell der Risikoforschung im Grundriss vorhanden.

Zusammenfassend ergibt sich damit nach dem WBGU (1998) das in Abbildung 36 dargestellte System unterschiedlicher Risikotypen. Die Ordinate ist nach oben hin geschlossen, während die Abszisse keinen obersten Wert vorgeben kann. In diesen Bereich rücken die Meteoriteneinschläge – also insgesamt auch der Risikotyp Dmokles – mit steigendem Schadensausmaß.

²⁹⁸ Nach WBGU (1998) S. 155, graphisch leicht verändert

²⁹⁹ RENN et al. (2007) S. 142

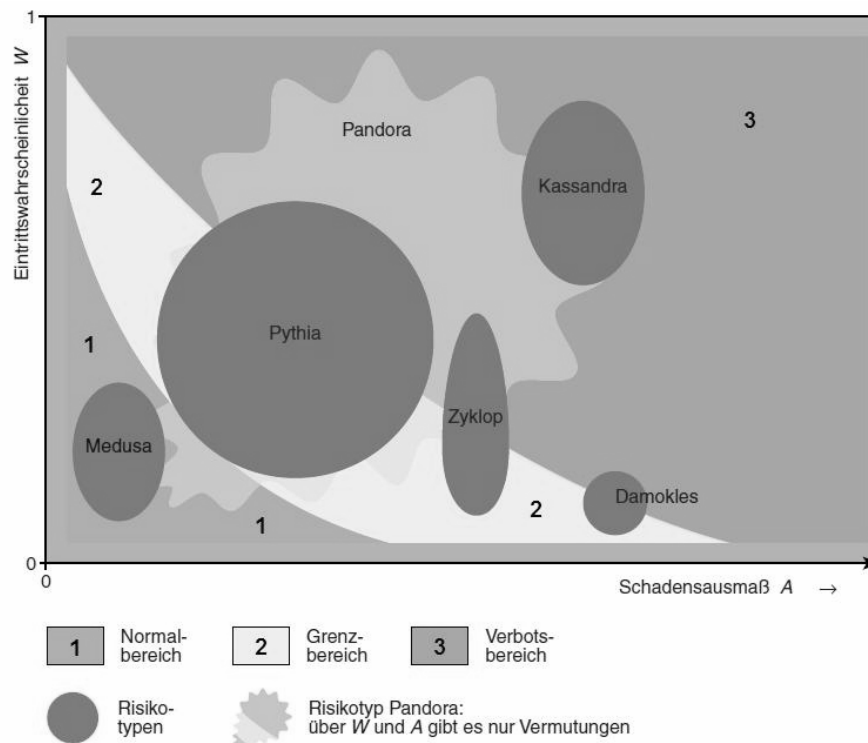


Abbildung 36: Risikotypen des WBGU (1998)³⁰⁰

Eine Vorreiterrolle, Impakte zu thematisieren, übernimmt in diesem Zusammenhang auch Gerhard BERZ, der in einem Interview mit der Wochenzeitung DIE ZEIT auch auf Meteoriteneinschläge – speziell auf das Tunguska-Ereignis – zu sprechen kommt:

„Berz: [...] im Mittelatlantischen Rücken gibt es starke vulkanische Aktivität. Auch wenn es dort zu einem Meteoriteneinschlag kommt, könnte das bei uns eine gewaltige Flutwelle auslösen.“

ZEIT: Wie hoch ist dafür die Wahrscheinlichkeit?

Berz: Ein kleiner Meteorit wälzte 1908 in Sibirien den Wald im Durchmesser von fünfzig Kilometern platt. Für ein solches Ereignis wird die Wahrscheinlichkeit heute auf einmal in dreihundert Jahren geschätzt. Stürzt so ein Meteorit ins Meer, löst er gewaltige Flutwellen aus. Da würde es sich schon lohnen, ein Tsunami-Warnnetz zu installieren.“³⁰¹

Aus Versicherungssicht wendet BERZ die naturwissenschaftlich-technische Berechnungsformel des Schadensausmaßes an und kommt dadurch auch zu einer Relevanz für die MÜNCHENER RÜCK: „Die Risikoabschätzung setzt sich zusammen aus dem Produkt von Gefährdung x Vulnerabilität x exponierte Werte. Das Ergebnis ist durchaus relevant, denn die Wahrscheinlichkeit eines Treffers (Tunguska-Event) liegt

³⁰⁰ Nach WBGU (1998) S.65, graphisch verändert

³⁰¹ DIE ZEIT (2005) Die Zeit – Wissen : Rechnen mit der Katastrophe. In: Die Zeit 02/2005. (Internetquelle: http://www.zeit.de/2005/02/N-Interview_Katastrophen, Zugang August 2007).

bei 1x in 500 Jahren (1:500). Andere große Katastrophenszenarien (z.B. Erdbeben, Stürme, Überschwemmungen; Anzahl ca. 50) sind auf Eintrittswahrscheinlichkeiten von 1x in 1000 Jahren (1:1000) bezogen. Daher erklärt sich die Relevanz für Versicherungen.“ (Interview Berz, Frage 2, Abschnitt ii).

Zusammenfassend ist fest zuhalten: aus fachwissenschaftlicher Sicht muss zuerst ein Verständnis für die Zeiträume, in denen geologische Prozesse ablaufen, vorhanden sein, um die Wahrscheinlichkeit eines Meteoriteneinschlags heute und die daraus resultierende Gefahrenabschätzung angeben zu können. Dies bezieht sich insbesondere auf die Impakt-Thematik, denn obwohl ein Einschlag binnen weniger Minuten vollständig durchlaufen ist, werden die Impakt-Frequenzen in einem Zeitrahmen von Millionen von Jahren bemessen.

Im Umgang mit dem Impakt-Risiko zeigen sich die aus der allgemeinen Risikoformel bekannten Ansätze nach der naturwissenschaftlich-technischen Risikoformel, jedoch auch integrative Ansätze mit sozialökologischer Perspektive. Alle analysierten Quellen kommen zu dem Ergebnis, dass Meteoriteneinschläge ein relevantes, wenn auch nicht zentrales Thema im Rahmen von Forschung und Praxis darstellen.

3.3.5. Differenzen und Grenzen unterschiedlicher Quellen

„Weitgehend ist man sich einig, dass ein Meteorit auf die Erde fiel und allgemein mit wenig Begeisterung aufgenommen wurde.“

Frank Schätzing, Nachrichten aus einem unbekannten Universum (2006), S. 153³⁰²

Ein wesentlicher Vorteil des Modells der Didaktischen Rekonstruktion ist die reflektierende Vorgehensweise bei der Analyse fachwissenschaftlicher Literatur. Die vorgefundenen Inhalte und Methoden werden nicht als gegebene Ordnungsstrukturen gesehen, sondern unter dem Aspekt der Vermittlungsabsicht kritisch hinterfragt. Der dazu verwendete Ansatz der Fachlichen Klärung setzt auch einen Schwerpunkt auf die Analyse von Differenzen und Grenzen unterschiedlicher Quellen.

Für das Thema Meteoriteneinschläge können Unterschiede in den fachwissenschaftlichen Aussagen aufgezeigt werden. Während der Ablauf eines Einschlags durch die relativ einfachen Energiegleichungen bestimmt wird und damit keine – zumindest aus Vermittlungssicht – relevanten Unterschiede anzutreffen sind, gibt es vor allem bei der Einschätzung von Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit eines Impakts zum Teil erhebliche Differenzen.

Bei den Einschätzungen zur Wahrscheinlichkeit eines Einschlags kann eine Abweichung zwischen verschiedenen Quellen beobachtet werden (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38). Dabei unterscheiden sich die Angaben zum Impakt-Intervall zum Teil erheblich voneinander. Als Beispiel können die beiden ausführlichen Quellen PAINE/PEISER (2002) und ATKINSON et al. (2000) herangezogen werden. Während im Bericht an die Regierung des Vereinigten Königreichs (ATKINSON et al. 2000) ein Einschlag mit dem Potenzial für überregionale Zerstörungen statistisch alle 50.000 Jahre auftritt, geben PAINE/PEISER (2002) für dieses Szenario ein Intervall von 90.000 Jahren an.

³⁰² Zitat zum Einschlag an der Kreide-Tertiär-Grenze vor 65 Millionen Jahren

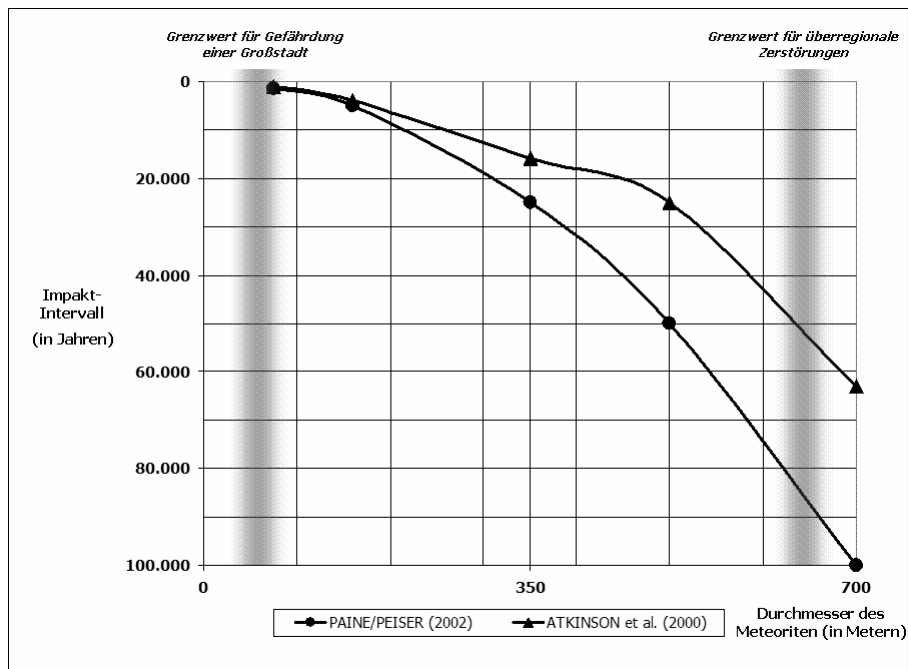


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen Größe des Meteoriten und Impakt-Intervall (kleinere Einschläge)³⁰³

Auch bei der Einschätzung eines Einschlags ähnlich dem K/T-Ereignis differieren die Angaben erheblich: PAINE/PEISER (2002) rechnen mit einem derartigen Einschlag alle 100 Millionen Jahre, ATKINSON et al. (2000) jedoch mit einem wesentlich geringeren Intervall von ca. 60 Millionen Jahren.

Diese erheblichen Differenzen haben nicht nur Auswirkungen auf die Einschätzung der Gefährdung durch Meteoriteneinschläge im Rahmen von Politik, Katastrophenvorsorge und Versicherungswirtschaft, sondern auch auf die Dringlichkeit und Behandlung der Thematik im schulischen Rahmen.

³⁰³ Eigener Entwurf nach dem Vergleich der Angaben bei PAINE/PAISER (2002) und ATKINSON et al. (2000)

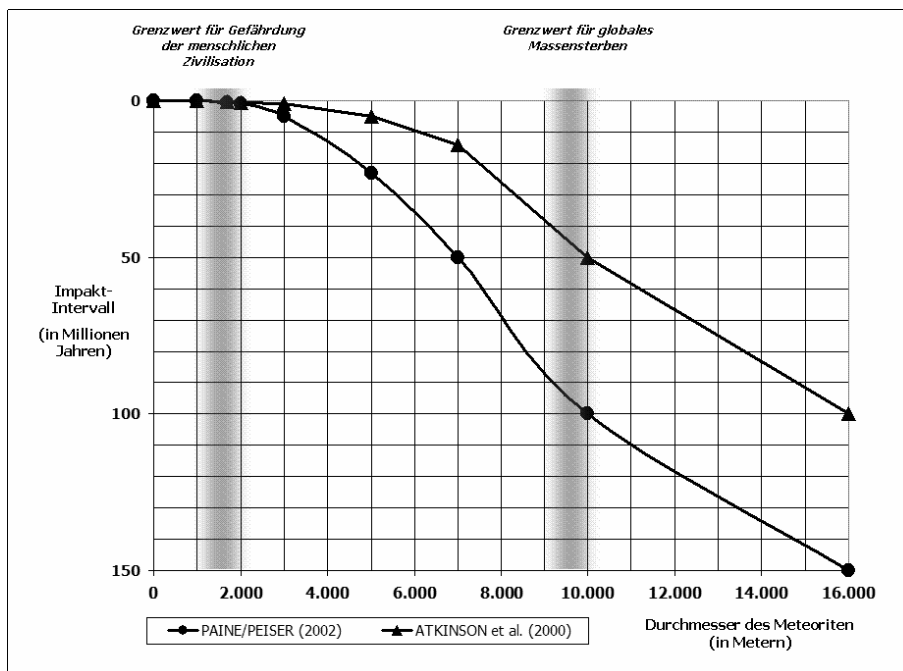


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Größe des Meteoriten und Impakt-Intervall (größere Einschläge)³⁰⁴

Wie sehr sich die Einschätzung des Risikos in der Versicherungswirtschaft gewandelt hat, zeigt die Aussage von Gerhard BERZ: „Bis vor etwa 10 Jahren war das Thema nicht besonders relevant, es waren kaum Deckungen für dieses Risiko vorhanden. Eine genauere Betrachtung wurde durch die so genannten „All-Risk“-Versicherungen (hauptsächlich aus USA und UK) notwendig, die Meteoriteneinschläge mit einschließen (als gutes Verkaufsargument). Es entwickelte sich dann ein starker Kontakt zum DLR in Berlin. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Dissertation über die Risikoabschätzung, bzw. die exponierte Werteverteilung gefördert. Die Doktorarbeit wurde aber nicht für eine Veröffentlichung der Münchener Rück verwendet, um die Erstversicherer nicht zu verschrecken.“ (Interview Berz, Frage 2, Abschnitt i).

Das Interview mit Gerhard BERZ verweist auch auf die Grenzen einer rein ökonomischen Perspektive, denn „Weltuntergangs-Szenarien haben für Versicherer keine Bedeutung, sind jedoch sehr wichtig für die Wissenschaft. [...] Das Risiko schließt [zwar] eine globale Auslöschung ein, die aber aus Versicherungssicht nicht relevant wäre.“ (Interview Berz, Frage 2, Abschnitt iv und Interview Berz, Frage 5c, Abschnitt iii) Damit kann eine rein ökonomische Sichtweise – ebenso wenig wie eine auf Kurzfristigkeit ausgelegte politische Perspektive – die Gefährdung durch Meteoriteneinschläge nicht vollständig erfassen. Denn aus wissenschaftlicher Sicht kommt BERZ zu folgendem Fazit: „Keine andere Gefahr ist so wichtig für das Überleben der Menschheit. [...] Wenn es ums Überleben geht, muss man alle Risiken berücksichtigen.“ (Interview Berz, Frage 5c, Abschnitt iii und Interview Berz, Frage 8).

³⁰⁴ Eigener Entwurf nach dem Vergleich der Angaben bei PAINE/PAISER (2002) und ATKINSON et al. (2000)

Gerd TETZLAFF sieht ein Problem in der Wahrnehmung des Impakt-Risikos sowohl in der Bevölkerung als auch bei Verantwortungsträgern: *„Meteoriteneinschläge kommen nicht vor in der Wahrnehmung und im Gedächtnis der Bevölkerung – auch nicht bei allen sonstigen Beteiligten und deswegen werden solche Risiken in den Hintergrund gedrängt und werden kaum oder bestenfalls als Erinnerungspunkt aufgeführt – jedoch nicht für die Ableitung von Handlungen.“* (Interview Tetzlaff, Frage 2). Andererseits erkennt er die Bemühungen der Politik an, nämlich *„dass die Regierungen durchaus bereits Vorkehrungen unternommen haben.“* (Interview Tetzlaff, Frage 8) – die Gründe für die unterschiedlichen Reaktionen der Politik könnten auch auf die Differenzen in den wissenschaftlichen Ansichten zur Relevanz des Thema zu suchen sein (siehe die Interviewpassagen von Max TILZER im vorangegangenen Kapitel).

Dass sich die Differenzen bei der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit und damit des Risikos dennoch auf einen gemeinsamen Nenner bringen lassen, zeigt Abbildung 39 nach CHAPMAN (2002). Er bringt eine Darstellung der ungefähren jährlichen Todesraten verschiedener Ereignisse vor und verweist explizit auf den schematischen Charakter der Darstellung. Konkrete Zahlen sollen daraus nicht abgeleitet werden, jedoch bleibt die Kernaussage bestehen: Unfälle betreffen nur einige wenige bis zu mehreren Hundert Menschen (zum Beispiel Flugzeugunglücke). Naturkatastrophen sind dazu im Vergleich weniger tödlich, aber die größten Ereignisse können viel mehr Opfer nach sich ziehen als Unfälle. Die meisten Naturkatastrophen haben eine natürliche Obergrenze, weil sie entweder lokal begrenzt wirken oder durch physikalische Gegebenheiten (z. B. Bau der Erdkruste) eingeschränkt werden; nur Asteroiden und Kometen haben keine Obergrenze und können die menschliche Spezies ausrotten. Das Maximum der Todesrate durch Einschläge liegt bei Impakten, die mehr als eine Milliarde Menschen töten würden³⁰⁵.

³⁰⁵ CHAPMAN (2002) S. 9

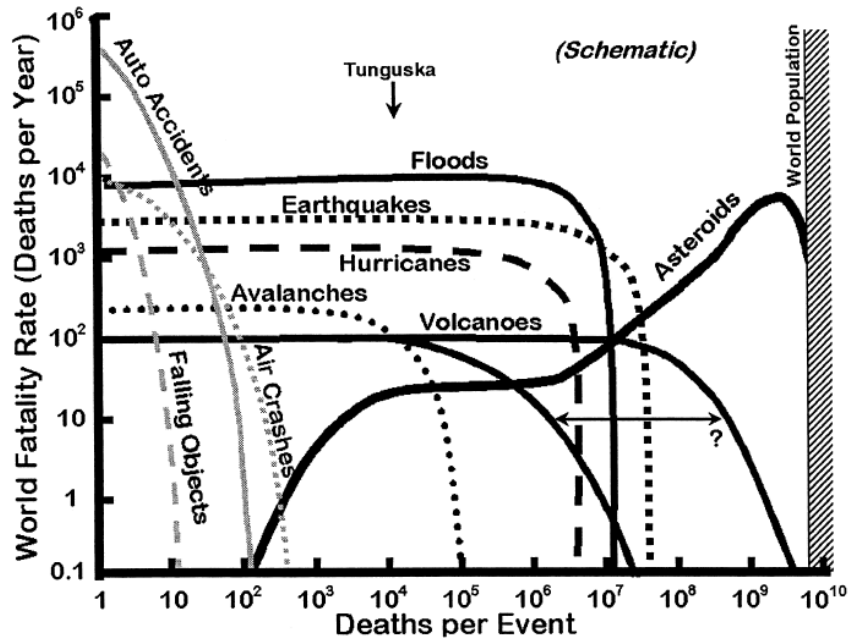


Abbildung 39: Schematische Darstellung der ungefähren jährlichen Todesraten verschiedener Ereignisse nach CHAPMAN (2002)³⁰⁶

Weiterhin muss auf die manchmal irreführenden Aussagen zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen hingewiesen werden. Diese finden sich hauptsächlich in den auf Aufmerksamkeit zielenden Boulevardblättern. Jedoch zeigt das folgende Zitat, dass auch DIE ZEIT bei der Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit vielfachen Stolperfallen erliegen kann:

„Vielleicht trifft auch ein riesiger Meteorit die Erde. Die Astronomen haben geeignete Kandidaten auf, nein, nicht einem Kollisionskurs, aber doch auf einem bedenklichen Annäherungskurs ausgemacht, Masse und Aufschlagsenergie sind jeweils schon berechnet. Möglich, »dass uns das Problem morgen früh ins Haus steht«, behauptet Sir Crispin Tickell, der die Ehre hat, als Mitglied einer britischen Regierungskommission diese Gefahr und mögliche Abwehrmaßnahmen zu untersuchen. Ein Spinner? Die Menschheit, könnte man einwenden, hat derzeit dringendere Sorgen. Zerbrechende Inseln und Meteoriteneinschläge gehören jener Kategorie »seltener Ereignisse« an, zu der die Wahrscheinlichkeitstheorie zwar Aussagen trifft, aber nur solche, die für Prognosen untauglich sind. Dennoch lassen sich Aussagen über künftige Katastrophen treffen. Sie sind im Großen und Ganzen unerfreulich und besagen, dass wir in den kommenden Jahrzehnten mit mehr und schwereren Unglücken rechnen müssen, als wir es aus den, sagen wir, letzten fünfzig Jahren gewohnt sind. Der Tsunami im Indischen Ozean war wohl nur der Anfang.“³⁰⁷

³⁰⁶ Nach CHAPMAN (2002) S. 9; graphisch leicht verändert

³⁰⁷ DIE ZEIT (2005) *Die Zeit – Politik : Gefahrenzone Erde*. In: Die Zeit 02/2005. (Internetquelle: http://www.zeit.de/2005/02/Titelei_Naturkatastrophen, Zugang August 2007).

Hier werden zwei gravierende Fehler begangen – zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Impakts genügen durchaus die vorhandenen Statistiken – ein Einschlag könnte eben heute oder erst in tausenden von Jahren erfolgen. Durch die Beobachtung der erdnahen Objekte kann man die erfassten Objekte kategorisieren und in die Turiner Skala einordnen – damit sind sie nicht nur statistisch erfasst, sondern es sind auch Aussagen über ihre zukünftige Bahn möglich. Die Aussage zur steigenden Anzahl schwerer Unglücke ist ein weiterer Malus des Berichts – kann die Aussage auf Klimaphänomene aufgrund des Globalen Klimawandels noch Anwendung finden, so entzieht sich die Schlussfolgerung bei Erdbeben oder Impakten der Logik. Denn sicherlich werden Erdbeben oder andere geogene Katastrophen nicht zunehmen – sondern allein ihre Auswirkung auf den Menschen durch eine gesteigerte Exposition und Vulnerabilität.

Auch einzelne Impakt-Ereignisse stehen weiterhin im Mittelpunkt kontroverser wissenschaftlicher Diskussionen. Die Ergebnisse zum Clovis-Einschlag vor 12.900 Jahren werden von MORRISON auf der offiziellen NASA-Webseite in Zweifel gezogen³⁰⁸, da „außergewöhnliche Aussagen [auch][...] außergewöhnliche Beweise [erfordern]“.³⁰⁹

Eines zusätzlichen Forschungsaufwands bedarf auch das Perm-Massensterben vor ca. 250 Millionen Jahren. Die Arbeiten von BECKER et al. (2004)³¹⁰ sind noch umstritten, da auch eine vulkanische Genese der Bedout-Struktur angenommen werden kann.

Auch der Chixculub-Krater, der als Ergebnis des Einschlags vor 65 Millionen Jahren, der das Aussterben der Dinosaurier ausgelöst hat, gesehen wird, ist immer noch Gegenstand kontroverser Diskussionen. Diese geht so weit, dass einige Autoren die Genese der Chixculub-Struktur als Impakt generell in Frage stellen, bzw. die Auswirkungen des Einschlags nicht als Ursache der Massensterben anerkennen³¹¹.

Jedoch soll für das derzeitige Forschungsprojekt die mehrheitliche Meinung der Forschungsgemeinschaft, die durch zahlreiche Untersuchungen untermauert wird, als Grundlage für die didaktischen Überlegungen verwendet werden.

Das für das Selbstverständnis der Impaktforscher zentrale Ereignis über Tunguska 1908 wird von Wolfgang KUNDT (2007)³¹² als endogenes Phänomen interpretiert. Anstelle eines detonierenden Kometen oder Asteroiden zieht er die Erklärung durch eine tektonisch erzeugte Gasexplosion vor – dass dies durchaus ein ernstzunehmendes Szenario ist, zeigt die Veröffentlichung der Hypothese in BOBROWSKY/RICKMAN (2007).

Zusammenfassend sollen die Differenzen verschiedener wissenschaftlicher Modelle nicht darüber hinwegtäuschen, dass das Impakt-Risiko eine ernstzunehmende Naturgefahr auf lokaler bis globaler Ebene darstellt. Dass dabei vor allem die Plötzlichkeit und das Schadensausmaß ein zentraler Aspekt für die Auseinandersetzung mit

³⁰⁸ NASA (2007) *Two new papers make extraordinary claims about comets and life.*

http://impact.arc.nasa.gov/news_detail.cfm?ID=176 (Zugang September 2007).

³⁰⁹ „extraordinary claims require extraordinary levels of evidence“, NASA (2007)

³¹⁰ BECKER, L. et al. (2004) *Bedout: A Possible End-Permian Impact Crater Offshore Northwestern Australia*. In: *Science*, Vol. 304, Juni 2004, Issue 5676, 1469-1476.

³¹¹ Einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Kritikpunkte liefert eine Zusammenfassung der New York Times: THE NEW YORK TIMES (1985) *Dinosaur Experts resist meteor extinction idea*.

<http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?res=9F04E0DD1738F93AA15753C1A963948260&sec=health&spon=&partner=permalink&expod=permalink> (Zugang Juni 2008).

³¹² KUNDT, W. (2007) *Tunguska (1908) and Its Relevance for Comet/Asteroid Impact Statistics*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 331-339.

dem Thema ist, zeigt ein Beitrag aus dem Magazin THE ECONOMIST unter dem Titel „*The ultimate environmental catastrophe*“. Darin werden Meteoriteneinschläge als einzige Umweltkatastrophe gesehen, die Superlative für die Beschreibung ihrer Ausmaße verdient:

*„ONE of the main weaknesses of the environmental movement has been its unfortunate predilection for using doom-laden language and catastrophic superlatives to describe problems that are serious but not immediately disastrous. But one calamity that truly deserves such a description is almost never talked about. There are tens of millions of asteroids in the solar system, and several thousand move in orbits that take them close to Earth. Sooner or later, one of them is going to hit it.“*³¹³

Diese Sichtweise lässt sich mit zahlreichen Quellen aus der Fachwissenschaft untermauern und ist damit Ausgangspunkt für die nähere Betrachtung der von den Schülern mit in den Unterricht gebrachten Vorstellungen und Interessen.

³¹³ THE ECONOMIST (2007) *The Threat from Outer Space. The ultimate environmental catastrophe*.
http://www.economist.com/world/international/displaystory.cfm?story_id=9533468&CFID=14298340&CFTOKEN=93178126 (Zugang August 2007).

3.4. Konsequenzen für die Behandlung im Unterricht

Nach der eingehenden Klärung fachlicher Inhalte stellt sich im Fall der Impakt-Thematik die Frage nach der Notwendigkeit der Behandlung im Unterricht. Der Klärung dieser Diskussion dienten besonders die Experten-Interviews, da sie die aktuelle Sichtweise am besten beleuchten und auch direkt die dezidierte Frage nach einer Behandlung im Schulunterricht zuließen.

Denn selbst in der Wissenschaft gab es Widerstände, das Thema als ernsthaft zu betrachten: „*Es waren allerdings auch damals im Rahmen des WBGU andere Kollegen der Meinung, das Thema wäre sehr exotisch und solle man nicht so ernst nehmen.*“ (Interview Tilzer, Frage 3). TILZER konnte sich jedoch bereits 1998 mit seiner Meinung durchsetzen und die Impakt-Thematik im Gutachten des WBGU verankern. Im Hinblick auf Kinofilme als die vorwiegenden Quellen der Schülervorstellungen äußert TILZER: „*Es wäre auf alle Fälle begrüßenswert, die Informationsquellen der Schüler zu ändern.*“ (Interview Tilzer, Frage 6b). Diese Aufgabe kann auch dadurch erleichtert werden, da das „[...] Thema Meteoriteneinschläge als solches [...] spektakulär [ist].“ (Interview Tilzer, Frage 6a).

Wie sehr sich die wissenschaftliche Sichtweise zu Meteoriteneinschlägen im Laufe von zehn Jahren geändert hat, verdeutlicht die Aussage von Gerhard BERZ:

„*Meteoriteneinschläge sind ein gutes Beispiel, wie gefährdet das Leben ist. Die Erde ist ein verwundbarer Planet. Man kann auch eine Verbindung zu menschlichen Veränderungen auf der Erde ziehen. Im Unterricht sollte die Gefährdung nicht nur abstrakt behandelt werden, sondern es lässt sich mit den Schülern erarbeiten, was man tun kann (Vorsorge- und Abwehrmöglichkeiten). Je mehr ich darüber weiß, desto besser kann ich mich schützen.*“ (Interview Berz, Frage 3, Abschnitt i).

Aus einem vernachlässigbaren Risiko ist eine unterrichtsrelevante Thematik geworden, wobei nach BERZ drei Ebenen der Vermittlung zu betrachten sind:

- 1) Systemische Betrachtung der Erde als verwundbarer Planet,
- 2) Vergleich der Impakt-Thematik mit anthropogenen Eingriffen,
- 3) konkrete Inhalte wie zum Beispiel Vorsorgemaßnahmen gegen Einschläge.

Jedoch schränkt BERZ seine Aussage dahingehend ein, dass eine „*Notwendigkeit für die Behandlung im Unterricht [...] nicht [besteht]. Vielmehr sollte es in Verbindung mit anderen Szenarien, z.B. Tsunamis, behandelt werden.*“ (Interview Berz, Frage 3, Abschnitt ii). Für den Fall der Vermittlung konkreter Inhalte (wie der englischen Schülerin, die beim Tsunami 2004 am Strand von Phuket mehrere Personen retten konnte, da sie vorher in der Schule über Tsunamis unterrichtet wurde) sieht er die Möglichkeit, „*die Begeisterung der Schüler [zu] wecken und ihre Motivation [zu] steigern.*“ (Interview Berz, Frage 3, Abschnitt ii). Damit greift er die zentralen Begriffe Interesse und Motivation auf – eben diese können ein viabler Ausgangspunkt für eine Behandlung der Impakt-Thematik im Unterricht sein. BERZ fasst seine Sicht wie folgt zusammen:

„*Jahrmillionen oder Jahrmilliarden gehen über den Horizont hinaus. Der Mensch ist so gestrickt, dass er ca. 100 Jahre (Großeltern-Enkel) überblickt. Ein geologisches Zeitbewusstsein ist nicht lebenswichtig, aber wünschenswert. In anderen Ländern ist mehr Risikobewusstsein vorhanden (z.B. durch Wahrscheinlichkeitsberechnungen in der Schule).*“ (Interview Berz, Frage 7c).

Gerd TETZLAFF greift auch das Interesse als wichtigen Aspekt auf und führt die hohen Interessenswerte aus dem Ergebnissen der Vorstudie auf die Verbindung zum Thema Weltraum zurück: „Das Thema lockt immer. Die Weltraumfahrt lockt – auch auf irrationale Art und Weise – die Menschen.“ (Interview Tetzlaff, Frage 7a). Darüber hinaus müsse man im „[...] Geographie-, Geologie- oder auch Physikunterricht [...] mehr darauf eingehen, dass die Erde alt ist, damit sich Schüler dies vorstellen können. [...]“ (Interview Tetzlaff, Frage 7c). Das geologische Zeitbewusstsein wird also ähnlich einer kritischen Barriere gesehen, zumal die fehlerhaften Vorstellungen zur Statistik nicht nur bei Gymnasiasten verändert werden sollten: „Das fehlende Verständnis von Statistik wäre formal im Mathematikunterricht zu behandeln. Denn es herrscht die weit verbreitete Vorstellung, dass ein Jahrhundertereignis auch nur alle hundert Jahre eintreten dürfe. Jedoch erreicht man dort aber nur die Gymnasiasten in der Oberstufe, und das kann nicht das Ziel sein.“ (Interview Tetzlaff, Frage 7c). Hier könnte die Impakt-Thematik einen wertvollen Beitrag dazu liefern, statistische Aussagen zu veranschaulichen. Gerd TETZLAFF sieht zusammenfassend durchaus die Notwendigkeit, dass man zum Thema Meteoriteneinschläge „[...] an die Landesregierungen und den Schulplan herantreten und ein Informationsblatt verbreiten [...] [sollte]. [...] Es gibt rationale Schienen, damit umzugehen. Das würde das Thema aus dem Bereich der Spinnerei oder der Science Fiction herausheben.“ (Interview Tetzlaff, Frage 8). Da der Oberstufen-Unterricht der Mathematik diese Aufgabe laut TETZLAFF nur bei einer kleinen Zielgruppe erreichen kann, wäre ein umfassenderer Ansatz – zumindest jedoch die anschauliche Behandlung des Themas bereits in der Geographie der Unterstufe, empfehlenswert.

Eine weitere Stellungnahme zur Behandlung der Impakt-Thematik im Schulunterricht liegt im Band von BOBROWSKY/RICKMAN (2007) vor. Michel HERMELIN (2007)³¹⁴ kommt in seinem Aufsatz zum Thema „Communicating Impact Risk to the Public“ zu dem Schluss, dass die Aufklärung über Meteoriteneinschläge „mehr ein Erziehungsziel als eine einfache Informationsaufgabe“³¹⁵ sei. Dabei müsste auf globaler Ebene die ISCU (International Council for Science) die verantwortlichen Institutionen (UNESCO, UN-Generalsekretär, UN-Vollversammlung, UN-Sicherheitsrat) über die Risiken eines Impakts informieren und diese wiederum die nationalen Behörden mit einbeziehen. Dabei kommt den nationalen Einrichtungen eine entscheidende Bedeutung zu, denn sie haben die Verantwortlichkeit „ein Bildungsprogramm vorzuschlagen, das folgende Punkte enthält: Miteinbeziehung von Grundwissen über NEOs in Bildungsprogrammen auf allen Stufen, Veröffentlichung oder Verteilung von dazugehörigen Materialien [...]“³¹⁶. Dass dieser Aufklärungsauftrag am besten durch den Geographieunterricht zu leisten ist, wird von HERMELIN (2007) zwar nicht erwähnt, jedoch bietet sich das Fach aufgrund seiner interdisziplinären und integrativen Sichtweise hierfür an.

Wie eng die Impakt-Thematik auch mit bereits etablierten geographischen Unterrichtsthemen verwoben ist, zeigt Ben WISNERs ausführlicher Aufsatz zur Verbindung des Thema Meteoriteneinschläge mit internationalen Entwicklungsstudien. WISNER, der auch auf dem Deutschen Geographentag 2007 in Bayreuth durch einen Vortrag seine zentrale These vertrat, dass Naturkatastrophen primär durch das

³¹⁴ HERMELIN, M. (2007) *Communicating Impact Risk to the Public*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 495-504.

³¹⁵ „more an education goal than a merely informative one“; HERMELIN (2007) S. 500

³¹⁶ „propose an educational program consisting of:

- inclusion of NEO basic knowledge in educational programs at all levels,
- publication or distribution of related material [...]“; HERMELIN (2007) S. 502

Verhalten des Menschen zur Katastrophe werden³¹⁷, zeigt multiple Überschneidungspunkte mit den Themen Nachhaltigkeit und Entwicklungsländern auf³¹⁸:

- Regionale Katastrophen sind nicht Unbekanntes und man kann aus früheren Ereignissen (wie dem Ausbruch des Tambora 1815, den afrikanischen Hungersnöten im 20. Jahrhundert und den Überschwemmungen Bangladesch und China) Lehren ziehen,
- Naturkatastrophen im regionalen Umfang können am besten durch ‚good governance‘ und eine widerstandsfähige Infrastruktur bewältigt werden,
- Das Wiederaufleben des internationalen humanitären Unterstützungssystems kann auch im Falle eines Impakts zu einer verbesserten internationalen Antwort führen,
- Zentral dabei ist jedoch, dass Geld nicht nur für die direkte Vorbereitung der Abwehr eines Impakts ausgegeben wird, sondern vielmehr die Umsetzung der ‚Millenium Development Goals‘ (z.B. weltweite Unterstützung der Impfungen für Kinder, Reduzierung der Müttersterblichkeitsrate und Versorgung mit sauberem Trinkwasser)³¹⁹.

Zusammenfassend kommt WISNER (2007) zu dem Schluss, dass es in einer bipolaren Welt, in der Wohlstand, Einkommen und Zugang zu wissenschaftlicher Bildung ungleich verteilt sind, schwierig sein wird, einen Konsens über den Umgang mit dem Impakt-Risiko zu erzielen. Hierzu müssten weniger entwickelte Länder im Aufbau von astronomischen und geowissenschaftlichen Kapazitäten unterstützt werden³²⁰. WISNERs Studien zeigen somit die engen Verknüpfungen der Impakt-Thematik mit Kernbereichen geographischen Unterrichts (Entwicklungsländer-Problematik, Nachhaltigkeit, endogene Naturkatastrophen).

³¹⁷ WISNER, B. (2008) *How Natural are "Natural" Disasters?* In: DGfG (2008) Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit. Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth. Herausgegeben von Elmar Kulke und Herbert Popp. Bayreuth, Berlin. S.99-113.

³¹⁸ Zusammengefasst nach WISNER (2007) S. 443-444

³¹⁹ WISNER (2007) S. 443-444

³²⁰ WISNER (2007) S. 444

4. Schülerperspektiven zu Meteoriteneinschlägen

„»Die Welt ist meine Vorstellung.« – dies ist die Wahrheit, welche in Beziehung auf jedes lebende und erkennende Wesen gilt,“

Arthur Schopenhauer, Die Welt als Wille und Vorstellung, Erstes Buch (1819), S. 38

4.1. Pilotstudie

Im Rahmen des von der EU geförderten Programms COLDEX (<http://www.coldex.info>) konnten für eine Staatsexamensarbeit im Fach Didaktik der Geographie an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt und einer Diplomarbeit in Informatik an der Universität des Saarlandes erste Erhebungen zu Schülervorstellungen über Meteoriteneinschläge gemacht werden sowie erste für die Praxis verwertbare Ergebnisse geliefert werden³²¹. Jedoch können die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobe nicht als repräsentativ gesehen werden.

4.1.1. Ziel, Methodik und Verlauf der Untersuchung

Ziel der Pilotstudie war es, erste Erkenntnisse zu Schülervorstellungen zur Impakt-Thematik zu erhalten und zu untersuchen, wie sich eine 4-stündige Unterrichtssequenz auf die Vorstellungen auswirkt. Dabei konnten erste methodische Erfahrungen gesammelt werden.

Das Design der Studie sah die Verwendung eines Fragebogens zum Zeitpunkt T1 und T2 vor, um die Schülerperspektiven vor und nach einer Behandlung der Impakt-Thematik im Unterricht zu erfassen. Beim Aufbau des Fragebogens wurden die Bereiche Interesse, Vorstellungen und Gefahreinschätzung miteinbezogen. Bei den Schülervorstellungen greift eine standardisierte Befragung jedoch nicht weit genug, so dass einige Fragen offene Antworten zulassen. So wird in zwei Fragen ein großer Spielraum für ausformulierte Vorstellungen zum Ablauf, Energieumsatz und den Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen gegeben.

Fragebogen T2 orientiert sich an der Gestaltung von T1, vor allem im Bereich der vorhandenen Vorstellungen. Alle quantifizierbaren Fragen wurden übernommen, um einen direkten Vergleich von T1 und T2 zu ermöglichen. Auch die offenen Fragen wurden beibehalten.

Die Ergebnisse des Fragebogens T1 wurden in eine High-Score-Skala umgewandelt, um dadurch gezielt die Interviewpartner auswählen zu können.

Im Anschluss an den Einsatz des Fragebogens T1 und die Durchführung der Interviews fand eine vierstündige Unterrichtseinheit statt. Zum Schluss wurden mit dem Fragebogen T2 die Veränderungen der Schülervorstellungen erfasst (siehe Abbildung 40).

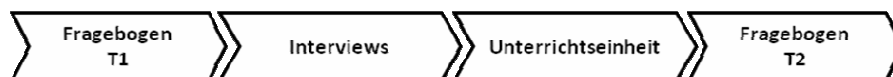


Abbildung 40: Design der Vorstudie zu Schülervorstellungen über Meteoriteneinschläge

³²¹ MÜLLER, M. (2006) *Students' Concepts about Meteorite Impacts on Earth – Geographical Assessment and Pedagogical Consequences*. In: Geographie und ihre Didaktik 35, Heft 4, S. 218-232.

Fragebogen T1 stand zeitlich vor jeglicher Einführung in das Thema Meteoriteneinschläge und wurde am 30. Juni 2004 verteilt. Die Bearbeitungszeit betrug 30 Minuten. Anschließend folgten die vier Unterrichtsstunden im Juli 2004. Im Anschluss wurden vier Interviews durchgeführt, die durch einen Interviewleitfaden strukturiert wurden. Dabei wurden folgende Bereiche abgedeckt:

- Quellen der im Fragebogen T1 genannten Vorstellungen,
- Subjektive Gefahreinschätzung,
- Vorstellungen zu unterschiedlichen Impakten (Größe, Einschlag auf Land oder im Meer),
- Vorstellungen zur geologische Zeitskala,
- Vorstellungen zur Meteoritenabwehr.

Der abschließende Fragebogen T2 wurde am 28. Juli 2004 bearbeitet, wiederum mit 30 Minuten Bearbeitungszeit. Die Fragebögen T1 und T2 konnten mit Hilfe eines Passwortes den einzelnen Probanden zugeordnet werden. Alle befragten Schüler waren Jahrgang 1986 und 1987, so dass keine Differenzierung nach dem Alter vorgenommen werden konnte. Das Geschlechterverhältnis war mit 15(m):11(w) beinahe ausgeglichen und ermöglichte einen direkten Vergleich von Geschlechterdifferenzen. Die Studie beschränkte sich auf eine 11. Klasse des Wilibald-Gymnasiums in Eichstätt, so dass keine Differenzierung nach Altersstufen vorgenommen wurde.

4.1.2. Ergebnisse der Pilotstudie

Aufgrund der geringen Anzahl an Fragebögen und Interviews sollten die Ergebnisse der Pilotstudie nicht überbewertet werden, sondern vielmehr als Basis für die Ausarbeitung einer fundierten Methodik für die vorliegende Arbeit gesehen werden sowie zur Aufstellung überprüfbarer Thesen dienen.

4.1.2.1. Die kognitiven Vorstellungen der Schüler

Den Kern der Didaktischen Rekonstruktion bilden die Erhebungen von Schülervorstellungen über ein bestimmtes Themenfeld. Die Ergebnisse der Pilotstudie über Meteoriteneinschläge können als erste Grundlage für die Hauptstudie durchaus Verwendung finden.

Eine quantitative Befragung und Auswertung führt, wie bereits oben ausgeführt, nicht zu einem umfassenden Bild von den Vorstellungen der Schüler über Meteoriteneinschläge. Fragen 16, 17 und 18 waren konzipiert, um die Detailfülle der Vorstellungen zu erheben.

Die Frage nach dem Ablauf eines Einschlags eines Meteoriten mit 50 m Durchmesser im Raum Eichstätt (Frage 16) wurde von allen Schülern ausführlich beantwortet. Die Vorstellungen sind insofern einheitlich, als sie alle von der Zerstörung der Stadt ausgehen. Bereits bei der Kratergröße ergeben sich jedoch große Unterschiede: 01ler rechnet mit einem Krater von „3km“, TheWailers mit „ca. 50 Kilometer“, und derBademeister geht sogar von „mehreren Hundert Kilometern“ aus. Nur Bob6170 nennt mit „mehreren 100m Durchmesser“ einen realistischen Wert. Dies zeigt nicht nur die unterschiedlichen Vorstellungen innerhalb der Klasse, sondern auch die großen Abweichungen zum wissenschaftlichen Modell für die Kratergenese. Weiterhin nennt keiner der Schüler für die Berechnung des Energieumsatzes die Formel für die kinetische Energie $\frac{1}{2}mv^2$. Da sie den Schülern der Jahrgangsstufe 11 jedoch geläufig

sein sollte, muss man hier von passivem Wissen aus der Physik ausgehen, das nicht in diesem Bezugsrahmen angewendet wird. Weiterhin werden für die Auswirkungen eines kleinen Einschlags übertriebene Ansichten geäußert, wenn z.B. von „*Vulkan- ausbrüchen und Erdbeben*“ (Nena) oder „*Auswirkungen auf die Menschen eines gesamten Kontinents*“ (Hund86) gesprochen wird. Auf der anderen Seite entsprechen einige Einschätzungen den wissenschaftlichen Vorstellungen und halten sich an reale Maßstäbe: „*es würden Menschen ums Leben kommen, aber hätte keine größeren Folgen*“ (Hamburg); „*die Geschwindigkeitsenergie wird beim Aufschlag in Wärme umgewandelt. Meteoritensplitter fliegen mehrere Kilometer*“ (IRC1024). Für die Beantwortung der Frage 16 kann damit festgehalten werden, dass es innerhalb der Klasse große Unterschiede und zum Teil sehr übertriebene Vorstellungen gibt. Für die gleich gestellte Frage 17 mit einem Impaktor von 5km Durchmesser ergibt sich ein ausgeglicheneres Bild. Die meisten der Schüler rechnen bei einem derartigen Einschlag mit dem Aussterben der Menschheit, was auch den wissenschaftlichen Vermutungen entspricht. Hulter Xare sieht noch differenzierter den „*Untergang der Zivilisation*“. Bemerkenswert viele Schüler (Anzahl: 13) beschreiben die entstehende globale Verdunkelung durch aufgewirbelten Staub, jedoch ohne den Begriff des ‚Nuklearen Winters‘ zu nennen. Dass ein derartiger Einschlag Auswirkungen auf den betroffenen Kontinent und die Welt als Ganzes haben könnte, beschreiben alle Schüler. Allerdings weichen die Vorstellungen über das ‚Wie‘ dieses Vorganges erheblich voneinander ab, wie folgende Zitate belegen:

„[...] würde auf jeden Fall der ganze Kontinent in Mitleidenschaft gezogen werden, auch die Eiszeit wurde meines Wissens von einem Meteoriten ausgelöst, Klimaveränderungen“ (MC21)

„[...] dass die Erde vollständig zerstört sein wird; späteres Leben halte ich für unmöglich“ (HulterXare)

„Solch ein Meteorit hätte vielleicht sogar zur Folge, dass eine neue Eiszeit beginnt bzw. das Wetter würde sich drastisch ändern.“ (Ei113)

„Zerstörung der Erde“ (AL86)

„[...] evtl. würde die Erde aus der Laufbahn um die Sonne geworfen werden.“ (Yamaha)

„Durch die Wucht des Aufpralls würde [sic!] vielleicht auch Meeresströme oder Klimaverhältnisse so verändert, das heute fruchtbare Gebiete zu Wüsten oder Ozeanen würden.“ (Aya)

Die Auswertung von Frage 18 schließlich erbrachte bei ca. 1/3 der Klasse wesentlichen Neuerungen in den Vorstellungen. Denn neben den in der gesamten Klasse bekannten Flutwellen (Tsunami) und der Überschwemmung bis in das Innere von Kontinenten hinein, wurden auch folgende Konzepte über einen Einschlag in einen Ozean formuliert:

„Durch den Glashauseffekt könnte durch das Abschmelzen des Nord- u. Südpols, der Meeresspiegel um mehrere Meter ansteigen“ (011er)

„[...] vielleicht auch eine Veränderung der Meeresströme.“ (Aya)

„Einschlag in Ozean: Wasser wird verdrängt, überflutet Städte und ein neuer sehr tiefer Meeresgraben entsteht.“ (IRC1024)

„Die Meeresströme würden sich verändern, was wiederum einen Klimawechsel zur Folge hätte.“ (Ei113)

„[...] Verschiebung von Erdteilen.“ (Kurti)

„[...] Schmelzen der Gletscher.“ (Ferien 2004)

In Verbindung mit den Aussagen zu den beiden vorhergehenden Fragen kann somit bei vielen Schülern ein in sich konsistentes Bild von Meteoriteneinschlägen erkannt werden. Dass diese Vorstellungen nicht mit den wissenschaftlich abgesicherten Modellen übereinstimmen, ist zum einen Anreiz, die Quellen und Ausprägungen der Ansichten weiter zu verfolgen, zum anderen die Unterrichtseinheit nach den Vorstellungen der Schüler neu abzustimmen.

Die Erhebung der Schülervorstellungen im klassischen Modell der Didaktischen Rekonstruktion fußt auf der Durchführung von Interviews. Dabei ist bereits eine Anzahl von fünf oder sechs Probanden ausreichend, um verwertbare Ergebnisse zu liefern.³²² In der Pilotstudie wurden vier Interviews durchgeführt. Sie wurden anhand einer High-Score-Liste ausgewählt, die sich aus den Werten der quantifizierbaren Vorstellungsfragen zusammensetzt. Für die Interviews wurden je der Schüler/die Schülerin mit dem niedrigsten, bzw. höchsten Wert ausgewählt:

- Interview 1: Kennwort Bob6107, männlich, höchste Vorstellungs-Werte der Jungen,
- Interview 2: Kennwort Kurti, männlich, niedrigste Vorstellungs-Werte der Jungen,
- Interview 3: Kennwort Berlin04, weiblich, höchste Vorstellungs-Werte der Mädchen,
- Interview 4: Kennwort Nena, weiblich, niedrigste Vorstellungs-Werte der Mädchen.

Bei den Interviews wurde der Schwerpunkt gelegt auf das vorhandene geologische Zeitbewusstsein, die Vorstellungen von der Geologie eines Einschlags sowie die Unterscheidung von großen und kleinen Einschlägen.

Für die Einschätzung der Gefahr durch Meteoriteneinschläge und ihre Rolle in der Erdgeschichte ist es unabdingbar, ein geologisches Zeitbewusstsein zu entwickeln. In der Jahrgangsstufe 11 sollte es sich aus der Kenntnis einiger wichtiger geologischer Zeitpunkte und der Neubewertung der Zeitspanne der Geschichte des Homo Sapiens im Vergleich zur Erdgeschichte konstituieren. Von den Interviewpartnern konnte einzig Bob6170 eine sichere und differenzierte Aussage auf die Frage ‚Kannst du die Einschläge in einen geologischen Zeitrahmen einordnen? Sag mir ein paar Eckdaten, in denen du das Nördlinger Ries einordnen kannst?‘ machen: *„Ja, vor 256 Millionen Jahren war der Beginn des Lebens....weiter...ja, vor 60 Millionen Jahren war das Aussterben...und vor 10.000 Jahren der Mensch. Wir leben halt noch nicht lang.“* (Interview 1). Drei wichtige Eckdaten (Beginn des Lebens, Dinosauriersterben, Auftreten des modernen Menschen) können benannt und in ein grobes zeitliches Raster eingepasst werden. Dass die Zahlenangaben nicht vollständig korrekt und der ‚Beginn des Lebens‘ wahrscheinlich mit der kambrischen Explosion verwechselt wird, sind nur marginale Fehler. Die Probandin Berlin04 kann lediglich das K/T-Massensterben als Bezugspunkt angeben: *„Also ich weiß ja, das vor 65 Millionen Jahren der 10km Asteroid war, bei dem sind ja die Dinosaurier ausgestorben. Und vor 25 Millionen Jahren war das Ries....nein, vor 15 Mio. Jahren. Da gab es ja auch noch keine Menschen, glaub ich....oder??“* (Interview 3). Wie aus den Ergebnissen zur Auswahl der Interviewpartner abzusehen war, konnten sowohl Kurti als auch Nena keinen Bezug zur geologischen Zeitskala aufbauen und gaben auf die Frage ‚Kannst du den Rieskrater mit 15 Mio. Jahren in ein geologisches Raster einordnen?‘ folgende Antworten:

³²² siehe hierzu die Dissertation von HILGE (1999)

„Oh, weniger. Ich glaube, die Dinosaurier haben über eine Spanne von mehreren Millionen Jahren gelebt. Ich glaube, das Ries dürfte dann eher so zum Ende hin sein...da dürften noch ein paar Dinosaurier gelebt haben. Menschen gab es erst seit 10.000 Jahren.“ (Interview 2)

„Na gut, ich weiß, dass es die Dinosaurier nicht mehr gegeben hat und dass es den Menschen noch nicht gegeben hat. Aber mehr weiß ich da nicht dazu.“ (Interview 4)

Das Feld der Vorstellungen über die Geologie und Größenverhältnisse bei einem Einschlag sollte ebenfalls durch die Interviews erfasst werden und zielte auf die Vorstellungen zu Maßstabsverhältnissen eines Meteoriteneinschlags, vor allem im Vergleich zur Erdkruste und der Erde als Ganzem. Wiederum konnte Bob6170 eine zutreffende Abschätzung zur Frage ‚Hast du Vorstellungen welche Größenverhältnisse das sind? Stell dir einen 10 km großen Asteroiden vor...weißt du, wie tief er einschlägt und was darunter ist? Wie dick ist die Erdkruste?‘ abgeben: *„So ca. 15 km; ich schätze mal bei 10 km, dass er nicht so ganz durchgeht, aber so bis zu den Urgesteinsschichten kommt er auf alle Fälle.“* (Interview 1). Konträr dazu war die Aussage von Nena, die ihre Vorstellung über die Geologie bei einem Einschlag und die Tiefe des Kraters so zusammenfasst: *„Ich denk mal vom Radius ein Drittel bestimmt, also vom Radius der Erde, nicht der Erdkruste.“* (Interview 4). Hier zeigt sich wiederum die Schwierigkeit, mit welcher unterschiedlichen Vorstellungen die Schüler in den Unterricht kommen.

Die Fragen zum Unterschied zwischen kleinen und großen Einschlägen offenbarten die aus den Fragen T1/16 und 17 bekannten Probleme der Abschätzung von Größe und Auswirkungen verschiedener Einschläge. Die Probandin Berlin04 erkannte den Unterschied zwischen Einschlägen mit lokalen, bzw. regionalen und globalen Folgen und konnte sogar Größenangaben miteinbeziehen: *„Größere Einschläge mit mehr als 5 km...also, kleinere Einschläge haben nur Auswirkungen in dem Gebiet, wo er eingeschlagen hat. Wenn in Nordamerika so ein 50 m Brocken runterkommt, das macht uns eigentlich weniger aus, da passiert nicht wirklich viel. Aber wenn jetzt ein 5km Durchmesser ist, dann glaub ich ist die ganze Welt schon, ja...hat Folgen.“* (Interview 3). Bob6170 äußerte sich skeptisch, was seine Möglichkeiten zu einer genauen Aussage betraf und führte ihm bekannte Vergleiche an: *„Also ich hab immer ein Problem wie groß, also wie groß der Brocken ist. Ich hab halt Bilder gesehen, ja, so von heutigen Einschlägen, die noch nicht so lange her sind, oder z.B. mit dem Wald in Russland, ich glaube, da habe ich mal einen Film drüber gesehen, also das war schon heftig, dass da ganze Landstriche wirklich weg waren.“* (Interview 1).

Zusammenfassend ist sowohl für die Interviews wie auch für den Fragebogen T1 festzuhalten, dass die Schüler mit deutlichen Unterschieden in den Vorstellungen über Meteoriteneinschläge im Speziellen und den flankierenden geologischen und geographischen Themenfeldern im Allgemeinen in die Befragung gekommen sind. Die ausführlichen Antworten zu den offener gestellten Fragen zeigen eine Vielgestalt an Konzepten, Überlegungen und zum Teil phantasiereichen Bildern.

4.1.2.2. Subjektive Gefahreinschätzung

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion will nicht nur kognitive Strukturen von Schülern erfassen und als viable Konstrukte behandeln, sondern auch affektive Komponenten einer Thematik beleuchten (siehe Kapitel 2.3.). Für die Impakt-Thematik stellt sich mit Bezug auf Naturkatastrophen und die Gefahren für einzelne

Personen die Frage nach der subjektiven Gefahreinschätzung. Hierzu wird in Frage 8.1 bis 8.4 des Fragebogens nach der Einstellung mit individueller Perspektive gefragt. Im Vergleich mit anderen, den Schülern bekannten Gefahren (Stürme, Flugzeugunglücke, giftige Pflanzen und Tiere) soll die Einschätzung von Meteoriteneinschlägen erfolgen.

Die Frage nach dem Vergleich mit globalen Katastrophen wurde in den Fragen 8.5 bis 8.8 behandelt. Die Auswahl der Vergleichswerte fiel schwerer aus, als für die Fragen mit individueller Perspektive. Es wurde das Item ‚Atomkrieg‘ gewählt, da dieser in seinen Auswirkungen vergleichbar ist mit Meteoriteneinschlägen (siehe Kapitel 3.3.3.1.). Weiterhin sollte ein ‚großer Vulkanausbruch‘ den Schülern in seinen Auswirkungen geläufig sein. Das Item ‚Terrorismus‘ schließlich wurde aus den aktuellen Entwicklungen seit dem 11.09.2001 gewählt, obgleich der Terrorismus nie die Ausmaße eines Meteoriteneinschlags annehmen kann. Gerade deshalb erscheint ein Vergleich in diesem Zusammenhang als lohnenswert.

Die Ergebnisse zur Frage nach der individuellen Perspektive lassen erkennen, dass keines der genannten Items im Klassendurchschnitt als besonders bedrohlich angesehen wird (Mittelwert $\bar{x}=2,57$). Einzig die den Schülern gut bekannten Stürme und Orkane erreichen mit 2,96 einen etwas höheren Wert. Die Meteoriteneinschläge erfahren als Bedrohungsszenario auf der individuellen Ebene eine mehrheitliche geringe Einschätzung. Zu verweisen ist allerdings auf die Minimal- und Maximalwerte der Antworten, die auch für die Frage nach den Meteoriteneinschlägen den Höchst- und Niedrigstwert aufweisen. Somit muss von deutlichen Unterschieden in der Gefahreinschätzung ausgegangen werden. Jedoch können die Differenzen nicht auf einen gemessenen Faktor (z.B. Geschlecht) zurückgeführt werden, denn sowohl bei den Fragen nach individueller wie globaler Bedrohung gab es keine signifikanten Differenzen zwischen Mädchen und Jungen.

In Bezug auf die globale Perspektive zeigen die Ergebnisse eine durchaus andere Gestalt. Drei von vier angegebenen Items wurden als hohe Gefahr für die Menschheit eingestuft, darunter auch Meteoriteneinschläge. Am höchsten wurde jedoch die Gefahrenlage durch einen Atomkrieg von den Schülern eingeschätzt, die mit einem Wert von 4,65 eine nahezu vollständige Zustimmung als Bedrohung auf globaler Ebene erreicht. Demgegenüber schnitt das Gefahrenpotenzial durch Meteoriteneinschläge mit dem Wert 3,7 deutlich geringer ab. Die Items Terrorismus und Meteoriteneinschlag rangieren in einer vergleichbaren Gefahreinschätzung. Somit zeigt sich hier besonders die Diskrepanz zwischen objektiver Gefahrenlage und subjektiv empfunden Bedrohungsgefühl.

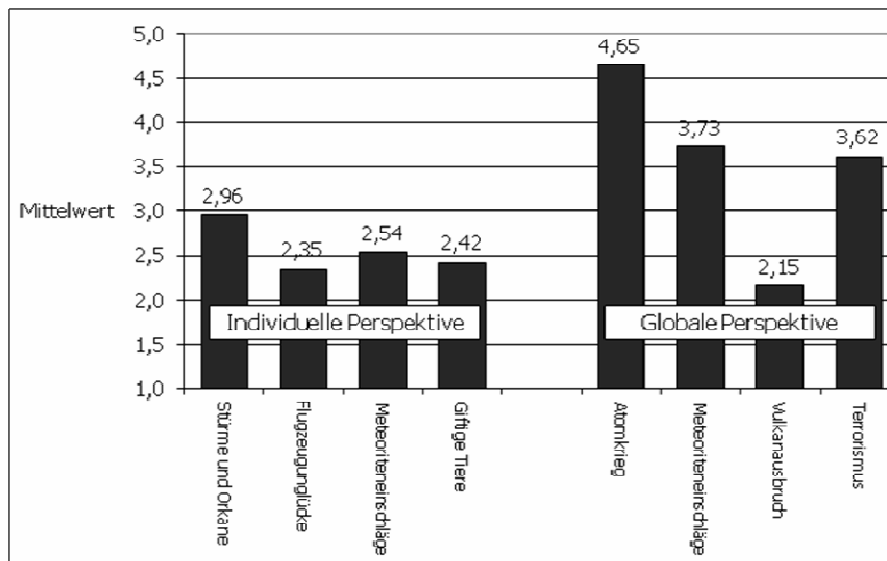


Abbildung 41: Mittelwerte für die Einschätzung des individuellen und globalen Gefahrenpotenzials (Vorstudie)

Wiederum geben die Minimal- und Maximalwerte Aufschluss über differenzierte Meinungen zur Gefahrenlage. Auch auf globaler Ebene erhält die Frage nach den Meteoriteneinschlägen sowohl Maximal- wie Minimalwerte und wird somit innerhalb der Klasse konträr gesehen. Einzig das Item ‚Atomkrieg‘ sticht durch seinen hohen Minimalwert von $x=3$ hervor – dadurch wird die Sonderstellung dieser Thematik noch deutlicher.

Ein weiterer Zusammenhang ergibt sich aus der Angabe zu den eigenen Vorkenntnissen und der Gefahreneinschätzung von Meteoriteneinschlägen. Sowohl aus individueller als auch aus globaler Perspektive nimmt die Gefahreneinschätzung mit der positiven Angabe von Vorkenntnissen ab. Vielmehr zeigt sich auf individueller Ebene ein signifikanter Unterschied: die Gruppe mit komplexen Vorstellungen beschied den Meteoriteneinschlägen mit $\xi=2,38$ kein nennenswertes Bedrohungspotenzial, während die Probanden mit weniger komplexen Angaben die Gefahrenlage mit Wert $\xi=2,69$ für sich selbst höher einschätzten.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass die Gefahreneinschätzung innerhalb der Stichprobe deutliche Unterschiede aufweist, die jedoch nur zum Teil auf gemessene Faktoren zurückgeführt werden können. Weiterhin ist mit Blick auf die Einschätzung des individuellen und globalen Gefahrenpotenzials zu konstatieren, dass letzteres zwar erkannt und hoch bewertet, jedoch nicht auf die individuelle Ebene transferiert wird.

4.1.2.3. Interesse der Schüler

Die Pilotstudie kann durch den geringeren Umfang der Stichprobe keine repräsentativen Aussagen liefern. Jedoch liegt das Thema ‚Meteoriteneinschläge‘ im Bereich ‚Naturkatastrophen‘, so dass mit einem hohen Interesse zu rechnen ist. Zur besseren

Vergleichbarkeit mit den Studien von HEMMER (2000) wurde ebenfalls mit einer 5-stufigen Likert-Skala gearbeitet.

Da sich die Unterrichtseinheit über vier Stunden erstreckt und damit auch spezielle Aspekte der Impakt-Thematik angesprochen werden konnten, wurde zudem das Interesse der Schüler zu einzelnen Themenfeldern untersucht. In der Fragengruppe 6 wurde mit zehn Items das Interesse an physikalischen, geologischen und anthropogeographischen Themen sowie der Möglichkeit einer Exkursion zu einem Meteoritenkrater untersucht. Letzter Aspekt verdient besondere Aufmerksamkeit, da mit dem Nördlinger Ries ein großer und relativ junger Krater sehr nahe am Untersuchungsort liegt.

Die einzelnen Aussagen wurden positiv formuliert, so dass das Schülerinteresse an den einzelnen Aspekten anhand der Skala ‚Stimme zu‘ bis ‚Stimme nicht zu‘ erfasst wurde (siehe Abbildung 42).

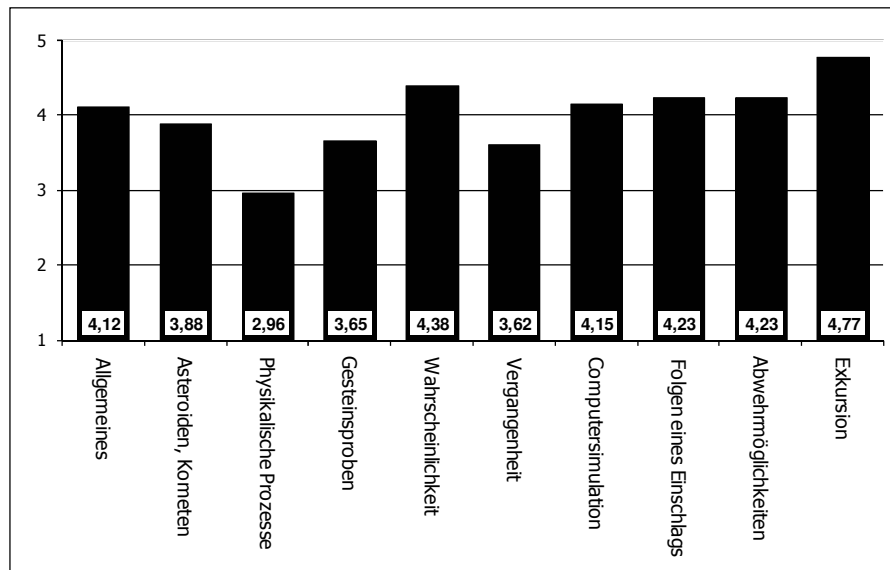


Abbildung 42: Mittelwerte für das Interesse an der Impakt-Thematik (Vorstudie)

Die Ergebnisse sind eine Bestätigung für die Ergebnisse von HEMMER (2000), der ein hohes Interesse an Naturkatastrophen³²³ festgestellt hat. Auch in vorliegender Untersuchung war das Interesse an Teilbereichen der Impakt-Thematik sehr hoch. Einzig das Interesse an den physikalischen Vorgängen ist unterhalb des Werts 3, der eine teils/teils - Zustimmung anzeigt. Höchstes Interesse ruft eine Exkursion zu einem Meteoritenkrater hervor. Dies kann zum einen auf die generelle Beliebtheit von Exkursionen, zum anderen auf die Nähe des Nördlinger Ries zurückgeführt werden. Nahezu ebenso interessant für die Schüler sind die Bezüge der Impakt-Thematik zur heutigen Lebenswelt, wie die Ergebnisse der Items 6.5 und 6.8 belegen. Dennoch zeigen Minimal- und Maximalwerte sowie Standardabweichungen, dass von einzelnen Probanden auch niedriges Interesse (Wert 1) bei allen Fragen geäußert wurde.

³²³ Dort in Zusammenhang mit der Regionalen Geographie USA/GUS; siehe auch HEMMER/HEMMER (1996)

Differenziert nach Geschlecht ergaben sich für das Interesse deutliche Abweichungen vom Mittelwert. Schülerinnen zeigten ein deutlich erhöhtes Interesse an der Frage nach Asteroiden, Kometen und Meteoriten (6.2) sowie nach der Gesteinsbestimmung (6.4). Männliche Schüler hingegen interessierten sich signifikant mehr für die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags heute (6.5) sowie für die Auswirkungen und Abwehrmöglichkeiten (6.8 und 6.9). Wie diese Ergebnisse mit der Untersuchung von HEMMER/HEMMER (1996) in Einklang zu bringen sind, die ein höheres Interesse für auf Menschen bezogene Themen bei den Mädchen festgestellt haben, ist auf Grund der geringen Stichprobe der Politstudie nicht möglich. Die Frage kann jedoch im Rahmen vorliegender Arbeit wieder aufgegriffen werden.

Zusammenfassend kann für die Ergebnisse zum Interesse festgehalten werden, dass die Schüler unabhängig von Geschlecht oder Vorkenntnissen ein hohes Interesse auch speziellen Themen der Impakt-Thematik entgegen bringen.

4.1.2.4. Informationsquellen zu Meteoriteneinschlägen

Den Schülern wurden sechs Informationsquellen zur Auswahl gegeben, sowie die Rubrik ‚Sonstige Quellen‘ zur Angabe weiterer, nicht genannter Ressourcen (siehe Abbildung 43).

Quellen	Anzahl der Nennungen
Dokumentationen im TV	12
Fachbücher	2
Schule und Unterricht	3
Kino- und Fernsehfilme	8
Wissenschaftsmagazine	2
Tages- und Wochenzeitungen	0
Sonstige Quellen	4

Abbildung 43: Anzahl der Nennungen für einzelne Informationsquellen zum Thema Meteoriteneinschläge (Vorstudie)

Aus den Fragebögen geht hervor, dass die bei weitem meisten Schüler ihre Informationen aus Dokumentarfilmen im TV sowie aus Kino- und Fernsehfilmen haben. Unter ‚Sonstigen Quellen‘ wurden das Juramuseum in Eichstätt, das Rieskrater-Museum in Nördlingen und Verwandte genannt. Damit zeigt sich ein überragender Einfluss der Medien Film und Fernsehen auf die Vorstellungen der Schüler über Meteoriteneinschläge. Da diese Quellen sehr unterschiedliche Qualität in Bezug auf Wissenschaftlichkeit und Komplexität aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass sich auch die Vorstellungen der Schüler ausdifferenzieren.

Die Interviews bestätigen die Ergebnisse der Fragebögen und zeigen, dass vor allem die Hollywood-Filme ‚Deep Impact‘ (1998) und ‚Armageddon‘ (1998), die von den Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags heute und seiner möglichen Abwehr handeln, als primäre Informationsquellen zu nennen sind. Bob6170 äußert sich jedoch kritisch, weil „*man weiß nie, ob man das so glauben kann*“ (Interview 1). Weiterhin wurden in den Interviews die Zeitschrift ‚Astronomie‘ (Bob6170), und die TV-Sendungen ‚Galileo‘ (Bob6170) und ‚Welt der Wunder‘ (Berlin04) als Quellen genannt.

Die im Anschluss an die Pilotstudie durchgeführten Experten-Interviews haben – zusammen mit dem hohen Interesse und der Vorstellungswelt der Schüler – den Ausschlag gegeben, die Forschung über Schülervorstellungen über Meteoriteneinschläge noch weiter zu vertiefen und eine auf breiterer Basis angelegte Folgestudie durchzuführen.

4.2. Hauptstudie

4.2.1. Ziel und Design der Studie

Die Ziele der empirischen Untersuchung können auf drei wesentliche Punkte konzentriert werden:

- Quantitative Erfassung von Schülervorstellungen in ihrer kognitiven und affektiven Dimension und ihrer Abhängigkeit zu unabhängigen Variablen,
- Qualitative Erfassung der Vorstellungen zu Ablauf, Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit von Meteoriteneinschlägen,
- Erfassung des Schülerinteresses am Thema Meteoriteneinschläge und seine Abhängigkeit von unabhängigen Variablen.

Im Zuge dieser Fragestellungen werden auch Vorstellungen zur geologischen Zeitskala erfasst.

Der Verlauf der gesamten Untersuchung basiert auf der Kombination quantitativer und qualitativer Verfahren. Das Design der Studie fasst Abbildung 44 zusammen.



Abbildung 44: Design der Hauptstudie zu Schülerperspektiven über Meteoriteneinschläge³²⁴

Die bisher veröffentlichten Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion weisen eine überwältigende Mehrheit von Studien mit ausschließlich qualitativer Methodologie auf. Somit ist eine eindeutige Präferenz für qualitativ auswertbare Interviews zur Erfassung von Schülervorstellungen gegeben.

Jedoch weisen BORTZ/DÖRING (2002) darauf hin, dass die Auswahl der Interviewpartner das Ergebnis der Untersuchung deutlich verändern, wenn nicht sogar verfälschen kann:

„Nicht nur Täuschungen und bewußte Fehlreaktionen der Untersuchungsteilnehmer sind Gründe für problematische Untersuchungen, sondern auch eine hohe Verweige-

³²⁴ Quelle: eigener Entwurf

rungsrate. Die Verweigerung der Untersuchungsteilnahme wird vor allem dann zum Problem, wenn man davon ausgehen muss, dass sich die Verweigerer systematisch bezüglich untersuchungsrelevanter Merkmale von den Teilnehmern unterscheiden.“³²⁵

Zu den genannten relevanten Merkmalen zählen nach BORTZ/DÖRING (2002):

- die schulische Ausbildung,
- die Einschätzung des sozialen Status,
- die Intelligenz,
- den Bedarf nach sozialer Anerkennung,
- die Geselligkeit,
- das Geschlecht,
- autoritäres Verhalten und
- Tendenz zu konformen Verhalten.

Einige dieser Merkmale wirken sich auf die Vorstellungen der Schüler aus, so dass bei rein qualitativen Studien besonderer Wert auf die Auswahl der Interviewpartner gelegt werden sollte.

SCHMITZ (2006)³²⁶ führt in ihrer Arbeit zur Interessens- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern weiterhin an, dass Interesse und Wissen sich gegenseitig bedingen und auseinander hervorgehen. Auch dies sollte methodologisch zu dem Schluss führen, dass die Auswahl der Interviewpartner mit einer Aufforderung, die explizit den Themenbereich beinhaltet, sicherlich die interessierten Schüler aus einer Lerngruppe hervorhebt und – nach den Ergebnissen von SCHMITZ (2006) – damit auch diejenigen Schüler, die über erweiterte Wissensstrukturen, bzw. Vorstellungen, zum untersuchten Thema verfügen. Dies führt spätestens bei dem Versuch, die Ergebnisse der Interviews zu verallgemeinern, zu einem Zerrbild der vorhandenen Vorstellungen. Mit der Nennung des Interviewinhalts geht also eine weit reichende Beeinflussung der Zustimmung oder Verweigerung eines Interviews einher. BORTZ/DÖRING (2002) sehen eine zu einfach geartete Probandenwahl für qualitative Studien kritisch: „Wir vertreten die Auffassung, daß Generalisierbarkeit allein durch willkürliches Auswählen vermeintlich typischer Fälle nicht begründet werden kann, sondern daß ergänzend quantifizierende Aussagen erforderlich sind.“³²⁷

Da sich die Geographiedidaktik übergreifend als empirische Sozialforschung³²⁸ versteht, und damit die verfügbaren Methoden und Messinstrumente kritisch in ihre eigene Arbeit aufzunehmen hat, soll an dieser Stelle ein erweiterter Ansatz zur Auswahl der Interviewpartner vorgestellt werden.

Zusammenfassend ist das Ziel daher, durch die qualitative und quantitative Erhebung von Schülervorstellungen in Abhängigkeit von definierten Variablen zu einem besseren Verständnis von Schülerperspektiven im Allgemeinen zu gelangen. Mit Fragebögen kann ein breiteres Spektrum an Schülervorstellungen erfasst und in den Interviews vertieft und auf Komplementarität überprüft werden. Die Clusteranalyse bietet einen Weg, die Auswahl der Interviewpartner objektiver zu gestalten. Dabei

³²⁵ BORTZ, J. und DÖRING, N. (2002) *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg. S.75; Hervorhebung durch BORTZ/DÖRING

³²⁶ SCHMITZ, A. (2006) *Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“*. Dissertation. Kiel. S. 33

³²⁷ BORTZ/DÖRING (2002) S. 337

³²⁸ HEMMER, M. (2000) *Westen ja bitte – Osten nein danke! Empirische Untersuchungen zum geographischen Interesse von Schülerinnen und Schülern an den USA und der GUS*. München. S. 40

werden die verwendeten Erhebungsverfahren als gleichwertig betrachtet. Das hier vorgestellte methodische Design soll nicht als Kritik an der Vorgehensweise bisheriger Arbeiten zu Schülervorstellungen gesehen werden, sondern einen Beitrag zu einer potenziell sinnvollen methodischen Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion liefern.

Die verwendete Stichprobe für die quantitative Studie setzt sich aus bayerischen Gymnasialschülern der Klassen 5 und 11 zusammen – so können neben Geschlechterdifferenzen auch Alterunterschiede in Vorstellungen, Interesse und Gefahreinschätzung erhoben werden. Die Stichprobe umfasst 400 Schüler aus fünf Gymnasien. Die Fokussierung auf die 5. und 11. Jahrgangsstufe erfolgt aufgrund der im bayerischen Gymnasiallehrplan vorgesehenen Behandlung der Impakt-Thematik (oder angrenzender Inhalte) in diesen Klassenstufen.

4.2.2. Hypothesen

4.2.2.1. Hypothesen zum Bereich Vorstellungen

Für die quantitative Untersuchung unter der Verwendung von Fragebögen lassen sich aus den theoretischen Überlegungen und der Pilotstudie Hypothesen ableiten, die durch die Hauptstudie geprüft werden können. Der Schwerpunkt liegt dabei zum einen auf dem Zusammenhang von Vorstellungen und unabhängigen Variablen, jedoch auch auf der Überprüfung der neu gestalteten Vorgehensweise zur quantitativen Erfassung von Schülervorstellungen. Der Bereich Interesse bildet einen kleineren eigenständigen Hypothesenbereich.

Hypothese 1

Die Vorstellungen der Schüler über Meteoriteneinschläge unterscheiden sich individuell erheblich voneinander in Bezug auf Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten.
Empirisch können unterschiedliche Vorstellungs-Typen unterschieden werden.

Mit dem Versuch, Vorstellungen quantitativ erfassbar zu machen, wird die Dimensionierung der Vorstellungen entscheidend. Aus den bisherigen Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion (v.a. GROPENGIESSER (1997)) lassen sich zwei Hauptmerkmale destillieren, die für eine Beschreibung der vorhandenen Begriffe, Konzepte und Denkfiguren geeignet sind. Die Komplexität und die Nähe der Schülervorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten werden als Dimensionen der kognitiven Strukturen aufgefasst und empirisch umgesetzt.

Empirisch sollte es mit Hilfe der Clusterzentrenanalyse möglich sein, verschiedene Typen in Bezug auf Komplexität und Nähe der Vorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten zu unterscheiden. Dadurch können geeignete Interviewpartner gewählt oder im Anschluss an die Interviews in der Vorstellungs-Matrix verortet werden; eine quantitative Untersuchung zeigt sowohl ein breiteres Spektrum an Vorstellungen als auch eine repräsentative Auswahl der Kernvorstellungen. Zudem ist bei der Wahl der Interviewpartner Vorsicht geboten, da bei einer rein qualitativen Untersuchung eine Stichprobe gewählt werden muss, deren Aussagen zur Verallgemeinerung geeignet

sind - zur Unterscheidung von Verallgemeinerung und Repräsentativität siehe auch JANSSEN/BARTELS (2004)³²⁹.

Gestützt durch die Ergebnisse der Pilotstudie kann die Hypothese noch weiter differenziert werden. So sollten folgende Aussagen überprüft werden:

- die Mehrzahl der Schüler kann nicht zwischen den Begriffen Meteorit, Asteroid und Komet unterscheiden,
- Schüler können nicht genau zwischen den Auswirkungen von kleinen und großen Einschlägen differenzieren (Unterscheidung von lokalen Ereignissen im Gegensatz zu globale Auswirkungen),
- der Mehrheit der Schüler fehlt das geologische Zeitbewusstsein zur Einordnung der Thematik in die Erdgeschichte.

Hypothese 2

Schüler beziehen ihre Vorstellungen über Meteoriteneinschläge mehrheitlich aus Informationsquellen außerhalb des schulischen Unterrichts.

PLAPP/WERNER (2002) können in ihrer Studie Informationsquellen zur Einschätzung von Naturkatastrophen ausmachen. Aus drei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten (‚aus eigener Erfahrung‘, ‚aus Medien aller Art (TV, Zeitungen, Büchern, Vorträgen)‘, ‚aus Erzählungen von Freunden oder Bekannten‘) wurden Medien und Bücher am häufigsten genannt. Jedoch fallen für die Impakt-Thematik die eigenen Erfahrungen und die Erzählungen von Freunden und Bekannten im engeren Sinne beiseite (außer man bezieht sie z.B. auch auf die Erzählungen über einen Besuch des Nördlinger Ries). Daher wird der Bereich der Medien weiter ausdifferenziert und eine weitere Unterscheidung vorgenommen zwischen Dokumentationen im Fernsehen, Fachbüchern, Schule und Unterricht, Kino- und Fernsehfilmen, Zeitschriften, Tages- und Wochenzeitungen, dem Internet sowie sonstigen Quellen. Dabei wird immer nach einer spezifischen Nennung der Quelle gefragt (z.B. die genaue Fernsehendung oder der Name des Kinofilms). Unter den sonstigen Quellen können auch Besuche im Rieskratermuseum oder eben Erzählungen von Freunden und Bekannten genannt werden.

Aus den Ergebnissen der Pilotstudie geht hervor, dass die meisten Schüler ihre Informationen aus Dokumentarfilmen im TV sowie aus Kino- und Fernsehfilmen haben. Damit zeigt sich bereits bei diesem nicht repräsentativen Sample ein überragender Einfluss der Medien Film und Fernsehen auf die Vorstellungen der Schüler. Diese ersten Ergebnisse sollen durch die Hauptstudie überprüft werden.

³²⁹ JANSSEN-BARTELS, A. und SANDER, E. (2004) *Verallgemeinerung qualitativer Daten in der biologiedidaktischen Lehr-, Lernforschung*. In: GROPPENGIESSER, H., Janßen-Bartels, A. und Sander, E. (Hrsg.), *Lehren fürs Leben. Didaktische Rekonstruktion in der Biologie*. Köln. S.109 – 118.

Hypothese 3

Schülervorstellungen korrelieren mit Interesse, Alter, Geschlecht und Gefahreinschätzung der Probanden.

Da Vorstellungen als kognitive Konstrukte vielfältigen Einflussfaktoren unterliegen, soll eine Überprüfung der Abhängigkeit von zentralen unabhängigen Variablen wie Alter und Geschlecht, jedoch auch von ähnlichen theoretischen Konstrukten wie Interesse und Gefahreinschätzung einen Mehrwert an Erkenntnissen liefern.

Unterhypothese 3a

Schülervorstellungen und Interesse korrelieren positiv miteinander.

Nach den Ergebnissen von SCHMITZ (2006)³³⁰, die in ihrer Untersuchung auf den Zusammenhang von Interesse und Wissen eingeht, besteht theoretisch ein positiver Zusammenhang sowohl zwischen dem situationalen wie dem individuellen Interesse und den kognitiven Strukturen der Wissensrepräsentation. Dabei ist der Zusammenhang wechselseitig positiv – hohes Interesse und gegenstandsbezogenes Wissen können sich gegenseitig begründen. Diesem Zusammenhang kann man mit der Betrachtung des Interesses als unabhängige Variable nachgehen und die Korrelation der beiden Skalen testen. Methodisch hat SCHMITZ (2006) bereits auf einen Fragebogen zur Erhebung des Interesses zurückgegriffen – hier sollen nun beide Konstrukte im Fragebogen quantitativ erfasst werden.

Jedoch kann SCHMITZ (2006) ihre aufgestellte Hypothese über den positiven Zusammenhang von Interesse und Wissensstrukturen am Beispiel der Meeresforschung nicht eindeutig belegen. Dies ist auch ein Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit, denn mit einer größeren Stichprobengröße zu einer anderen Thematik lassen sich ggf. andere Aussagen bezüglich der Abhängigkeit bzw. Unabhängigkeit von Interesse und Vorstellungen treffen. Es wird dabei angenommen: Je höher das Interesse an der Impakt-Thematik ist, desto komplexer und wissenschaftsnäher sind die Schülervorstellungen darüber.

Unterhypothese 3b

Schülervorstellungen und Alter korrelieren positiv miteinander.

Weder in der Pilotstudie noch in den in der Literaturanalyse mit einbezogenen Quellen wurde bisher ein Zusammenhang von Alter und Vorstellungen untersucht. Vielmehr muss grundsätzlich die Frage nach der Vergleichbarkeit der kognitiven Wis-

³³⁰ SCHMITZ, A. (2006) *Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“*. Dissertation. Kiel.

sensstrukturen in zwei so unterschiedlichen Gruppen wie der 5. und der 11. Jahrgangsstufe gestellt werden. Diese Problematik wurde bei der Konstruktion des Fragebogens explizit berücksichtigt (Pre-Tests zur Verständlichkeit mit Schülern beider Altersgruppen), so dass grundsätzlich von einer gleichen Basis in Bezug auf das Verständnis des Fragebogens ausgegangen werden kann.

Es wird daher eine gerichtete Hypothese aufgestellt, die es zu prüfen gilt: Ältere Schüler verfügen über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen als jüngere Schüler.

Unterhypothese 3c

Schülervorstellungen und Geschlecht korrelieren miteinander.

Die in der Pilotstudie erhobenen Daten zeigen in einer nicht repräsentativen Stichprobe, dass Jungen über komplexere Vorstellungen über Meteoriteneinschläge verfügen als Mädchen. Es wird wiederum eine gerichtete Hypothese aufgestellt, die es zu prüfen gilt: Schüler verfügen über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen als Schülerinnen.

Unterhypothese 3d

Schülervorstellungen und Gefahreneinschätzung korrelieren positiv miteinander.

Aus den Ergebnissen der Vorstudie kann aufgrund der geringen Stichprobengröße keine verlässliche Aussage über den Zusammenhang von kognitiven und affektiven Komponenten von Vorstellungen getroffen werden.

Jedoch ist aufgrund der engen theoretischen Verflechtung der beiden Teilkonstrukte die Formulierung einer Hypothese möglich. Ableiten lässt sich diese Annahme aus der fachlichen Klärung, die eine hohe Gefahreneinschätzung in der wissenschaftlichen Perspektive ausgemacht hat. Falls Schüler über komplexe und wissenschaftsnähe Vorstellungen verfügen, sollte sich dies auch in der affektiven Komponente der Vorstellungen widerspiegeln.

Daher wird von folgendem Zusammenhang ausgegangen: Je komplexer die kognitiven Vorstellungen sind, desto höher ist die Gefahreneinschätzung des Impaktrisikos.

Dass die Ergebnisse der Vorstudie – dort nimmt die Gefahreneinschätzung sowohl aus individueller als auch aus globaler Perspektive mit der komplexeren Angabe von Vorstellungen ab – der Hypothese bereits widersprechen, macht eine Überprüfung umso notwendiger.

4.2.2.2. Hypothesen zum Bereich Interesse

Hypothese 4

Das Interesse am Thema Meteoriteneinschläge liegt deutlich über dem zu erwartenden Mittelwert.

Die umfassenden Studien zum Schülerinteresse am Geographieunterricht belegen unisono ein sehr hohes Interesse am Themenbereich Naturkatastrophen – siehe hierzu HEMMER et al. (2005), HEMMER (2000), OBERMAIER (1997), HEMMER/HEMMER (1996) und HEMMER/HEMMER (2006). Da Meteoriteneinschläge ein Paradebeispiel dieser Kategorie darstellen, ist von einem erhöhten Mittelwert des Interesses auszugehen – bei einer 5-stufigen Skala wird somit mit einem Wert von mehr als $\bar{x}=3,00$ gerechnet.

Hypothese 5

Das Interesse von Schülern der 5. Jahrgangsstufe unterscheidet sich nicht signifikant von Schülern der 11. Jahrgangsstufe.

Die umfangreiche Studie von HEMMER (2002) hat gezeigt, dass das Interesse an der Subskala Naturkatastrophen zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 13 konstant hoch bleibt – dieses Resultat sollte auch für den Bereich der Meteoriteneinschläge gelten. Schüler der 11. Jahrgangsstufe sollten daher ähnlich hohe Interessenswerte aufweisen wie Schüler der 5. Klasse.

Hypothese 6

Jungen haben ein signifikant höheres Interesse an Meteoriteneinschlägen als Mädchen.

Ebenfalls aus den Ergebnissen von HEMMER (2002) kann abgeleitet werden, dass sich Jungen im Vergleich zu Mädchen geringfügig mehr für die Subskala Naturkatastrophen interessieren. Für die vorliegende Studie wird diese Tendenz in eine gerichtete Hypothese umformuliert – Jungen sollten über ein signifikant höheres Interesse verfügen als Mädchen.

4.2.3. Methodik

4.2.3.1. Quantitative Verfahren

4.2.3.1.1. Genereller Aufbau des Messinstruments

Zur quantitativen Erfassung von kognitiven und affektiven Schülervorstellungen sowie von Interesse bietet sich grundsätzlich das Fragebogenverfahren an. Es ergibt bei geringem zeitlichem Aufwand eine hohe Datenfülle. Der hier verwendete Fragebogen wurde nach der Vorstudie von 2004 kontinuierlich weiterentwickelt und verändert – dabei wurden Expertenmeinungen von Forschern zum Thema Schülervorstellungen sowie eines Soziologen mit Schwerpunkt auf empirischer Sozialforschung in den iterativen Prozess miteinbezogen. Zudem wurde regelmäßig die jeweils aktuelle Version des Fragebogens Kindern und Jugendlichen im avisierten Alter vorgelegt, um die Verständlichkeit und Akzeptanz des Instruments zu verbessern.

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion ist grundsätzlich offen für vom klassischen Interview abweichende Verfahren³³¹, versteht sich jedoch als auf dem Konstruktivismus basierendes Gebäude. Daraus ergibt sich die zentrale Schlussfolgerung, dass Schülervorstellungen als individuelle und in sich konsistente Strukturen zu betrachten sind. Dem widerspricht nicht, im vorliegenden Verfahren mithilfe des Fragebogens nicht nur auf die kognitiven Vorstellungen, sondern auch auf das Interesse und die affektive Dimension der Vorstellungen einzugehen. KATTMANN (2007) orientiert die Methodenwahl am schon gegebenen Forschungsstand und dem Forschungsziel: *„Quantitative Methoden (wie Fragebögen) kommen dann ins Spiel, wenn die Kategorien der Vorstellungen bekannt und die Quantifizierungen bei Folgerungen für Lernen und Lehren bedeutsam sind [...]“*³³² – beide Kriterien sind hier gegeben. Zudem ist die Erfassung verschiedener Dimensionen von Lernerperspektiven mit quantitativen Methoden langjährig erprobt - hier sei nochmals auf die quantitativen Untersuchungen von HEMMER/HEMMER (1996), UPHUES (2007), PLAPP (2003) und PLAPP/WERNER (2002) verwiesen.

Der Fragebogen enthält – den Hypothesen folgend – die Bereiche Interesse sowie kognitive und affektive Dimension der Vorstellungen sowie Fragen zu Alter und Geschlecht der Probanden (siehe Anhang). Letztere können als unabhängige Variablen betrachtet werden, die sich auf Interesse und Vorstellungen auswirken.

Für die vorliegende Studie werden die Fragen zu den persönlichen Daten an den Anfang gestellt (siehe Abbildung 45), da ohne sie eine Auswertung nach Korrelationen nicht mehr möglich ist. Bereits in der Pilotstudie wurde mit der Positionierung dieses Fragenblocks am Beginn des Bogens sehr gute Erfahrungen gemacht – so kann auch für die Hauptstudie ein Maximum an auswertbaren Fragebögen erreicht werden.

³³¹ KATTMANN/DUIT/GROPENGISSER/KOMOREK (1997) S.11

³³² KATTMANN (2007) S. 102



Abbildung 45: Überblick über den Aufbau des Fragebogens³³³

Der Fragebogen fährt fort mit dem Bereich Interesse. Die Fragen zum Interesse orientieren sich an den Untersuchungen von HEMMER (2000), vor allem in der Gestaltung einzelner Items und der benutzten Skala. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Ergebnissen früherer Interessenstudien zu vereinfachen, wurde eine fünfstufige Likert-Skala verwendet.

Insgesamt besteht die Skala zum Interesse aus 16 Items, die sich am naturwissenschaftlichen (G1K1 bis G1K8) und gesellschaftswissenschaftlichen (G2K1 bis G2K8) Kontext orientieren.

Der daran anschließende Bereich der kognitiven Vorstellungen wurde in dieser Form – zumindest im deutschsprachigen Raum – noch nicht mit einem zur quantitativen Auswertung konzipierten Fragebogen erfasst. Die Einwände, die vor allem gegen die Validität der Messung von Schülervorstellungen mithilfe von Fragebögen vorgebracht werden, wurden beim Design des Instruments miteinbezogen. Durch folgende Maßnahmen sollen die Probleme eingeschränkt und auf ein Minimum reduziert werden:

1. Die Ergebnisse der Vorstudie weisen eindeutig aus, dass allen Schülern Meteoriteneinschläge als Phänomen bekannt sind und damit der negative Effekt der Beeinflussung zur Frage nach dem Phänomen an sich unerheblich wird; die Studie kann sich daher auf die Prozess-Ebene der Impakt-Thematik konzentrieren und muss nicht die allgemeine Frage nach dem Phänomen an sich stellen;

³³³ Quelle: eigener Entwurf

2. Offene Fragen leiten den Bereich der Vorstellungen ein – so können Schüler unabhängig von vorgegebenen Begriffen und Mustern ihre zu Beginn der Befragung vorhandenen Vorstellungen schriftlich fixieren; erst in späteren Fragen werden themenspezifische Termini eingeführt;
3. Ein ernstzunehmender Einwand ist sicherlich die Erfahrung mit Multiple-Choice-Fragen, dass Probanden bereits durch die Fragestellung und die vorgegebenen Antworten in eine Richtung gelenkt werden können und so das Ergebnis bis zur Verfälschung beeinflusst wird. Während diese Gefahr bei Likert-ähnlichen Skalen und erprobten Instrumenten wesentlich reduziert werden kann, ist es bei der erstmaligen Erstellung eines Instruments zur Messung von Vorstellungen notwendig, den Fragebogen anzupassen. Bei jeder Multiple-Choice-Frage zu Vorstellungen wurde die Kategorie ‚weiß nicht‘ eingeführt und noch einmal besonders in den Erläuterungen zu jeder einzelnen Frage erwähnt; dieses Vorgehen soll eine erzwungene Auswahl einer vorgegebenen Antwort verhindern und auch die Komplexität der Vorstellungen erfassen.

Den Abschluss des Fragebogens bilden eine offene Frage, in der Anmerkungen zum Fragebogen gegeben werden können, sowie der abschließende Dank für die Teilnahme.

4.2.3.1.2. Instrument zur Erfassung von Vorstellungen

Die Einstiegsfragen zum Bereich Vorstellungen bieten daher einen großen Spielraum für ausformulierte Vorstellungen zu Ablauf und Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen. Hingewiesen werden muss hierbei auf die grundsätzliche Problematik jeder Befragung, ob neben den zu erfassenden Inhalten nicht auch die sprachliche, bzw. schriftsprachliche Ausdrucksfähigkeit der Probanden mit von Bedeutung ist. Aus den Ergebnissen der Fachlichen Klärung lässt sich für diese Fragen eine Antwortmöglichkeit erstellen, die der wissenschaftlichen Konzeption entspricht:

3. Beschreibe, wie ein Meteoriteneinschlag deiner Meinung nach abläuft!

Ein Meteorit wird durch die Gravitation angezogen und fällt mit ca. 10-70 km/ sec (also bis zu 250.000 km/h) auf die Erde. Falls er zu groß ist, um in der Atmosphäre zu verglühen (ab ca. 30 m Durchmesser), durchschlägt er die gesamte Erdatmosphäre in ca. 4 Sekunden und trifft auf der Oberfläche auf. Das getroffene Gestein schmilzt durch die hohe Energiefreisetzung ($E = \frac{1}{2} m v^2$) und wird in die Höhe geschleudert. Der Meteorit verdampft meist vollständig. Zurück bleibt ein Krater, der ca. 20x so groß ist wie der ursprüngliche Meteorit.

4. Beschreibe, welche Auswirkungen ein Meteoriteneinschlag auf Menschen und Umwelt deiner Meinung nach haben kann!

Je nach Größe des Meteoriten kann es zu nur kleinen Schäden kommen (schon öfter wurden Autos oder Häuser getroffen). Größere Einschläge (ab einem Meteoritendurchmesser von ca. 50m) führen zu einer Druckwelle, die auch weiter entfernt Zerstörungen anrichtet. Sehr große Einschläge (ab ca. 1km Durchmesser) hinterlassen riesige Krater und die Druck- und Hitzewelle (die Temperatur bei der Explosion ist mehrere Zehntausend Grad) setzt auch weit entfernte Wälder und Gebäude in Brand. Weiterhin ist mit schweren Erdbeben (durch die Einschlagskraft), Tornados (durch das Vakuum, das der Meteorit hinter sich her-

zieht) und Klimaveränderungen (durch die aufgewirbelten Gesteinsmassen und entstandenen Gase) zu rechnen. Bei einem Einschlag im Meer können mehrere Hundert Meter hohe Tsunamis an den Küsten aufschlagen.

Erst danach werden in Frage 5 Aussagen zum Thema Meteoriteneinschläge präsentiert, die mit ‚korrekt‘, ‚falsch‘ oder ‚weiß nicht‘ beantwortet werden können. Diese Fragen sind zum Teil selbstreferentiell, um die innere Konsistenz der Schülervorstellungen testen zu können. Die Fragen lassen sich aus den Bereichen Ablauf, Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit eines Einschlags entnehmen. Auch hier kann zum Vergleich von Schülervorstellungen und fachlichen Aussagen ein Raster erstellt werden.

Fragen 6 und 7 bieten wiederum die Möglichkeit, offene Antworten zu geben – gefragt wird nach Kratern und den Einflussfaktoren auf die Kratergröße, die den Schülern bekannt sind. Zur Frage nach bekannten Kratern ist anzumerken, dass derzeit ca. 180 Meteoritenkrater auf der Erde bekannt sind. In Bayern gibt es zwei Krater: das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken; der Krater, der das Aussterben der Dinosaurier ausgelöst hat, ist auf der mexikanischen Halbinsel Yucatan (Chicxulub-Krater); der größte Krater befindet sich in Südafrika: der Vredefort-Krater (300 km Durchmesser). Den Schülern können also einige Namen im Unterricht oder in den Medien bereits begegnet sein.

Wesentlich komplexere Zusammenhänge werden bei der Frage nach den Gründen für verschieden große Krater erfasst, denn hier müssen systemische Zusammenhänge erkannt werden: die Kratergröße hängt z.B. von Größe, Dichte und Geschwindigkeit des Meteoriten ab, weiterhin ist das getroffene Material entscheidend (Wasser, lockeres Sediment, fester Felsen).

Als zusammenfassende Frage zu den Auswirkungen eines Einschlags kann die Multiple-Choice Frage (8) nach den Folgen zweier Impakte mit Meteoriten verschiedener Größe (Durchmesser 50 Meter, bzw. zehn Kilometer) gesehen werden. Hier können die Befragten aus fünf vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wählen – zudem ist wieder die Angabe ‚weiß nicht‘ möglich. Die Antwortvorgaben sind so gewählt, dass keine zu nah beieinander liegenden Optionen vorgegeben werden. Weiterhin sind die Vorgaben zufällig angeordnet – so können die Schüler nicht aus der Reihenfolge auf eine mögliche Auswahl schließen.

Um die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags abschätzen zu können, ist ein geologisches Zeitbewusstsein notwendig³³⁴. Diesem Themenkomplex widmen sich die beiden folgenden Fragen. Während in Frage 9 sechs verschiedene geschichtliche (Bau der Pyramiden in Ägypten, Beginn unseres Kalenders), erdgeschichtliche (Entstehung der Erde, Aussterben der Dinosaurier, Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries) und kosmologische (Entstehung des Universums) Ereignisse ihrer zeitlichen Abfolge nach nummeriert werden sollen (wobei die Entstehung der Erde als Beispiel mit der Zahl 1 markiert ist), sollen in Frage 10 eben diese Ereignisse auch datiert werden. Auch hier wird eine Antwort vorgegeben (Beginn unseres Kalenders vor 2007 Jahren). Während bei Auswertung von Frage 9 lediglich auf die angegebene Reihenfolge der Ereignisse zu achten ist, müssen bei Frage 10 Wertebereiche

³³⁴ Siehe hierzu auch TREND, R. (2001) *An investigation into the Understanding of Geological Time among 17-year-old Students, with implications for the Subject Matter Knowledge of Future Teachers*. In: International Research in Geographical and Environmental Education, n. 10(3), S. 298-321.

TREND, R. (1998) *An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children*. In: International Journal of Science Education, n. 20(8), S. 973-988.

bestimmt werden, die noch in Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Konzepten gesehen werden können.

Ereignis	Wertebereich innerhalb der wissenschaftlichen Konzepte
Ende der letzten Eiszeit	Vor 8000 bis 10.000 Jahren
Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries	Vor 13 bis 17 Millionen Jahren
Entstehung der Erde	Vor 4 bis 6 Milliarden Jahren
Bau der Pyramiden in Ägypten	Vor 4000-5000 Jahren
Aussterben der Dinosaurier	Vor 60 bis 70 Millionen Jahren
Entstehung des Universums	Vor 10 bis 20 Milliarden Jahren
Beginn unseres Kalenders	Vorgegebener Wert

Abbildung 46: Wertebereiche für die Beantwortung der Frage nach der geologischen Zeitskala³³⁵

Um auch den affektiven Bereich der Vorstellungen zu erfassen, wird in Frage 11 nach der empfundenen Gefährdung durch Meteoriteneinschläge gefragt – dabei ist zu unterscheiden zwischen der individuellen und der globalen Ebene der Gefahreneinschätzung. Der Themenbereich Meteoriteneinschläge wird auf der individuellen Ebene mit Gefahren, die dem Einzelnen aus dem Alltagsleben bekannt sind, in Vergleich gesetzt. Auf der globalen Ebene wurden hingegen Gefahren gewählt, die die Menschheit als Ganzes gefährden – oder zumindest häufig als eine Gefahr für die Spezies als Ganzes dargestellt werden. Denn statistisch gesehen ist die Wahrscheinlichkeit, durch einen Meteoriteneinschlag zu sterben, etwa so hoch wie durch ein Flugzeugunglück umzukommen; zwar ist bisher noch niemand durch einen Meteoriten gestorben, jedoch wären die Auswirkungen eines größeren Einschlags so verheerend, dass sich dies auf die Statistik auswirkt. Wesentlich ‚ungefährlicher‘ sind hingegen z.B. giftige Tiere.

Bei Untersuchungen nach Schülervorstellungen stellt sich unweigerlich die Frage nach den Quellen der Konzepte – bei der Impakt-Thematik im speziellen, da keine alltagsweltlichen Erfahrungen im engeren Sinne vorhanden sind. GROPENGIESSER (1997) unterscheidet für seine Untersuchung zum Prozess des Sehens lebensweltliche und fachbezogene Vorstellungen. Diese Gruppierung trifft auf das Thema Meteoriteneinschläge nur bedingt zu – können die Schüler doch nicht auf lebensweltliche Erfahrungen zurückgreifen. PLAPP/WERNER (2002) können die überragende Bedeutung der Medien als Quellen für Informationen über Naturgefahren zeigen, da die Probanden unter drei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten Medien und Bücher mit über 2/3 der Antworten als wichtigste Informationsquelle nannten³³⁶. Da die anderen Antwortvorgaben für das Thema Meteoriteneinschläge wegfallen, muss der Bereich der Medien weiter ausdifferenziert werden. Der Bereich der Medien wird genauer betrachtet und eine Unterscheidung vorgenommen zwischen Dokumentationen im Fernsehen, Fachbüchern, Schule und Unterricht, Kino- und Fernsehfilmen, Zeitschrif-

³³⁵ Die Wertebereiche sind relativ weit gefasst, orientieren sich jedoch an Angaben, wie sich auch in der Fachliteratur zu finden sind; so wird das Alter des Chicxulub-Kraters (genaue Datierung 64,8 Millionen Jahre) in einer offiziellen Veröffentlichung des IUCN zur Aufnahme des Vredefort-Kraters in die Welterbe-Liste mit 60 Millionen Jahren angegeben: IUCN (2005) *World Heritage Evaluation – IUCN Technical Evaluation - Vredefort Dome (South Africa)*. Gland (Switzerland). S. 6

³³⁶ PLAPP/WERNER (2002) S.14

ten, Tages- und Wochenzeitungen, dem Internet sowie sonstigen Quellen. Dabei wird immer nach einer spezifischen Nennung der Quelle gefragt (z.B. die genaue Fernsehsendung oder der Name des Kinofilms).

Die differenzierte Erfassung der Quellen von Vorstellungen ist insofern zwingend, als die breitenwirksamen Medien Fernsehen und Kinofilm in Bezug auf die Impact-Thematik bis 1993 die wissenschaftlich begründete Gefährdung kaum aufgegriffen haben, sondern fiktiven Auswirkungen (z.B. die Verwandlung der Menschen durch vom Meteoriten ausströmende Gase oder Wellen) den Vorrang gegeben haben³³⁷. Dies könnte sich auf die bei Schülern vorhandenen Vorstellungen auswirken. Auf dieses Thema weist auch Gerhard Berz im Interview hin:

„Die Filme ‚Deep Impact‘ und ‚Armageddon‘ sind wissenschaftlich nicht haltbar und überzeichnet. Ein positiver Effekt ist jedoch, dass die Öffentlichkeit das Thema wahrnimmt – dieser Effekt ist jedoch kurzfristig.“ (Interview Berz, Frage 7b).

4.2.3.1.3. Instrument zur Erfassung des Interesses

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion verweist explizit auf die Untersuchung von Schülerinteressen im Rahmen des größeren Bereichs der Lernerperspektiven. Deshalb sollte zur besseren Einbindung der Schülervorstellungen in die Unterrichtsplanung auch das Interesse an speziellen Teilbereichen des Themengebiets untersucht werden. Daher wird in Frage 2 das Interesse an Meteoriteneinschlägen erfasst. Das Interesse kann darüber hinaus auf seine Korrelation mit der affektiven Gefahrenereinschätzung und dem vorhandenen Vorstellungen überprüft werden.

Weiterhin ist es möglich, das Interesse in Abhängigkeit von unabhängigen Variablen zu bestimmen. Dabei wird auf die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zum Interesse wie HEMMER et al. (2005)³³⁸, HEMMER (2000), OBERMAIER (1997)³³⁹ sowie HEMMER/HEMMER (1996)³⁴⁰ zurückgegriffen und das Interesse in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter untersucht.

Gebiet	Kontext
G1 Naturwissenschaftlicher Kontext	K1 individuell
G2 Gesellschaftswissenschaftlicher Kontext	K2 gesellschaftlich
	K3 normativ
	K4 systemisch
	K5 fachlich
	K6 erdgeschichtlich
	K7 räumlich
	K8 wissenschaftsmethodisch

Abbildung 47: Themengebiete und Kontexte zum Interesse an Meteoriteneinschlägen

³³⁷ HARTWELL (2007) S. 79

³³⁸ HEMMER, I., HEMMER, M., BAYRHUBER, H., HÄUSSLER, P., HLAWATSCH, S., HOFFMANN, L. und RAFFELSIEFER, M. (2005) *Interesse von Schülerinnen und Schülern an geowissenschaftlichen Themen*. In: Geographie und ihre Didaktik. Heft 2. S. 57 – 72.

³³⁹ OBERMAIER, G. (1997) *Strukturen und Entwicklung des geographischen Interesses von Gymnasialschülern in der Unterstufe – eine bayernweite Untersuchung*. Dissertation. München. (=Münchner Studien zur Didaktik der Geographie Band 9)

³⁴⁰ HEMMER, I. und HEMMER, M. (1996) *Welche Themen interessieren Jungen und Mädchen am Geographieunterricht? – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung*. In: Praxis Geographie H. 12, S. 41-43.

In Anlehnung an die Matrix zur Erstellung einzelner Items, wie sie von HEMMER et al. (2005) in der Untersuchung zum Schülerinteresse an geowissenschaftlichen Inhalten und Arbeitsweisen verwendet wurde, konnte auch für vorliegende Arbeit eine – wenn auch im Umfang deutlich reduzierte – Matrix verwendet werden (siehe Abbildung 47).

Die Kombination der acht Kontexte mit den zwei Kerngebieten der Untersuchung liefert insgesamt 16 Items zur quantitativen Erfassung des Schülerinteresses (siehe Abbildung 48). Während bei den Kontexten die Matrix von HEMMER et al. (2005) ohne Änderungen übernommen werden konnte, konzentriert sich die Auswahl der Gebiete auf den Kernbereich der Untersuchung, nämlich die Schülerperspektiven zu Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags. Damit ergeben sich folgende Items:

Itemformulierung
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.

Abbildung 48: Itemformulierungen zum Bereich Interesse

Die Fragen zum Interesse werden nach den persönlichen Angaben, jedoch vor die Fragen zu den vorhandenen Vorstellungen gesetzt. Letzteres ist dahingehend sinnvoll, da eine Beeinflussung durch die Fragen zum Interesse auf die Beantwortung zu den Vorstellungen weniger wahrscheinlich ist als der umgekehrte Fall.

4.2.3.1.4. Auswertungsverfahren

„Eine Sichtweise, die quantitative und qualitative Methoden als gleichwertig betrachtet, wirft notwendigerweise die Frage nach der Integration der unterschiedlichen Verfahrensweisen auf.“³⁴¹

Bei der Auswertung einer größeren Menge an Fragebögen muss die Frage nach der methodischen Ausrichtung gestellt werden. Besonderes Augenmerk verdient dabei

³⁴¹ ERZBERGER, C. (1995) *Die Kombination von qualitativen und quantitativen Daten. Methodologie und Forschungspraxis von Verknüpfungsstrategien*. In: ZUMA-Nachrichten, Nr.36, S. 36

die Möglichkeit der Methodentriangulation. DENZIN (1977) unterscheidet folgende Arten der Triangulation³⁴²:

- Datentriangulation: unterschiedliche Datenquellen sollen in einer soziologischen Analyse genutzt werden – es sollen zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten unterschiedliche Personen befragt werden;
- Beobachtertriangulation: sie soll gewährleisten, dass die Datenerhebung nicht durch den Interviewer-Bias verfälscht wird;
- Theoretische Triangulation: die Untersuchung sozialer Phänomene auf der Basis unterschiedlicher Theorien und der sich daraus ergebenden Hypothesen.
- Methodologische Triangulation: DENZIN (1977) unterscheidet zwischen der Triangulation innerhalb einer Methode („within-method“) und der Triangulation zwischen Methoden („across-methods“ oder „between-methods“).

Das ursprüngliche Triangulations-Konzept ist wiederholt kritisiert worden. Heftige (epistemologische und wissenschaftstheoretische) Kritik wurde geübt an der „Idee, durch die Addition methodologischer Herangehensweisen zu einer größeren Validität von Ergebnissen zu gelangen (methodologische Triangulation)“³⁴³. Denn DENZIN (1977) geht davon aus, dass „die Hervorbringung von gleichen Ergebnissen mittels unterschiedlicher Methoden Indikator für hohe interne und externe Validität sei, d.h. empirisch festgestellte Befunde sind unter diesem Gesichtspunkt weniger auf Einsatz der Methoden als auf die Realität zurückzuführen.“³⁴⁴ Übereinstimmende Ergebnisse bei der Anwendung der Methodentriangulation werden damit als kongruent aufgefasst. Da diese Auffassung jedoch nicht mit der konstruktivistischen Sichtweise zu vereinen war, nach der jede Methode nicht einen bestimmten Aspekt eines Phänomens erfasst, sondern dieses konstituiert, musste der ursprüngliche Ansatz der Triangulation gewandelt werden: „Die Ergebnisse stehen dann nicht in einem kongruenten, sondern in einem komplementären Verhältnis zueinander. Es besteht unter diesem Gesichtspunkt allerdings ebenfalls die Möglichkeit, daß die Ergebnisse, die in Widerspruch zueinander stehen, divergent sind.“³⁴⁵

ERZBERGER (1995) sieht die Kombination qualitativer und quantitativer Methoden als iterativen Prozess, der von der übergreifenden Forschungsfrage gesteuert wird: „Das Design der Untersuchung ist somit, als iterativer Prozeß der Verknüpfung von Methoden, mit dem Bau einer Leiter vergleichbar, wobei die beiden Holme die unterschiedlichen Methoden (standardisierte Erhebung und offene Interviews) und die damit jeweils produzierten Ergebnisse darstellen, die durch Sprossen miteinander verbunden werden, und d.h. - soll die Leiter tragfähig sein - in beiden Holmen verankert werden müssen. [...] Die qualitative und quantitative Erhebung gleichermaßen umfassende Forschungsfrage bildet somit - um im Bild zu bleiben - den Kitt, der die einzelnen Teile der Leiter zusammenhält und diese erst begehbar macht.“³⁴⁶

Für die vorliegende Studie soll ERZBERGERS Vorgehensweise zur Kombination qualitativer und quantitativer Daten angewendet werden, wobei ein Schwerpunkt die Konstruktion des qualitativen Samples aus den quantitativen Daten ist (siehe Abbildung 49). Dadurch können entweder gezielt Interviewpartner ausgewählt werden

³⁴² Nach PREIN, G., KELLE, U. und KLUGE, S. (1993) *Strategien zur Integration quantitativer und qualitativer Auswertungsverfahren*. (= Arbeitspapiere des Sfb 186, Nr. 19) Bremen. S. 14-16; dort ist eine wesentlich ausführlichere Darstellung zu finden

³⁴³ PREIN/KELLE/KLUGE (1993) S. 17

³⁴⁴ Zitiert nach ERZBERGER (1995) S. 38

³⁴⁵ ERZBERGER (1995) S. 39

³⁴⁶ ERZBERGER (1995) S. 43-44

oder aber durch ‚systematische Zufallswahl‘ im Nachhinein in die Clusterstruktur eingefügt werden.

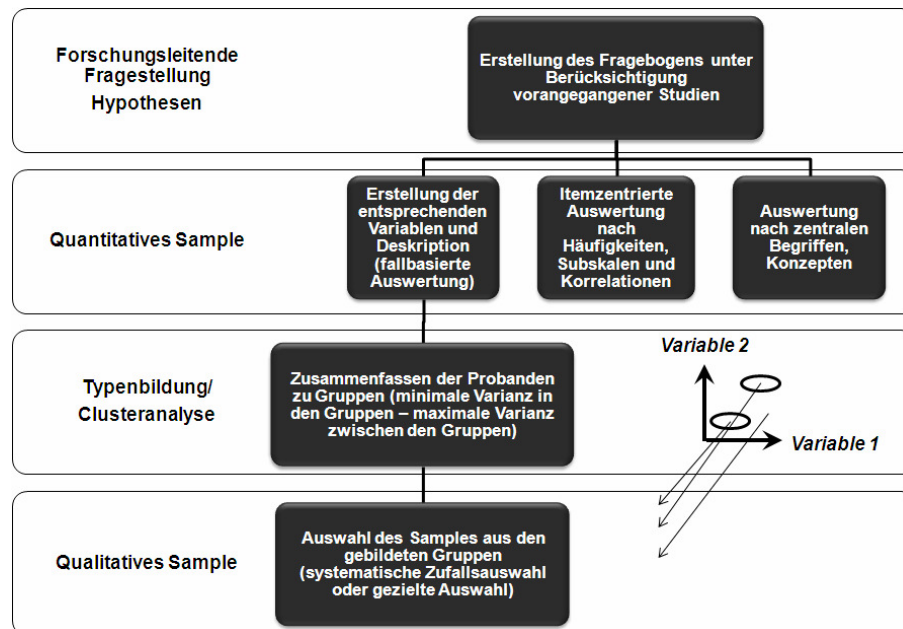


Abbildung 49: Auswertungsverfahren für den Fragebogen³⁴⁷

Bei Fragebögen bietet sich damit grundsätzlich die quantitative Auswertung aufgrund der Datenfülle an. Zu unterscheiden sind hier jedoch die itemzentrierten Auswertungsverfahren von den fallbasierten Auswertungen. Erstere konzentrieren sich auf die Häufigkeiten, mit der Antworten auf ein bestimmtes Item gegeben wurden. Letztere zielen jedoch darauf ab, „dass sie durch die Analyse einer heterogenen Gesamtheit von Fällen eine Anzahl homogener Teilmengen (Typen) zu identifizieren suchen.“³⁴⁸ Die Clusteranalyse bildet dabei in der Regel die Grundlage für die Typenbildung. Dabei steht die horizontale – also fallbasierte – Betrachtungsweise im Vordergrund. Ziel ist die Ermittlung von Ähnlichkeiten und Differenzen der Probanden – die erfolgreiche Typisierung kann dann zur Auswahl und Charakterisierung der Interviewpartner herangezogen werden.

Das Verfahren der Clusteranalyse wurde für die Geographiedidaktik erstmals von UPHUES (2007) durchgeführt, genau beschrieben und in das „[...] methodische Portfolio der geographiedidaktischen Forschung [...]“³⁴⁹ übernommen. Das Ziel von Typenbildungen (und der zugrunde liegenden Methode der Clusteranalyse) „[...] besteht in der gliedernden und ökonomischen Beschreibung des Persönlichkeitsspektrums [...]“³⁵⁰.

In vorliegender Studie wurde für die Clusteranalyse folgendes Vorgehen verwendet:

³⁴⁷ Eigener Entwurf nach ERZBERGER (1995) S. 46

³⁴⁸ UPHUES (2007) S. 118

³⁴⁹ UPHUES (2007) S. 115

³⁵⁰ UPHUES (2007) S. 116

- alle Fragen des Fragebogens zum Bereich der kognitiven Vorstellungen (also nicht zum Interesse, nicht zur Gefahreinschätzung) wurden nach den zwei Dimensionen ‚Komplexität der vorhandenen Vorstellungen‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten‘ analysiert,
- aus den Ergebnissen wurden normalisierte Werte gebildet (es kann maximal Wert 1 für die zwei Dimensionen ‚Komplexität‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten‘ erreicht werden),
- mit den resultierenden Items ‚Komplexität‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten‘ wurde mit SPSS eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt,
- das resultierende Dendrogramm zeigt die Zusammenfassung der Einzelfälle zu immer inhomogeneren Gruppen – daraus lässt sich für die vorliegende Arbeit eine Einteilung in zwei Gruppen ableiten – erzielt wird also eine dichotome Segmentierung, die einer weiteren möglichen Lösung mit vier Clustern aus Gründen der Praktikabilität vorgezogen wird.

Neben der Auswertung der Fragebögen zur Erfassung von Interesse, einfachen Vorstellungen und Gefahreinschätzung – also der Auswertung nach Items – können die Angaben damit auch dazu verwendet werden, eine Auswertung nach Fällen durchzuführen um eine Typologie nach Vorstellungsmustern zu erstellen.

4.2.3.2. Qualitative Verfahren

Interviews stellen die am häufigsten verwendete Methode zur Erhebung von Schülervorstellungen dar. Durch die Möglichkeit, auf Aussagen der Probanden sofort und gezielt reagieren zu können, werden Strukturen von Vorstellungen sichtbar, die bei einer reinen Fragebogen-Untersuchung unberücksichtigt bleiben können. Auch die Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion basieren weitgehend auf Interviews. Auf den Erfahrungen und Ergebnissen dieser Studien aufbauend finden auch zur Erfassung von Schülervorstellungen über Meteoriteneinschläge Leitfaden-Interviews Verwendung.

Da den Interviews in vorliegender Arbeit bereits die Befragung mit Fragebogen vorausgegangen ist, soll die einleitende Frage klären, ob seit dem Ausfüllen des Fragebogens eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Thema stattgefunden hat – oder ob der Fragebogen gar die Ursache für eine Beschäftigung mit der Thematik war. Dies würde zu einer Verzerrung der Untersuchung führen und müsste daher bei der Auswertung der Interviews berücksichtigt werden. Dies betrifft vor allem den Bereich von Meteoriteneinschlägen als Phänomen an sich, über das nicht mehr gesprochen werden kann, da die Schüler durch den Fragebogen alle mit dem Thema in Kontakt waren. Jedoch fällt dieser Nachteil für die vorliegende Untersuchung nicht ins Gewicht, da eine Konzentration auf die Prozessebene der Thematik vorgenommen wird.

4.2.3.2.1. Aufbau des Interview-Leitfadens

An erster Stelle eines Interviews muss die Erklärung des Probanden stehen, an der Befragung freiwillig teilzunehmen. Der Hinweis des Interviewers, dass eine Unterbrechung oder das Beenden des Interviews zu jeder Zeit möglich ist, wird dem angeschlossen. In Anlehnung an BORTZ/DÖRING (2002) sind „Akzeptanzprobleme auf

*Seiten der Befragten möglichst im Vorfeld abzubauen.*³⁵¹ Dies geschieht – besonders im schulischen Umfeld - auch durch die Einrichtung einer angenehmen Gesprächssituation auf freiwilliger Basis. Der Interview-Leitfaden (siehe Anhang) richtet sich nach dem von GROPENGIESSER (1997)³⁵² verwendeten Leitfaden, der detailliert die Interventionen durch den Interviewer, die erwartete Reaktion der Befragten und Bemerkungen und Hinweise (zum Beispiel über die verwendeten Materialien) beinhaltet.

Für die vorliegende Studie war es zudem notwendig, den Einfluss des Fragebogens auf die Interviewsituation zu erfassen. Da der Fragebogen durchaus das Interesse der Probanden hätte wecken können, musste eine eventuelle Auseinandersetzung mit dem Thema ‚Impakte‘ in der Zeit zwischen dem Ausfüllen des Fragebogens und dem Interview berücksichtigt werden. Daher werden die Probanden vor Beginn der eigentlichen Befragung nach einer möglichen Auseinandersetzung mit der Impaktthematik aufgrund des Fragebogens befragt. Eine positive Antwort kann dann in die Auswertung der Interviews einfließen.

Mit der Vorlage eines Bildes, der künstlerischen Darstellung eines großen Meteoriteneinschlags und der offenen Frage nach dem, was den dort passiere, beginnt die eigentliche Auseinandersetzung mit dem Thema Meteoriteneinschläge. Dabei werden keine Termini oder Konzepte in die Interviews hineingetragen – dies ist ein entscheidendes Kriterium für die Aussagekräftigkeit der Interviews. Erwartet wird eine allgemeine Beschreibung eines Meteoriteneinschlags – diesen Vorstellungen gilt es mit gezielten Fragen nachzugehen:

- Art und Geschwindigkeit des einschlagenden Objekts,
- Energie beim Einschlag,
- Unterschiedliche Auswirkungen bei verschiedenen großen Objekten,
- Unterschiede bei Einschlägen auf Land oder im Meer,
- Einflüsse anderer Faktoren (wie der Ozonschicht).

Während die ersten drei Teilfragen aus der Fachlichen Klärung entstanden sind (Ablauf eines Einschlags), gehen die beiden letzten Fragen bereits auf die Auswertung der Fragebögen zurück – dort konnte häufig ein Festhalten an immer ähnlichen Auswirkungen und eine häufige Nennung der Ozonschicht als beeinflussenden Faktor festgestellt werden. Diese Ergebnisse können nun durch die Interviews überprüft werden – jedoch ist dabei wichtig, dass dies nicht einer Verifizierung gleichzusetzen ist – im Rahmen der Methodentriangulation soll vielmehr darauf geachtet werden, ob die Ergebnisse komplementär zueinander stehen oder divergent sind. Zur internen Triangulation wird zum Bereich ‚Ablauf eines Einschlags‘ abschließend eine nochmalige Zusammenfassung der Vorstellungen von den Probanden gewünscht³⁵³ - dabei können nun gezielt die Begriffe, die von Seiten des Probanden genannt wurden, wieder verwendet werden. Bei den Einstiegsfragen ist hingegen darauf zu achten, dass nicht zu viele Begriffe oder gar Konzepte in die Interviewsituation importiert werden.

Parallel wird zum Bereich ‚Auswirkungen eines Einschlags‘ verfahren: die eröffnenden und abschließenden Fragen gehen auf die zusammenfassende Darstellung der Vorstellungen ein. Dabei wird zum Einstieg das Cover des Films ‚Deep Impact‘ verwendet, das einen Tsunami als mögliche Auswirkung abbildet – der Begriff wird je-

³⁵¹ BORTZ/DÖRING (2002) S. 310

³⁵² GROPENGIESSER (1997) S. 135

³⁵³ Siehe auch GROPENGIESSER (1997) S.134

doch nicht ins Interview hineingetragen. Detaillierter eingegangen wird auf den Unterschied zwischen kleineren und größeren Einschlägen – hier stehen die Vorstellungen zu den globalen Auswirkungen im Mittelpunkt. Auch hier wird versucht, zentrale fachwissenschaftliche Begriffe und Konzepte wie etwas den ‚Nuklearen Winter‘ nicht durch den Interviewer zu nennen, sondern den Schülern die Präsentation ihrer Vorstellungswelt zu ermöglichen. Daher schließen sich offene Fragen nach den möglichen Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere und den möglichen Maßstab eines Impakts an. Mit der Frage nach der Notwendigkeit einer Auseinandersetzung mit dem Impakt-Risiko durch Politik und Versicherungen wird der Bereich zu den kognitiven Vorstellungen ein letztes Mal konkretisiert – danach sollen die Interviewpartner wiederum (zur internen Triangulation) eine Zusammenfassung ihrer Konzepte geben. Der Abschnitt zum geologischen Zeitbewusstsein und den affektiven Vorstellungen wird eingeleitet durch den Hinweis auf das Aussterben der Dinosaurier – hier können noch einmal analog zum Fragebogen Vorstellungen zur geologischen Zeitskala erhoben werden. Die Fragen nach der Wahrscheinlichkeit eines Einschlags und der Vergleich mit anderen Gefahren sollen über die reine Gefahreinschätzung hinaus die dahinter liegenden Abwägungen und Rationalisierungen der Schüler beleuchten. Damit wird eine Brücke geschlagen zwischen den kognitiven und affektiven Bereichen der Vorstellungen.

Das Interview endet mit der Möglichkeit für die Probanden, Fragen an den Interviewer zu richten, sowie dem abschließenden Dank für die Teilnahme an der Untersuchung.

Für ihre Teilnahme sollten Interviewpartner mit einer Kleinigkeit im Nachhinein entlohnt werden – immerhin haben sie für längere Zeit für eine intensive Befragung zur Verfügung gestanden.

4.2.3.2.2. Auswertungsverfahren

Die Auswertung der Interviews erfolgt nach dem in den Studien zur Didaktischen Rekonstruktion verwendeten Muster der qualitativen Auswertung in fünf Schritten:

- **Transkribierung der Interviews:** Die Tonbandprotokolle werden verschriftlicht; dabei werden nur diejenigen Passagen verwendet, die für die Inhaltsanalyse relevant sind; die einleitenden Worte des Interviewers oder abschweifende Plaudereien (falls vorgekommen), werden dabei weggelassen; erste grammatikalische und dialektale Anpassungen werden vorgenommen; das Transkript wird in zwei Spalten geteilt: Interventionen des Interviewers und transkribierte Antworten der Probanden; Hinweise auf nicht-verbale Eingriffe (z.B. Vorlage von Materialien) werden in eckigen Klammern in der Spalte der Interventionen gekennzeichnet;
- **Redigierung:** Die Transkripte werden auf die für die Fragestellung relevanten Schüleräußerungen reduziert; die Fragen des Interviewers werden dabei entfernt, bzw. in die Antwort der Probanden integriert; die Sprache wird weiter standardisiert, jedoch ohne Begriffe oder Aussagen zu Zusammenhängen zu verändern; die redigierte Fassung der Interviews wird in einer weiteren Spalte direkt neben die Original-Transkripte zum direkten Vergleich gestellt;
- **Ordnung der Aussagen:** Die redigierten Aussagen werden thematischen Kategorien zugeordnet; folgende Hauptkategorien werden verwendet: Vorstellungen zum Ablauf eines Einschlags, Vorstellungen zu den Auswirkungen eines Einschlags, Vorstellungen zur geologischen Zeitskala und der Wahrscheinlichkeit von Impakten;

- Explikation: Die Interpretation der Aussagen findet hauptsächlich in der Explikation statt; die Vorstellungen der Schüler werden nach ihrer Kohärenz, Komplexität und unter sprachlichen Aspekten analysiert; da die Ursprünge der Vorstellungen sowie Persönlichkeitsmerkmale und Interessen bereits im Fragebogen detailliert erfasst wurden, wird in der Explikation auf diese Angaben zurückgegriffen;
- Strukturierung: die Schülervorstellungen werden als Konzepte zusammenfassend formuliert; auf der Konzeptebene lassen sich die Schülervorstellungen nun sowohl untereinander als auch mit den Vorstellungen der Wissenschaftler vergleichen³⁵⁴.

Die fachliche Themenzuordnung (Ablauf, Auswirkungen, Abwehr und Wahrscheinlichkeit eines Einschlags, geologische Zeitskala) wird in jedem Auswertungs-Schritt durchgeführt.

Dass die Ergebnisse der qualitativen Studie durchaus für verallgemeinernde Aussagen verwendet werden können, zeigen JANSSEN/BARTELS (2004), die zwischen Verallgemeinerung und Repräsentativität unterscheiden.

Weiterhin müssen auch für qualitative Interviews die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität beachtet werden. Um die Kriterien bestmöglich zu erfüllen, wurde eine Reihe von Maßnahmen getroffen:

- Auswahl der Interviewpartner durch vorherige Typisierung mit Hilfe der quantitativ ausgewerteten Fragebögen,
- Verwendung des Interviewleitfadens, der dem Interviewverlauf Struktur verleiht und auf Vergleichbarkeit der verschiedenen Interviews abzielt,
- Dokumentation aller interpretativen Eingriffe in die Transkripte zur besseren Transparenz des Auswertungsverfahrens,
- Anfertigen der Transkripte durch eine geschulte Arbeitskraft und anschließende gemeinsame Durchsprache der Transkripte.

Mit den genannten theoretischen und untersuchungspraktischen Maßnahmen ist die Basis für die Durchführung qualitativer Interviews sowohl im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion als auch im Zusammenspiel mit quantitativen Ergebnissen geschaffen.

4.2.4. Anmerkungen zur Durchführung

4.2.4.1. Quantitative Studie

Die Versendung der Fragebögen fand nach der schriftlichen Genehmigung durch das bayerische Kultusministerium (VI.8 - 5 O 5106 - 6.18040) im März und April 2007 statt, da der Erhebung von Schülervorstellungen über Meteoriteneinschläge erhebliches pädagogisch-wissenschaftliches Interesse beigemessen wurde.

Folgende Schulen haben sich mit je zwei 5. und 11. Klassen an der Untersuchung beteiligt³⁵⁵ (siehe Abbildung 50):

³⁵⁴ Zu den einzelnen Arbeitsschritten siehe auch ILLNER (2000) S. 17-18

³⁵⁵ Den beteiligten Direktorien, Lehrern, Schülern und Eltern gilt noch einmal höchster Dank; den teilnehmenden Geographiekollegien wurde ein umfangreiches Dankeschön-Paket zuge-

- Karlsgymnasium Bad Reichenhall
- Theodor-Heuss-Gymnasium Nördlingen
- Dante-Gymnasium München
- Gabelsberger-Gymnasium Mainburg
- Schiller-Gymnasium Hof

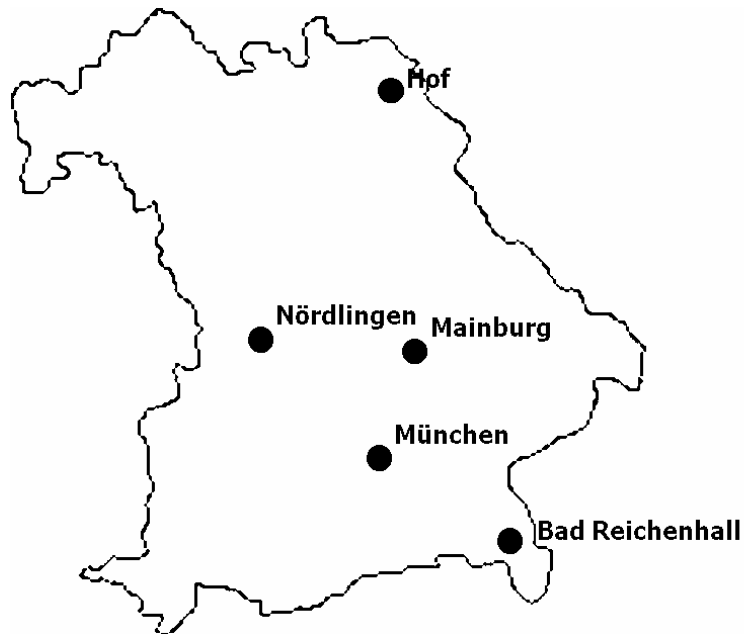


Abbildung 50: Übersicht über die an der Hauptstudie teilnehmenden bayerischen Gymnasien

Die Schulen wurden zufällig ausgewählt, einzig das Theodor-Heuss-Gymnasium in Nördlingen war präferierter Partner aufgrund der Lage im Meteoritenkrater Nördlinger Ries. Aus der Beschränkung der Anzahl der Fragebogenanzahl auf 400 ergibt sich folgende Verteilung:

	Ort	Anzahl	Prozent
	Bad Reichenhall	72	18,0
	Hof	104	26,0
	Mainburg	101	25,3
	München	15	3,8
	Nördlingen	108	27,0
	Gesamt	400	100,0

Abbildung 51: Verteilung der Stichprobe (Hauptstudie) nach Orten

stellt, dass die CRATER-Simulation und die vollständige Unterrichtseinheit der Pilotstudie mit Folien, Arbeitsblättern und Materialien umfasst

Bei der Auswahl der Orte wurde im Speziellen ein Gymnasium in Nördlingen im Rieskrater mit einbezogen, da hier andere Interessensverteilungen und Vorstellungsmuster zu erwarten sind. Gerhard Berz sieht den Zusammenhang so: „*Man müsste das Interesse in der Nähe von Nördlingen mit anderen Orten vergleichen. Das Interesse sollte weiter weg von Nördlingen geringer sein. Das könnte ein Beleg für die Wirkung des Museums in Nördlingen sein. Daher der Vorschlag, die Ortsabhängigkeit von Interesse und Vorstellungen zu testen.*“ (Interview Berz, Frage 7a). Die Klassen wurden vom jeweiligen Fachbetreuer vor Ort gewählt. Bei der Klassenstufe wurde auf den vorhandenen Lehrplanbezug (für das Gymnasium in Bayern in den Klassen 5 und 11, siehe Kapitel 5.1) der Impakt-Thematik Rücksicht genommen. Die Altersverteilung nach Klassenstufe ergibt ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis von Unterstufe (Klasse 5) und Oberstufe (Klasse 11), so dass die Klassenstufe als unabhängige Variable herangezogen werden kann. Die Mehrzahl der Schüler der Stichprobe sind elf, bzw. 17 Jahre alt, wobei in der Unterstufe lediglich eine Spanne von zehn bis zwölf Jahren zu beobachten ist, während die Oberstufe vier Jahrgänge im Alter von 16 bis 19 umfasst.

Klasse	Anzahl	Prozent
5	207	51,8
11	193	48,3
Gesamt	400	100,0

Abbildung 52: Verteilung der Stichprobe (Hauptstudie) nach Klassenstufe

Alter	Anzahl	Prozent
10	39	9,8
11	159	39,8
12	9	2,3
16	26	6,5
17	127	31,8
18	31	7,8
19	9	2,3
Gesamt	400	100,0

Abbildung 53: Altersverteilung der Stichprobe (Hauptstudie)

Wiederum zentral für quantitative Auswertungsverfahren ist das Geschlechterverhältnis der Stichprobe. Mit einer Verteilung von 211 weiblichen und 189 männlichen Schülern ist auch hier eine Dichotomisierung möglich – Vorstellungen und Interesse können also in ihrer Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden dargestellt werden.

Geschlecht	Häufigkeit	Prozent
Männlich	189	47,3
Weiblich	211	52,8
Gesamt	400	100,0

Abbildung 54: Geschlechterverteilung der Stichprobe (Hauptstudie)

Die Befürchtung, Schüler können bei erstmaliger Konfrontation mit einem ausführlichen und detaillierten Fragebogen große Lücken offen lassen, hat sich bei der Durchführung der Untersuchung nicht bestätigt. Zentral hierfür ist jedoch zum einen eine kurze Beschreibung der Ziele der Untersuchung auf dem Fragebogen selbst (Information an die Schüler), sowie eine Anleitung für die teilnehmenden Lehrkräfte in einem detaillierten Anschreiben.

Insgesamt wurden 600 Fragebögen versendet, der Rücklauf betrug ca. 510 Stück (85%). Dies lässt sich zum einen mit dem offensichtlich großen Interesse an der Thematik erklären, zum anderen aber auch mit der Frontstellung der Fragen zu persönlichen Daten. So wurde sichergestellt, dass die Angaben zu Alter und Geschlecht sicher ausgefüllt werden und damit der Fragebogen statistisch verwertbar ist.

Die im Anschluss durchgeführte Clusteranalyse mit einem Großteil des Datensatzes (es wurden 400 Fragebögen für die Auswertung herangezogen) erlaubt die zielgerichtete Auswahl von Interviewpartnern. Die entsprechenden Schulen wurden telefonisch gebeten, die Interviews zu ermöglichen.

4.2.4.2. Qualitative Studie

Die Interviewpartner wurden durch die Einordnung in die Vorstellungs-Matrix bereits im Vorfeld charakterisiert oder können – bei zufälliger Auswahl – anschließend in der Matrix geortet werden.

Die Interviews stellen eine ungewohnte Situation für den Befragten dar – muss man doch schwierige Fragen beantworten, während ein Diktiergerät alles aufzeichnet. Diese Situation wird durch eine ruhige und ansprechende Interviewatmosphäre kompensiert. Der einleitende Text zu den Interviews verweist auf die zentralen Punkte der Freiwilligkeit und Anonymität.

Die an der quantitativen Studie beteiligten Gymnasien hatten sich auch bereit erklärt, mögliche Interviews mit ihren Schülern zu gestatten. Da durch die Verortung der Probanden in der Vorstellungs-Matrix eine Vorauswahl möglich war, konnte die Anzahl der Schulen auf zwei reduziert werden.

Insgesamt wurden im Juli 2007 fünf Interviews durchgeführt, davon drei in Bad Reichenhall und zwei in Nördlingen – dabei kann in der Analyse der Interviews auf den Einfluss des Ortes Rücksicht genommen werden. Zudem konnte erreicht werden, dass mit drei Mädchen und zwei Jungen aus der 5. und 11. Jahrgangsstufe eine heterogene Stichprobe befragt wurde (siehe Abbildung 55).

	Mädchen	Jungen
Klasse 5	2 (Nördlingen und Bad Reichenhall)	1 (Bad Reichenhall)
Klasse 11	1 (Nördlingen)	1 (Bad Reichenhall)

Abbildung 55: Verteilung der Interviewpartner nach Klassenstufe, Geschlecht und Schulort (Hauptstudie)

Alle Interviews wurden in einem ruhigen Besprechungszimmer abseits des Unterrichtsbetriebs in angenehmer Atmosphäre durchgeführt – hier ist nochmals den beteiligten Schülern zu danken. Für die Durchführung wurden je Interview ca. 30-45 Minuten benötigt.

4.2.5. Ergebnisse der empirischen Studie

4.2.5.1. Ergebnisse der quantitativen Studie

4.2.5.1.1. Kognitive Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen

4.2.5.1.1.1. Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags

Für die Erhebung kognitiver Vorstellungen zu Ablauf und Auswirkungen eines Impakts wurden im Fragebogen nach den einführenden offenen Fragen 33 Multiple-Choice-Fragen verwendet. Die 33 Fragen decken alle relevanten Bereiche der Impakt-Thematik aus naturgeographischer und humangeographischer Perspektive ab. Zur – jedoch nicht zentralen – Frage nach dem Antwortverhalten der Probanden wurden einige Fragen direkt oder indirekt (durch Umpolung der Aussage) dupliziert. Hierbei zeigen sich konstante Muster bei der Beantwortung der Fragen: Items 5.13 und 5.27 („Forscher arbeiten an der Abwehr von Meteoriten“) wurden ohne signifikante Unterschiede durchlaufen – der Prozentsatz an Antworten entsprechend der wissenschaftlichen Sichtweise deckt sich sogar vollständig. Weitere Items (z.B. 5.1 und 5.14 zur Frage, ob Meteoriteneinschläge bereits in der Erdgeschichte aufgetreten sind) zeigen ein ähnliches Muster hochsignifikanter Ähnlichkeiten. Zentraler Aspekt der Multiple-Choice- Fragen ist jedoch die quantitative Erfassung von Komplexität und Nähe zu wissenschaftlichen Modellen der Schülervorstellungen. Abbildung 56 fasst die Ergebnisse auf Itemniveau zusammen.

Nummer	Item	Nicht der wissenschaftlichen Sicht entsprechend beantwortet	Mit "Weiß nicht" beantwortet	Der wissenschaftlichen Sicht entsprechend beantwortet
5.1	Es hat auf der Erde schon Meteoriteneinschläge gegeben.	1,5	2,8	95,8
5.2	Bei einem Meteoriteneinschlag wurden schon einmal Menschen getötet.	48,0	34,3	17,8
5.3	Ein Meteoriteneinschlag kann einen Tsunami (große Welle) auslösen.	7,0	19,8	73,3
5.4	Meteoriten sind viel schneller als Düsenflugzeuge.	4,3	15,8	80,0
5.5	Versicherungen sorgen auch für einen Meteoriteneinschlag vor.	37,5	55,3	7,3
5.6	Bei einem Meteoriteneinschlag schmilzt das getroffene Gestein.	6,5	29,5	64,0

5.7	Meteoriteneinschläge können zu Massensterben auf der Erde führen.	11,3	24,5	64,3
5.8	Mit einem Teleskop kann man Meteoriten bereits lange vor ihrem Einschlag sehen.	21,5	28,0	50,5
5.9	Ein Meteoriteneinschlag löst schwere Stürme und Tornados aus.	42,3	41,0	16,8
5.10	Meteoriten sind ungefähr so schnell wie Autos, wenn sie auf die Erde treffen.	4,8	12,5	82,8
5.11	Die Dinosaurier sind durch einen Meteoriteneinschlag ausgestorben.	23,0	24,0	53,0
5.12	Der Einschlag eines Meteoriten könnte die ganze Menschheit gefährden.	18,0	22,3	59,8
5.13	Forscher arbeiten an der Abwehr von Meteoriten.	3,3	31,8	65,0
5.14	Meteoriteneinschläge sind in der Erdgeschichte nicht vorgekommen.	3,3	6,3	90,5
5.15	Ein Meteoriteneinschlag kann einen Planeten vollständig zerstören.	41,8	28,5	29,8
5.16	Gefährliche Meteoriten kann man heute bereits abschießen.	15,0	40,5	44,5
5.17	Meteoriten kommen aus unserem Sonnensystem.	15,5	30,5	54,0
5.18	Bei einem Meteoriteneinschlag entsteht eine starke Druckwelle.	2,0	15,0	83,0
5.19	Es gibt Meteoritenkrater in Bayern.	7,0	29,3	63,8
5.20	Einige Meteoritenkrater auf der Erde sind fast so groß wie das Bundesland Bayern.	24,5	43,0	32,5
5.21	Beim Einschlag sind Meteoriten bis zu eintausend Mal schneller als Autos.	6,5	24,8	68,8
5.22	Ein Meteoriteneinschlag kann schlimmere Folgen haben als eine Atombombe.	13,5	28,5	58,0
5.23	Meteoriten sind Kometen und Asteroiden.	21,3	42,0	36,8
5.24	Meteoriten können bis zum Erdmittelpunkt einschlagen.	12,3	39,0	48,8
5.25	Meteoriteneinschläge können verheerender sein als Erdbeben.	3,5	17,3	79,3
5.26	Bei einem Meteoriteneinschlag wird das Gestein so heiß, dass es schmilzt.	5,0	28,8	66,3
5.27	Forscher arbeiten an der Abwehr von Meteoriten.	4,5	30,5	65,0
5.28	Ein Vulkanausbruch ist zerstörerischer als der größte Meteoriteneinschlag.	6,0	24,3	69,8
5.29	Ein Meteorit von 50 m Durchmesser kann eine ganze Stadt (z.B. München) zerstören.	11,5	25,8	62,8
5.30	Wenn ein Komet auf die Erde trifft, dann nennt man ihn Meteorit.	13,3	46,8	40,0
5.31	Ein Meteoriteneinschlag kann die Weltwirtschaft zusammenbrechen lassen.	19,0	39,0	42,0
5.32	Ein Meteoriteneinschlag in Nürnberg kann auch München vollständig zerstören.	26,3	39,8	34,0
5.33	Es gibt jedes Jahr kleinere Meteoriteneinschläge, die nur keiner wahrnimmt.	15,8	31,0	53,3

Abbildung 56: Ergebnisse der Multiple-Choice-Fragen zu kognitiven Vorstellungen (Gesamtstichprobe)

Im Durchschnitt wurden die 33 Multiple-Choice-Fragen zu den Vorstellungen zu 15,0% entgegen der wissenschaftlichen Sichtweise beantwortet; 28,8% der Antwort-

ten zählen zur Kategorie ‚weiß nicht‘ und verweisen damit auf eine geringere Komplexität der Vorstellungen. 56,1% der Fragen wurden entsprechend den wissenschaftlichen Konzepten angegeben – über die Hälfte der Schüler hat somit bei den Multiple-Choice-Fragen Vorstellungen entsprechend der wissenschaftlichen Konzepte geäußert.

Die Ergebnisse einzelner Items zeigen, dass 95,8% der Schüler davon ausgehen, dass es auf der Erde schon Meteoriteneinschläge gegeben hat (Frage 5.1). Diese äußerst hohe Zahl ist zudem bemerkenswert, als die Impakt-Hypothese erst seit 28 Jahren in größerem Rahmen in der Fachwissenschaft zur Diskussion steht – die Streuung dieses Konzepts hat somit sehr schnell und breitenwirksam stattgefunden. Dass dahingegen nur 53% der Befragten das Aussterben der Dinosaurier durch einen Meteoriteneinschlag erklären (Frage 5.11), lässt sich damit begründen, dass viele Schüler ‚weiß nicht‘ angekreuzt und als Zusatzbemerkung ‚da ist man sich noch nicht sicher‘ angegeben haben – die wissenschaftliche Kontroverse schlägt sich hier damit direkt in der Vorstellungswelt der Schüler nieder. Andererseits zeigt sich auch die Problematik der 3-stufigen Antwort-Skala, die hier an ihre Grenzen stößt.

Gefragt nach den Begriffen Asteroid, Komet und Meteorit (Fragen 5.23 und 5.30) geben 42,0% (respektive 46,8%) der Schüler ein ‚weiß nicht‘ an – es zeigt sich, dass viele Schüler die Begriffe zwar kennen (und in den freien Antworten zuvor auch verwenden), sie jedoch nicht näher definieren oder in ihrer wissenschaftlichen Bedeutung erkennen können – diese Ergebnisse decken sich mit LIBARKIN et al. (2005) und der Vorstudie.

Einige weitere Items fallen auf, die nur geringe Übereinstimmung von wissenschaftlichen Konzepten und Schülervorstellungen andeuten:

Dass bei einem Meteoriteneinschlag schon einmal Menschen getötet wurden (Frage 5.2), verneinen nur 17,8% der Schüler – jedoch ist bisher kein Todesfall wissenschaftlich belegbar³⁵⁶.

Dass Versicherungen auch für einen Meteoriteneinschlag vorsorgen (Frage 5.5) glauben 7,3% der Schüler – jedoch ist hier die Angabe von ‚weiß nicht‘ mit 55,3% der höchste Wert aller Multiple-Choice-Fragen. Ein ähnliches Item in der Skala zum Bereich Interesse zeigt ebenfalls geringe Werte – hier kann ein Zusammenhang zwischen Vorstellungen und Interesse auf Itemniveau angenommen werden.

Zur Frage, ob ein Meteoriteneinschlag schwere Stürme und Tornados auslöst (Frage 5.9), geben 16,8% der Probanden eine der wissenschaftlichen Konzeption entsprechende Antwort. Auch die beiden Fragen nach der Größe eines Kraters (‚Einige Meteoritenkrater auf der Erde sind fast so groß wie das Bundesland Bayern.‘ (Frage 5.20), sowie ‚Ein Meteoriteneinschlag in Nürnberg kann auch München vollständig zerstören.‘ (Frage 5.32)) werden nur von 32,5% (respektive 34,0%) der Schüler d'accord zur Fachperspektive beantwortet.

Zusammenfassend lässt sich bei den Multiple-Choice-Fragen die Tendenz zu einer Beantwortung in Richtung der wissenschaftlichen Konzepte erkennen – jedoch zeigen sich große Unterschiede in den Vorstellungen zu den einzelnen Teilbereichen der Impakt-Thematik.

Dem Multiple-Choice-Komplex schließen sich zwei offene Fragen nach den Namen bekannter Krater und der Nennung von Einflussfaktoren auf die Kratergröße an. Dabei zielt die erstgenannte Frage auch auf die vorhandenen Vorstellungen zum Heimatraum – die in der Studie befragten bayerischen Schüler haben mit dem Nördlinger Ries einen weltweit bekannten Krater in ihrer Umgebung. Die Frage nach den

³⁵⁶ Auch wenn man mit Sicherheit davon ausgehen muss, dass zum Beispiel das Tunguska-Ereignis 1908 eine Vielzahl von Opfern gefordert hat

Einflussfaktoren auf die Kratergröße wiederum kann zeigen, inwieweit Schüler multi-kausale Systemzusammenhänge im Rahmen der Imakt-Thematik erfassen können.

Die Nennung der Krater betreffend zeigt sich, dass von 40,8% der Schüler kein Krater genannt werden kann. 48,0% der Schüler können einen Krater nennen, weitere 9,5% zwei Imakt-Strukturen. Drei Krater werden von 1,8% der Schüler genannt (siehe Abbildung 57). Von den über 170 bestätigten Imakt-Strukturen auf der Erde ist damit nur ein kleiner Bruchteil den Schülern bekannt.

Dabei nimmt das Nördlinger Ries in der Befragung eine Sonderstellung ein, denn es konnte von allen Schülern aus Nördlingen genannt werden – somit gehen 108 Nennungen des Nördlinger Ries auf die Auswahl der Probanden zurück. Hier zeigt sich besonders die Auswirkung der lokalen Nähe einer geographischen Struktur auf die Vorstellungen der Schüler – häufige Antwort auf die Frage nach bekannten Kratern war: „Ich wohne in einem!“. Außerhalb des Ries wurde die größte Imaktstruktur Mitteleuropas von 107 Schülern erwähnt.

Anzahl der Krater	Häufigkeit	Prozent
0	163	40,8
1	192	48,0
2	38	9,5
3	7	1,8
Gesamt	400	100,0

Abbildung 57: Anzahl der von Schülern genannten Krater auf der Erde (Gesamtstichprobe)

Von 30 Schülern wurde der Chicxulub-Krater auf der Halbinsel Yucatan genannt – jedoch nicht mit seinem wissenschaftlichen Namen sondern durch geographische und geohistorische Einordnung wie „der in Mexiko“, „Yucatan-Insel“ und „der für das Aussterben der Saurier verantwortlich ist“.

Weitere genannte Krater sind der Barringer-Krater in Arizona, der von einem Schüler mit dem korrekten Namen genannt wurde und neun Schülern als der Krater „in Arizona“ bekannt war.

Nennungen hat auch der Chiemgau-Imakt erhalten – hier ist jedoch wissenschaftlich noch nicht geklärt, ob es sich tatsächlich um einen Krater (bzw. Streufeld) handelt. Nichts desto trotz haben sechs Schüler aus Bad Reichenhall Kenntnis von der Theorie des Tüttensees als Imaktstruktur und verwenden dabei Begriffe wie „Chiemgau-Krater“, „Tüttensee“ und „Nähe Chiemsee“.

Der Tunguska-Vorfall aus dem Jahr 1908 wird von drei Schülern (aus Mainburg, Hof und Bad Reichenhall) erwähnt.

Das Steinheimer Becken als kleinerer Krater in Nachbarschaft zum Nördlinger Ries schließlich wird von einem Schüler aus Bad Reichenhall genannt.

Zusammenfassend kann damit festgehalten werden, dass das Nördlinger Ries aufgrund seiner lokalen Nähe vielen Schülern bekannt ist. Jedoch kann ansonsten nur ein kleiner Bruchteil der Imakt-Strukturen – wie etwa der Chicxulub-Einschlag – von den Schülern genannt werden. Das Tunguska-Ereignis, das eine zentrale Rolle in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung einnimmt, ist nahezu unbekannt.

Zwar sind diese Ergebnisse im Rahmen der Erhebung von Vorstellungen als sehr einfache Namens-, bzw. Begriffsnennungen zu sehen. Jedoch wirken sich diese eher einfachen Kenntnisse auf komplexere Denkstrukturen, wie zum Beispiel den Vorstellungen zur Wahrscheinlichkeit eines Einschlags heute, aus.

Die Frage nach den Einflussfaktoren auf die Kratergröße weitet den Rahmen der Befragung hin zu systemischen Vorstellungen der Schüler. Denn um bestimmende Faktoren nennen zu können, müssen Schüler Vorstellungen über das Zusammenwirken verschiedener Ausgangsparameter haben. So kann ein langsamer Asteroid einen ähnlichen Krater erzeugen wie ein wesentlich schnellerer Komet – aufgrund seiner höheren Dichte. Der Ablauf eines Einschlags hängt von einer Vielzahl von Ausgangsbedingungen ab, jedoch können für die Auswertung der Schülervorstellungen einige zentrale Faktoren herausgegriffen werden (siehe Abbildung 58).

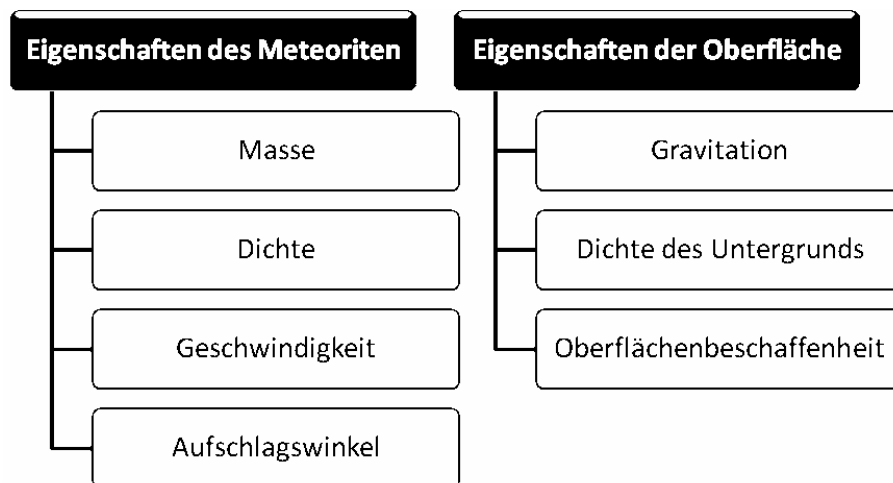


Abbildung 58: Wesentliche Einflussfaktoren auf die Kratergröße³⁵⁷

Die Ergebnisse der Fragebogenauswertung zeigen, dass 20,3% der Schüler keine Ideen haben, welche Faktoren auf die Kratergröße einwirken. 46,9% geben eine einzige Einflussgröße an, 24,3% zwei Faktoren. 6,3% der Schüler können drei Größen nennen und 2,3% sogar vier zutreffende Faktoren (siehe Abbildung 59).

Anzahl der Faktoren	Anzahl	Prozent
0	81	20,3
1	187	46,8
2	97	24,3
3	25	6,3
4	9	2,3
Gesamt	399	99,8

Abbildung 59: Anzahl der von Schülern genannten Einflussfaktoren auf die Kratergröße (Gesamtstichprobe)

Der bei weitem am häufigsten genannte Einflussfaktor ist dabei die Größe des Meteoriten (271 Nennungen). Die Geschwindigkeit des Impaktors nennen 93 Schüler, wohingegen die Beschaffenheit des getroffenen Untergrunds und die Atmosphäre von je 22 Schülern als Einflussfaktor erkannt werden. Die Dichte des Meteoriten

³⁵⁷ Quelle: eigener Entwurf

nennen 17 Schüler und den Aufschlagswinkel schließlich nur 9 Probanden. Zusammen mit den rein quantitativen Ergebnissen, dass nahezu die Hälfte der Schüler nur einen Einflussfaktor nennt, kann man durchaus auf ein monokausales Denken in Bezug auf die physikalischen Vorgänge bei einem Einschlag schließen.

Im Anschluss an die Frage nach den Einflussfaktoren auf die Kratergröße werden durch zwei Multiple-Choice-Fragen Konzepte zu den Auswirkungen eines Einschlags erfasst. Die Probanden können ihre Vorstellungen zur Reichweite eines bestimmten Impaktors angeben, wobei Art und Geschwindigkeit vorgegeben werden (siehe Abbildung 60 und Abbildung 61).

Meteorit mit 50 Metern Durchmesser, Einschlag auf Land.	Häufigkeit	Prozent
Kein Krater, keine nennenswerten Auswirkungen	8	2,0
Krater mit 60 km Durchmesser, weit reichende Schäden durch Hitze und Staub	99	24,8
Krater mit 1 km Durchmesser, Zerstörung im Umkreis von 20 km	180	45,0
Krater 5000 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Zerstörung der Erde	16	4,0
Krater 200 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Massensterben	20	5,0
Weiß nicht	77	19,3

Abbildung 60: Schülervorstellungen zu Auswirkungen eines Meteoriten mit 50 Metern Durchmesser, Multiple-Choice-Frage (Gesamtstichprobe)

Für das vorgegebene Szenario mit einem Meteoritendurchmesser von 50 Metern konnten 19,3% der Probanden keine Angaben machen. Die Angabe ‚weiß nicht‘ wird in der fallbasierten Auswertung wieder als Indikator für die Komplexität der Vorstellungen verwendet. Die der wissenschaftlichen Sicht entsprechende Antwort (Krater mit 1 km Durchmesser, Zerstörung im Umkreis vom 20 km) haben 180 Schüler (45,0%) gegeben. Als zweithäufigste Antwort wurde die Option eines Kraters mit 60 Kilometern von 99 Schülern (24,8%) gewählt.

Meteorit mit 10 Kilometern Durchmesser, Einschlag auf Land.	Häufigkeit	Prozent
Kein Krater, keine nennenswerten Auswirkungen	3	0,8
Krater mit 60 km Durchmesser, weit reichende Schäden durch Hitze und Staub	74	18,5
Krater mit 1 km Durchmesser, Zerstörung im Umkreis von 20 km	19	4,8
Krater 5000 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Zerstörung der Erde	72	18,0
Krater 200 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Massensterben	147	36,8
Weiß nicht	85	21,3

Abbildung 61: Schülervorstellungen zu Auswirkungen eines Meteoriten mit zehn Kilometern Durchmesser, Multiple-Choice-Frage (Gesamtstichprobe)

Beim zweiten Szenario mit einem Meteoritendurchmesser von zehn Kilometern haben 85 Schüler (21,3%) keine Angabe gemacht. Die am häufigsten genannte Antwort (Krater 200 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Massensterben) ist auch die wissenschaftlich anerkannte – 147 Probanden (36,8%) haben sie angegeben.

Für die Auswertung beider Multiple-Choice-Fragen zu den Auswirkungen eines Einschlags lässt sich zeigen, dass 77 Schüler beide Antworten entsprechend der wissenschaftlichen Konzepte gegeben haben (19,3%). Damit ist der Anteil an Schülern, die sich ein realistisches Bild von den Auswirkungen unterschiedlicher Impakte machen können, nicht sehr hoch.

Die quantitative Auswertung der offenen Einstiegsfragen gestaltet sich schwierig, da eine große Text- und damit Datenmenge analysiert werden muss. Daher wird bei der itemzentrierten Auswertung eine Konzentration auf die Nennung von Kernbegriffen und Systemzusammenhängen vorgenommen und die Fragen 3 (Ablauf eines Einschlags) und 4 (Auswirkungen) zusammen ausgewertet. Dabei zeigt sich, dass einige Begriffe gehäuft von den Schülern selbst genannt werden: 65 Probanden nennen Druckwellen als eine Folge von Impakten; Umweltveränderungen werden von 61 Schülern erwähnt; dass sich das Klima durch einen Einschlag (global) verändern kann, nennen 36 Schüler. Insgesamt 32 Schüler sehen Erschütterungen und Erdbeben als Folge eines Einschlags. Weitaus weniger verbreitet sind die Vorstellungen von durch den Meteoriten mitgebrachten Giften (acht Nennungen) und radioaktiven Strahlen (elf Nennungen). Interessant ist weiterhin, dass 14 Schüler den Verlust der Ozonschicht als Folge erwähnen – hier ist jedoch Vorsicht geboten, dies vorschnell als eine Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Konzepten zu interpretieren. Für eine derartige Aussage ist die Analyse der Interviews unumgänglich.

4.2.5.1.1.2. Geologische Zeitskala

Da eine Einordnung der Gefährdung durch Meteoriteneinschläge auf der affektiven Seite der Vorstellungen kognitive Konzepte zur geologischen Zeitskala voraussetzt, wurden auch die Vorstellungen der Probanden zur Erdgeschichte erfasst. Dazu sollten sechs Ereignisse in ihre zeitliche Reihenfolge geordnet werden. Das Item ‚Entstehung des Universums‘ wurde vorgegeben. Abbildung 62 fasst die Ergebnisse für die einzelnen Items zusammen. Alle Ereignisse in die wissenschaftlich anerkannte Reihenfolge zu bringen haben 51 Probanden (12,8%) geschafft, wobei 96,5% eine Reihenfolgenzuordnung angegeben haben – nur 3,5% der Probanden haben mit ‚weiß nicht‘ geantwortet (das Antwortverhalten unterscheidet sich jedoch von Item zu Item – siehe Abbildung 62). Die 51 Angaben, die der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechen, verteilen sich auf 27 Jungen und 24 Mädchen, bzw. auf zehn Schüler der 5. Klasse und 41 der 11. Jahrgangsstufe. Damit sind bei der chronologischen Anordnung der Ereignisse keine Geschlechterdifferenzen auszumachen, jedoch ein altersbedingter Unterschied.

Item	Gesamtzahl Nennungen entsprechend wiss. Konzepten	Entsprechend den wissenschaftlichen Konzepten in %
Ende der letzten Eiszeit	141	35,3
Entstehung des Nördlinger Ries	87	21,8
Entstehung der Erde	371	92,8
Bau der Pyramiden in Ägypten	210	52,5
Aussterben der Dinosaurier	237	59,3
[Entstehung des Universums] (vorgegebener Wert)	400	100
Beginn unseres Kalenders	247	61,8
	Gesamtzahl Nennungen „Weiß nicht“	Nennungen „Weiß nicht“ in %
Ende der letzten Eiszeit	18	4,5
Entstehung des Nördlinger Ries	35	8,8
Entstehung der Erde	11	2,8
Bau der Pyramiden in Ägypten	16	4
Aussterben der Dinosaurier	14	3,5
[Entstehung des Universums] (vorgegebener Wert)	0	0]
Beginn unseres Kalenders	18	4,5

Abbildung 62: Nennungen zur relativen Einordnung von Ereignissen in die geologische Zeitskala (Gesamtstichprobe)

Die relative Einordnung in die Zeitskala wird ergänzt durch die Angaben der Probanden zu den absoluten Altersangaben der gewählten Items. Hier kann wiederum die Matrix aus Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen Anwendung finden. Wie in Abbildung 63 zusammengefasst, gaben die Schüler im Durchschnitt zu 50,5% Altersangaben zu den gefragten Items ab. Dabei wurden zum Bau der Pyramiden in Ägypten die meisten Angaben gemacht (60,5%), während das Nördlinger Ries von 38,5% der Probanden datiert wurde. Dabei ist für dieses Item anzumerken, dass 42% der Angaben von Schülern aus Nördlingen abgegeben wurden, die jedoch nur 27% der Stichprobe ausmachen und bei den anderen Items nicht durch einen höheren Anteil an Antworten herausstechen.

Item	Anzahl	Wert in %
Ende der letzten Eiszeit	206	51,5
Entstehung des Nördlinger Ries	154	38,5
Entstehung der Erde	218	54,5
Bau der Pyramiden in Ägypten	242	60,5
Aussterben der Dinosaurier	213	53,3
Entstehung des Universums	178	44,5
[Beginn unseres Kalenders] (vorgegebener Wert)	(400)	(100)

Abbildung 63: Zeitangaben zu Ereignissen der geologischen Zeitskala: Komplexität (Gesamtstichprobe)

Die Auswertung nach der Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen zeigt ein ähnliches Bild. Der Bau der Pyramiden in Ägypten wurde von 23,25% der Probanden innerhalb der als in Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Konzepten gesetzten Werte datiert, während das Nördlinger Ries von 3,25% der Probanden mit dem Alter von +/- 15 Millionen Jahren genannt wurde (siehe Abbildung 64).

Im Durchschnitt wurden die Items von 11,8% im Rahmen der gesetzten Grenzen bestimmt. Alle Ereignisse entsprechend der wissenschaftlichen Konzeption datieren konnte keiner der 400 befragten Schüler.

Item	Anzahl der Antworten entsprechend der wissenschaftlichen Konzeption	Wert in %
Ende der letzten Eiszeit	72	18,00
Entstehung des Nördlinger Ries	13	3,25
Entstehung der Erde	53	13,25
Bau der Pyramiden in Ägypten	93	23,25
Aussterben der Dinosaurier	30	7,50
Entstehung des Universums	22	5,50
[Beginn unseres Kalenders] (vorgegebener Wert)	(400)	(100)

Abbildung 64: Zeitangaben zu Ereignissen der geologischen Zeitskala: Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten (Gesamtstichprobe)

Damit kann – in Bestätigung der Ergebnisse von TREND (2001b) – der Schluss gezogen werden, dass Schülerinnen und Schüler nur ein sehr begrenztes geologisches Zeitbewusstsein mitbringen – denn selbst wenn dem Einwand, die Befragung zu Kernereignissen der geologischen Zeitskala und deren Datierung könne ein Verständnis von ‚deep time‘ nur unzureichend erfassen, Rechnung getragen wird, büßen die vorliegenden Ergebnisse nicht an Aussagekraft ein. Für ein Verständnis der geologischen Zeitskala sind Kenntnisse der ungefähren Altersangaben ein erster Schritt – doch bereits auf dieser Ebene zeigt sich die geringe Komplexität der Schülervorstellungen.

Differenziert man die Ergebnisse zur Wissenschaftlichkeit der Vorstellungen nach Klassenstufe und Geschlecht, zeigt sich folgendes Bild: das Alter hat eine signifikante Auswirkung auf die Vorstellungen zur geologischen Zeitskala, denn bedeutend mehr Schüler der 11. Klasse konnten die vorgegeben Ereignisse entsprechend der wissenschaftlichen Konzeption datieren (siehe Abbildung 65).

Item	Nennungen aus Klasse 5	in % (Klasse 5)	Nennungen aus Klasse 11	in % (Klasse 11)
Ende der letzten Eiszeit	27	37,5	45	62,5
Nördlinger Ries	6	46,2	7	53,8
Entstehung der Erde	17	32,1	36	67,9
Pyramiden in Ägypten	19	20,4	74	79,6
Aussterben der Dinosaurier	3	10,0	27	90,0
Entstehung des Universums	4	18,2	18	81,8

Abbildung 65: Zeitangaben zu Ereignissen der geologischen Zeitskala: Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten (Differenzierung nach Klassenstufe)

Bezogen auf das Geschlecht zeigen sich ebenso Unterschiede (siehe Abbildung 66), jedoch wesentlich weniger ausgeprägt. So können zwar wesentlich mehr Jungen das Aussterben der Dinosaurier auf 65 Millionen Jahre datieren, der Zeitpunkt des Endes der letzten Eiszeit oder des Baus der Pyramiden in Ägypten ist aber nahezu ebenso vielen Mädchen wie Jungen bekannt.

Item	Nennungen von Jungen	in % (Jungen)	Nennungen von Mädchen	in % (Mädchen)
Ende der letzten Eiszeit	37	51,4	35	48,6
Nördlinger Ries	8	61,5	5	38,5
Entstehung der Erde	31	58,5	22	41,5
Pyramiden in Ägypten	46	49,5	47	50,5
Aussterben der Dinosaurier	23	76,7	7	23,3
Entstehung des Universums	13	59,1	9	40,9

Abbildung 66: Zeitangaben zu Ereignissen der geologischen Zeitskala: Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten (Differenzierung nach Geschlecht)

Bezogen auf einzelne Items zeichnet die Auswertung ein differenziertes Bild. Während die Mittelwerte als die „*Summe aller Meßwerte dividiert durch die Anzahl der eingehenden Werte*“³⁵⁸ der Datierungen nur eine statistische Aussage treffen, können Medianwerte („*teilt eine Verteilung [...] in Hälften*“³⁵⁹) und Modalwerte („*Der in*

³⁵⁸ BORTZ/DÖRING (2002) S. 684

³⁵⁹ BORTZ/DÖRING (2002) S. 683

einer Verteilung am häufigsten vertretene Wert³⁶⁰) unterschiedliche Vorstellungsmuster aufzeigen.

Für die Entstehung des Universums liegt der Median bei 5.000.000.000, ebenso wie der Modalwert – dabei wurde die Angabe von fünf Milliarden Jahren von 21 Schülern (5,3%, gültige Prozent 12,1%, da nur 173 Probanden Werte angegeben haben) genannt. Dieser Wert liegt somit weit unterhalb der wissenschaftlichen Altersangabe für das Universum von 13,7 Milliarden Jahren.

Für die Entstehung der Erde hingegen liegt der Modalwert ebenfalls bei 5 Milliarden Jahren, während der Median nur ein Zehntel des Werts beträgt, nämlich 500.000.000 Jahre. Der Medianwert der Differenz zwischen den Altersangaben zu Universum und Erde liegt bei fünf Milliarden Jahren – also haben die Schüler, die für beide Ereignisse Angaben machen konnten, das Alter des Universums eindeutig höher angegeben als das Alter der Erde. Die Ergebnisse von TREND (2001b), dass viele Schüler den Urknall als Auslöser für die Entstehung der Erde sehen, bestätigen sich also nicht. Lediglich sechs Probanden geben das Alter des Universums und der Erde genau mit dem gleichen Wert an. Bei 19 Schülern ergibt die Differenz aus den beiden Altersangaben, dass die Erde älter ist als das Universum – diese paradoxe Aussage lässt sich in allen Fällen auf die Vermischung von ‚Millionen‘ und ‚Milliarden‘ zurückführen. Der Modalwert für das Aussterben der Dinosaurier wiederum entspricht mit 65 Millionen Jahren den wissenschaftlichen Vorstellungen – dieser Einzelwert wurde also am häufigsten genannt. Jedoch liegt der Median bei zehn Millionen Jahren – Schüler schätzen also auch hier das Alter wesentlich geringer ein, als dies von der Wissenschaft getan wird.

Hingewiesen werden soll ebenfalls auf außergewöhnliche Angaben zur Datierung der Ereignisse. Dies betrifft vor allem die Angaben zur Entstehung des Universums und der Erde. Da hier im Fragebogen keinerlei Vorgaben gegeben wurden, konnten auch Angaben in Worten gegeben werden. Eine Schülerin sieht den Beginn des Universums zu der Zeit *„als Gott das geschaffen hat“* (Fragebogen Disco, Klasse 5, weiblich, Hof). Die Entstehung der Erde wiederum wird von einer anderen Schülerin *„zur Zeit Adams und Evas“* gesehen (Fragebogen Ring, Klasse 5, weiblich, Bad Reichenhall). Hier wäre eine weitergehende Untersuchung notwendig, um den Einfluss religiöser Vorstellungen auf Konzepte zur geologischen Zeitskala genauer zu erfassen. Eine erste Arbeit in diesem Feld ist ILLNER (2002), die zu religiösen Einflüssen auf Schülervorstellungen über die Evolution festhält: *„Auch wenn sich Schüler nicht als gläubige Christen bekennen, so wachsen sie doch in einer christlich geprägten Umgebung auf, und es sind religiöse Vorstellungen in Form der Schöpfungsgeschichte und nicht biologische Erklärungen, mit denen sie im Hinblick auf die Entstehung der Lebewesen zuerst konfrontiert werden.“*³⁶¹

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der relativen Datierung wesentlicher kosmologischer, geohistorischer und historischer Ereignisse viele Schüler über Vorstellungen verfügen. Diese decken sich jedoch nur selten mit den wissenschaftlichen Konzepten, wobei dabei kein geschlechtsspezifischer Unterschied besteht, jedoch die Vorstellungen der älteren Schüler der wissenschaftlichen Sicht wesentlich näher kommen. Die absolute Datierung der Ereignisse zeigt, dass Schüler generell die Zeitspannen zu kurz einschätzen und auch Probleme mit den Begriffen Millionen und Milliarden von Jahren mit in den Unterricht bringen – dies gilt vor allem für die jüngeren Schüler. Insgesamt kann daher ein fehlendes geologisches Zeitbewusstsein bei der Mehrheit der Schüler festgestellt werden – dies kann sich auch auf

³⁶⁰ BORTZ/DÖRING (2002) S. 684

³⁶¹ ILLNER (2000) S. 6

die Gefahreneinschätzung von Impakten und anderen Naturgefahren (bzw. Naturrisiken) auswirken.

4.2.5.1.2. Gefahreneinschätzung von Meteoriteneinschlägen

Die Gefahreneinschätzung kann als affektive Komponente von Schülervorstellungen verstanden werden (siehe KATTMANN (2007)) und wurde daher gesondert untersucht.

Trennschärfe und Schwierigkeiten der Items wurden ermittelt um die Reliabilität der Skala zu messen. Wie Abbildung 67 zeigt, erreichen alle Items die von der Testtheorie geforderten Werte. Dabei ist die Schwierigkeit eines Items ein Messwert, in welchem Maß die Probanden einem Item eher zustimmen oder es eher ablehnen – Extremwerte von $<0,20$, bzw. $>0,80$ sollten zu einem Ausschluss des Items führen (siehe Erläuterungen zum Bereich Interesse, Kapitel 4.2.3.1.3.). Für die Skala der Gefahreneinschätzung liegen die Schwierigkeiten im Bereich von $x = ,63$ bis $x = ,92$. Da ein Item wesentlich über die geforderte Spannbreite hinausragt, müsste Item 11.7 aus der Auswertung genommen werden – für den Vergleich von Schülervorstellungen und fachlichen Konzepten ist dieses Item aber von besonderer Bedeutung, da ein Atomkrieg in seinen globalen Auswirkungen („Nuklearer Winter“) grundsätzlich einem Meteoriteneinschlag gleicht und die Frage auch in den Experteninterviews explizit angesprochen wurde. Somit verbleiben alle Items in der Auswertung für die Ergebnisse der Hauptstudie. Die Item-Skala-Korrelation wiederum zeigt an, inwieweit ein Item mit dem Ergebnis der übrigen Items korreliert. Der Trennschärfekoeffizient sollte dabei um den Wert $x = ,50$ liegen (siehe Abbildung 67).

Insgesamt wird ein akzeptabler Wert für Cronbachs Alpha erreicht, der für die Skala zur Gefahreneinschätzung bei $\alpha = ,787$ liegt. Damit ist eine genügende Reliabilität der Skala gegeben.

Item	Schwierigkeit	Korrigierte Item-Skala-Korrelation
11.1	0,7375	0,471
11.2	0,6346	0,317
11.3	0,7028	0,517
11.4	0,6552	0,283
11.5	0,701	0,493
11.6	0,7726	0,564
11.7	0,9294	0,361
11.8	0,7676	0,507
11.9	0,6372	0,447
11.10	0,7031	0,318
11.11	0,7844	0,423
11.12	0,8203	0,463

Abbildung 67: Schwierigkeiten und Trennschärfe der Items der Skala Gefahreneinschätzung (Gesamtstichprobe)

Insgesamt liegen die Items der Skala mit einem Mittelwert von $\bar{x}=3,69$ über dem zu erwartenden Mittelwert von $\bar{x}=3,00$. Die Skala hat somit insgesamt eine erhöhte Schwierigkeit und die Ergebnisse der einzelnen Items sollten vor diesem Hintergrund analysiert werden. Für alle Items gilt zudem, dass sie jeweils mit dem höchsten und geringsten Wert eingeschätzt wurden.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass Meteoriteneinschläge auf individueller Ebene (‘eine Gefahr für mich selbst’) mit $\xi=3,51$ im Mittelfeld der Subskala liegen. Stürme und Orkane ($\xi=3,69$) sowie die Umweltzerstörung ($\xi=3,86$) werden als wesentlich gefährlicher von den Schülern eingestuft. Bemerkenswert ist, dass der Klimawandel auf individueller Ebene mit Impakten auf eine Gefährlichkeitsstufe gestellt wird ($\xi=3,51$). Dahingegen werden giftige Tiere ($\xi=3,28$) und Flugzeugunglücke ($\xi=3,17$) geringer eingeschätzt.

Auf globaler Ebene (‘eine Gefahr für die Menschheit’) ähnelt das Ergebnis für Impakte dem der individuellen Subskala: mit einem Wert von $\xi=3,84$ besetzen Meteoriteneinschläge einen mittleren Platz. Jedoch ist dieser Wert signifikant höher als auf individueller Ebene. Dieser Trend zieht sich durch die gesamte Skala, so dass insgesamt ein signifikanter Unterschied im Antwortverhalten zwischen der individuellen und der globalen Perspektive bestätigt werden kann. (siehe Abbildung 68).

Weiterhin kann auf globaler Ebene festgestellt werden, dass der Klimawandel wiederum ähnlich eingestuft wird wie die Impakt-Thematik ($\xi=3,92$). Auch die Umweltzerstörung ($\xi=4,10$) wird parallel zur individuellen Perspektive als größere Gefährdung gesehen. Wesentlich geringer ist die Einschätzung des Terrorismus ($\xi=3,52$) und eines Vulkanausbruchs ($\xi=3,19$). Eine herausragende Rolle nimmt die Einschätzung eines Atomkriegs ein: mit einem Mittelwert von $\xi=4,65$ wird die Gefährdung weit über allen anderen Items eingeordnet (siehe Abbildung 68).

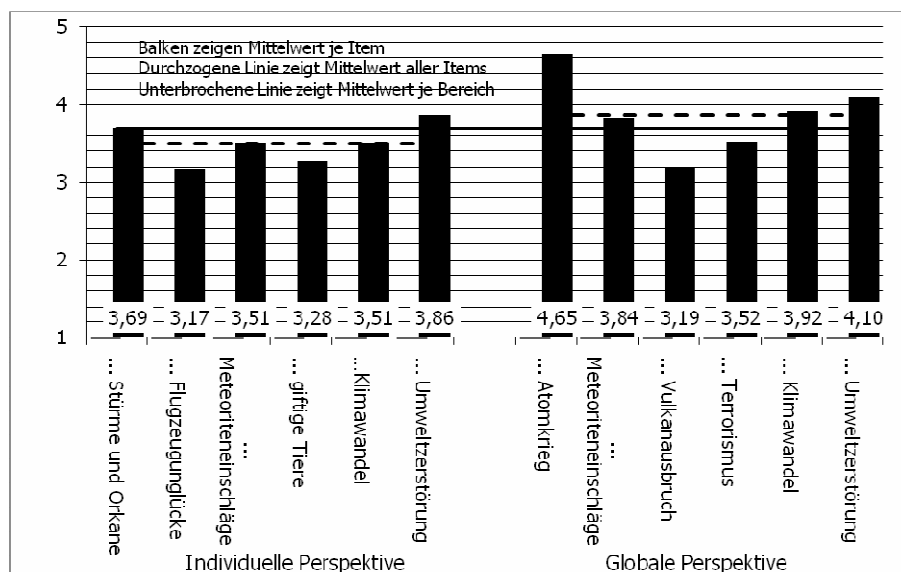


Abbildung 68: Ergebnisse zum Bereich Gefahreneinschätzung (Gesamtstichprobe)

In der 5. Jahrgangsstufe werden Meteoriteneinschläge zusammen mit der Umweltzerstörung als größte Gefährdung auf individueller Ebene eingestuft ($\xi=4,01$ für Impakte sowie $\xi=4,02$ für Umweltzerstörung) und liegen damit weit über dem Mittelwert der Subskala ($\xi=3,69$). Ein ähnliches Muster zeigt die globale Perspektive: hier werden Impakte und Umweltzerstörung ebenfalls ähnlich hoch in ihrer Gefährdung eingestuft (siehe Abbildung 69), jedoch liegt das Item Atomkrieg weit über dem Mittelwert der Subskala ($\xi=3,89$) und erreicht mit $\xi=4,63$ den höchsten Wert der gesamten

Skala.

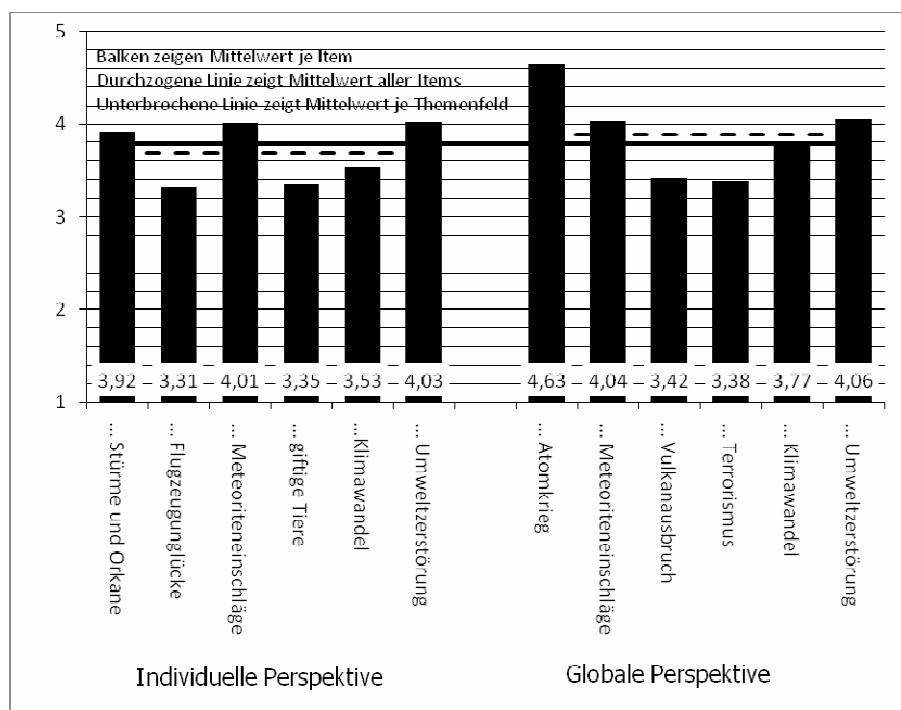


Abbildung 69: Ergebnisse zur Gefahreneinschätzung (Klasse 5)

In der 11. Klasse zeigt sich jedoch ein anderes Bild. Auf individueller Ebene werden Meteoriteneinschläge mit $\xi=2,99$ nicht nur unter dem Subskalenmittelwert ($\xi=3,31$) eingestuft, sondern auch knapp unterhalb des arithmetischen Mittelwerts von $\xi=3,00$. Impakte werden auf individueller Ebene von den Schülern der 11. Klasse sogar als geringste Gefahr eingestuft. Insbesondere die Umweltzerstörung erreicht mit $\xi=3,69$ eine wesentlich höhere Gefahreneinschätzung.

Auch auf globaler Ebene liegen Impakte mit $\xi=3,63$ unterhalb des Subskalen-Mittelwerts von $\xi=3,85$ – der wiederum höher ist als aus individueller Perspektive. Jedoch werden sie als gefährlicher eingeschätzt als Vulkanausbrüche ($\xi=2,94$) und ähnlich der Gefahr durch den Terrorismus ($\xi=3,65$) gesehen. Der Klimawandel ($\xi=4,07$) und die Umweltzerstörung ($\xi=4,14$) übertreffen bei den Probanden der 11. Jahrgangsstufe in der Einschätzung ihrer Gefährlichkeit Impakte bei weitem, jedoch wird ein Atomkrieg mit $\xi=4,66$ analog zur Einschätzung in der 5. Klasse als gefährliche Bedrohung angesehen (siehe Abbildung 70).

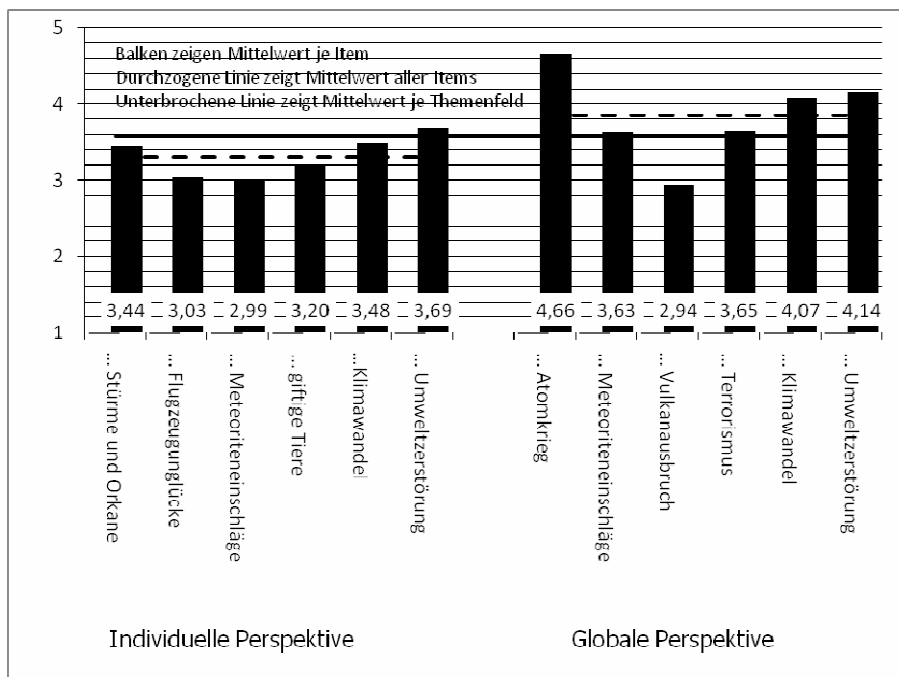


Abbildung 70: Ergebnisse zur Gefahreneinschätzung (Klasse 11)

In Bezug auf die unterschiedliche Gefahreneinschätzung zwischen den Klassenstufen zeigt sich somit ein komplexes Bild. Die Gesamtskala ohne die beiden Impact-Items zeigt keinen signifikanten Unterschied³⁶² (beidseitige Signifikanz von $p = ,128$) – jedoch treten bei den einzelnen Items erhebliche Unterschiede auf. Nur zwei Items der individuellen Subskala werden von beiden Altersgruppen ähnlich eingestuft: giftige Tiere (Signifikanz $p = ,126$) und der Klimawandel (Signifikanz $p = ,249$). Stürme und Orkane, Flugzeugunglücke, Klimawandel, Umweltzerstörung und auch Meteoriteneinschläge erfahren in der 5. Klasse eine signifikant höhere Gefahreneinschätzung (siehe Abbildung 71) – bei der Impact-Thematik überspannt der Unterschied sogar mehr als eine Skalenstufe.

Aus globaler Perspektive zeigt sich ein anderes Bild, denn hier wird die Umweltzerstörung (Signifikanz $p = ,285$) von beiden Altersgruppen ähnlich gefährlich gesehen – ebenso wie ein Atomkrieg (Signifikanz $p = ,424$), der jedoch eine wesentlich höhere Gefahreneinschätzung erfährt. Dahingegen unterscheiden sich die Werte zu Meteoriteneinschlägen (Signifikanz $p = ,000$), Vulkanausbrüchen (Signifikanz $p = ,000$) und Terrorismus (Signifikanz $p = ,026$) erheblich – jedes dieser Themen wird von den jüngeren Schülern gefährlicher eingestuft als von den Probanden der 11. Klasse. Entgegengesetzt hierzu wird nur ein Item – der Klimawandel – von den älteren Schülern signifikant höher eingestuft (Signifikanz $p = ,010$).

³⁶² Im Folgenden werden alle Signifikanzangaben an den Signifikanzniveaus von 5% (signifikant) und 1% (hochsignifikant) gemessen; dies gilt für alle untersuchten Bereiche (Interesse, Vorstellungen, Gefahreneinschätzung,...); je nach der Ausrichtung der Hypothese wird die einseitige, bzw. die zweiseitige Signifikanz angegeben; berechnet wurden die Signifikanzwerte mittels T-Test und bivariater Korrelationen

Item	Klasse 5	Klasse 11	Signifikanz (1-seitig)
Individuelle Perspektive			
... Stürme und Orkane	3,92	3,44	0,000
... Flugzeugunglücke	3,31	3,03	0,033
... Meteoriteneinschläge	4,01	2,99	0,000
... giftige Tiere	3,35	3,20	0,126
... Klimawandel	3,53	3,48	0,249
... Umweltzerstörung	4,03	3,69	0,001
Globale Perspektive			
... Atomkrieg	4,63	4,66	0,424
... Meteoriteneinschläge	4,40	3,63	0,000
... Vulkanausbruch	3,42	2,94	0,000
... Terrorismus	3,38	3,65	0,026
... Klimawandel	3,77	4,07	0,010
... Umweltzerstörung	4,06	4,14	0,285

Abbildung 71: Ergebnisse des Bereichs Gefahreneinschätzung (Vergleich nach Klassenstufe je Item)

Die Segmentierung nach Geschlechtern kann ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse bei der Gefahreneinschätzung aufzeigen.

Mädchen sehen in der Umweltzerstörung ($\xi=3,91$) auf individueller Ebene die größte Gefahr. Meteoriteneinschläge werden von ihnen mit $\xi=3,55$ nahe dem Subskalen-Mittelwert ($\xi=3,60$) gesehen. Dabei werden Flugzeugunglücke ($\xi=3,37$), giftige Tiere ($\xi=3,38$) und der Klimawandel ($\xi=3,50$) als geringere individuelle Bedrohung angesehen, während Stürme und Orkane ($\xi=3,91$) gefährlicher eingeschätzt werden als Impakte (siehe Abbildung 72).

Die globale Subskala zeichnet ein ähnliches Bild: Meteoriteneinschläge werden durchaus als Bedrohung gesehen ($\xi=3,82$), jedoch unter dem Subskalenmittelwert von $\xi=3,95$. Dieser hohe Wert wird hauptsächlich durch die Items zur Umweltzerstörung ($\xi=4,14$) und den Atomkrieg ($\xi=4,74$) hervorgerufen. Auch der Klimawandel ($\xi=3,93$) wird von den Mädchen als größeres Gefahrenpotenzial auf globaler Ebene eingestuft als Impakte. Dahingegen sehen sie im Terrorismus ($\xi=3,68$) und in einem großen Vulkanausbruch ($\xi=3,37$) eine geringere Gefahr.

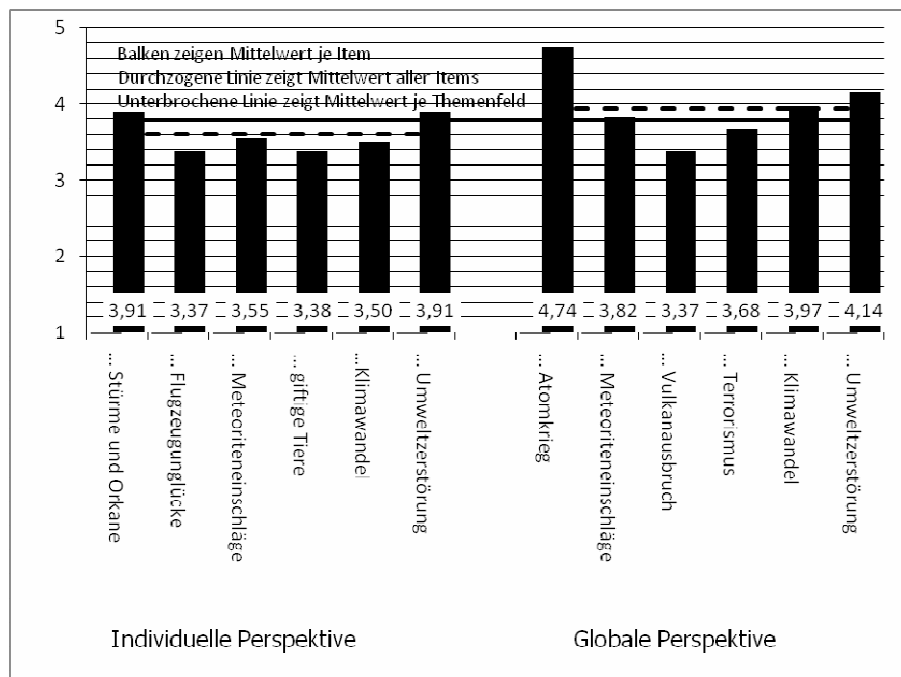


Abbildung 72: Ergebnisse zur Gefahreinschätzung (Mädchen)

Jungen sehen auf individueller Ebene ebenfalls die Umweltzerstörung ($\xi=3,81$) als größte Gefahr. Meteoriteneinschläge werden von ihnen mit $\xi=3,47$ etwas oberhalb des Subskalen-Mittelwerts ($\xi=3,40$) angesiedelt. Flugzeugunglücke ($\xi=2,95$) und giftige Tiere ($\xi=3,15$) werden als geringere individuelle Bedrohungen angesehen – erstere sogar unterhalb des zu erwartenden Skalen-Mittelwerts von $\xi=3,00$. Die Gefahreinschätzung zum Klimawandel ($\xi=3,50$) ist ähnlich hoch wie zur Impakt-Thematik, ebenso wie Stürme und Orkane ($\xi=3,43$).

Auch aus globaler Perspektive werden Meteoriteneinschläge ($\xi=3,86$) und der Klimawandel ($\xi=3,87$) von den Jungen als gleichwertige Bedrohung eingeschätzt, sogar über dem Subskalenmittelwert von $\xi=3,77$. Dieser hohe Wert wird – analog wie bei den Ergebnissen der weiblichen Probanden - hauptsächlich durch die Items zur Umweltzerstörung ($\xi=4,06$) und den Atomkrieg ($\xi=4,54$) hervorgerufen. Dahingegen sehen auch die Jungen im Terrorismus ($\xi=3,33$) und in einem großen Vulkanausbruch ($\xi=2,98$) eine geringere Gefahr aus globaler Perspektive (siehe Abbildung 73).

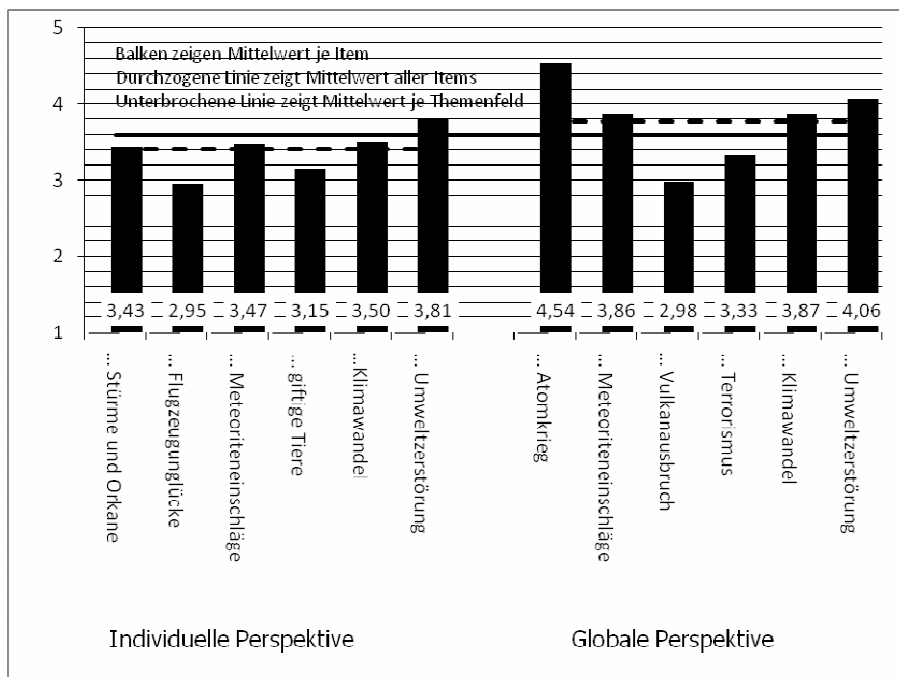


Abbildung 73: Ergebnisse zur Gefahreneinschätzung (Jungen)

Dass trotz der ähnlichen Rangfolge der einzelnen Items bei Mädchen und Jungen signifikante Unterschiede in der Gefahreneinschätzung bestehen, zeigt Abbildung 74. Ausnahmslos alle Items werden von den weiblichen Probanden höher eingestuft – also als gefährlicher angesehen – als von den Jungen. Auf individueller Ebene ist der Unterschied für die Items Stürme und Orkane (Signifikanz $p = ,000$) sowie Flugzeugunglücke (Signifikanz $p = ,001$) und giftige Tiere (Signifikanz $p = ,037$) signifikant. Für Meteoriteneinschläge lässt sich jedoch auf individueller Ebene kein signifikanter Unterschied feststellen (Signifikanz $p = ,285$).

Dies gilt auch für die globale Subskala, in der Impakt-Gefährdung nicht signifikant unterschiedlich von Mädchen und Jungen eingeschätzt wird (Signifikanz $p = ,336$). Dahingegen beurteilen die Probandinnen die Gefahr durch einen Atomkrieg (Signifikanz $p = ,005$), durch einen großen Vulkanausbruch (Signifikanz $p = ,000$), und durch den Terrorismus (Signifikanz $p = ,003$) wesentlich höher als ihre männlichen Mitschüler.

Item	Mittelwert (Mädchen)	Mittelwert (Jungen)	Signifikanz (1-seitig)
Individuelle Perspektive			
... Stürme und Orkane	3,91	3,43	0,000
... Flugzeugunglücke	3,37	2,95	0,000
... Meteoriteneinschläge	3,55	3,47	0,285
... giftige Tiere	3,38	3,15	0,037
... Klimawandel	3,50	3,50	0,498
... Umweltzerstörung	3,91	3,81	0,207
Globale Perspektive			
... Atomkrieg	4,74	4,54	0,005
... Meteoriteneinschläge	3,82	3,86	0,336
... Vulkanausbruch	3,37	2,98	0,000
... Terrorismus	3,68	3,33	0,003
... Klimawandel	3,97	3,87	0,191
... Umweltzerstörung	4,14	4,06	0,211

Abbildung 74: Ergebnisse des Bereichs Gefahreinschätzung (Vergleich nach Geschlecht je Item)

Zusammenfassend kann damit festgehalten werden, dass Impakte von Schülern sowohl auf individueller Ebene wie auf globaler Ebene als Gefahr gesehen werden – jedoch wird wie in anderen Studien die Gefährdung auf der abstrakteren globalen Perspektive höher eingeschätzt. Im Vergleich zu anderen bekannten Gefahren nimmt die Gefahreinschätzung einen mittleren Stellenwert. Lediglich ein Atomkrieg und die Umweltzerstörung werden unabhängig von Alter und Geschlecht von allen Schülern als größere Bedrohung für sie selbst und die Menschheit gesehen. Während die Gefahreinschätzung für Meteoriteneinschläge unabhängig vom Geschlecht ist, zeigt sich zwischen den Klassenstufen ein deutlicher Unterschied. Auf individueller Ebene sehen die Schüler der 11. Klasse in Meteoriteneinschlägen die geringste Gefahr, auch auf der globalen Subskala werden Impakte von den älteren Probanden nicht als sehr gefährlich eingestuft. Dahingegen schätzen die Schüler der 5. Jahrgangsstufe die Gefahr auf individueller und globaler Ebene deutlich höher ein.

4.2.5.1.3. Interesse am Thema Meteoriteneinschläge

Skala und Itemformulierungen orientieren sich an den Vorgängerstudien zum Interesse an geographischen und geowissenschaftlichen Themen. Da für diese Studien ein hoher Maßstab bezüglich der Qualität der verwendeten Instrumente angesetzt wurde, sollten auch für die vorliegende Untersuchung Trennschärfe und Schwierigkeiten der Items ermittelt werden. Wie Abbildung 75 zeigt, erreichen wiederum alle Items die von der Testtheorie geforderten Werte. Erneut gilt: die Schwierigkeit eines Items zeigt an, in welchem Maß die Probanden einem Item eher zustimmen oder es eher ablehnen – Extremwerte von $<0,20$, bzw. $>0,80$ sollten zu einem Ausschluss des Items führen: „*Extrem schwierige Items, denen kaum jemand zustimmt, oder extrem leichte Items, die von fast allen Probanden gelöst werden, sind wenig infor-*

*mativ, da sie keine Personenunterschiede sichtbar machen.*³⁶³ Für die Interessensskala der vorliegenden Studie liegen die Schwierigkeiten im Bereich von $x = ,43$ bis $x = ,72$. Somit verbleiben alle Items in der Auswertung für die Ergebnisse der Hauptstudie. Die Item-Skala-Korrelation wiederum zeigt an, inwieweit ein Item mit dem Ergebnis der übrigen Items korreliert. Der Trennschärfekoeffizient sollte dabei um den Wert $x = ,50$ liegen. Da nur ein Item (G2K3) einen sehr geringen Wert von $x = ,291$ aufweist, ergibt sich insgesamt ein hoher Wert für Cronbachs Alpha, der für die Interessensskala bei $\alpha = ,854$ liegt. Damit ist eine genügende Reliabilität der Skala gegeben.

Item	Schwierigkeit	Korrigierte Item-Skala-Korrelation
G1K1	,5226	,398
G1K2	,4767	,429
G1K3	,4335	,457
G1K4	,7119	,587
G1K5	,5349	,440
G1K6	,5930	,369
G1K7	,5401	,487
G1K8	,5245	,527
G2K1	,6240	,469
G2K2	,6253	,469
G2K3	,4638	,291
G2K4	,7203	,589
G2K5	,6983	,576
G2K6	,7203	,599
G2K7	,6906	,562
G2K8	,4884	,472

Abbildung 75: Schwierigkeiten und Trennschärfe der Items der Interessensskala (Gesamtstichprobe)

Das Interesse wurde in der Untersuchung sowohl als eigenständiger Bereich wie auch als unabhängige Variable zur Beschreibung der Vorstellungen erhoben. Die Ergebnisse zu Ersterem zeigen, dass Meteoriteneinschläge insgesamt auf ein hohes Interesse stoßen. Der Mittelwert aller Items beträgt $\bar{x} = 3,33$ bei einer Likert-Skala von eins bis fünf. Das höchste Interesse rufen dabei die Fragen hervor, welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben und ob es heute noch zu einem Einschlag kommen kann ($\bar{x} = 3,88$). Am geringsten ist das Interesse, wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird ($\bar{x} = 2,74$). Dabei gilt für jedes Item, dass die maximale Spannweite an Interessenswerten erreicht wurde – jede Frage wurde von unterschiedlichen Probanden sowohl mit dem Minimalwert 1 als auch mit dem Maximalwert 5 belegt (siehe Abbildung 76 für die Mean-Werte der einzelnen Items).

³⁶³ BORTZ/DÖRING (2002) S.218; Hervorhebung durch BORTZ/DÖRING

Item	Mittelwert (Mean bei N=387)
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.	3,07
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.	2,91
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.	2,74
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.	3,83
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.	3,15
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.	3,37
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.	3,14
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.	3,09
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.	3,48
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.	3,47
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.	2,85
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.	3,88
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.	3,79
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.	3,88
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.	3,75
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.	2,95

Abbildung 76: Ergebnisse zu den Items des Bereichs Interesse (Gesamtstichprobe)

Deutlich lässt sich auch ein Unterschied zwischen den Skalen des naturwissenschaftlichen und des gesellschaftswissenschaftlichen Bereichs zeigen: die Fragen zum naturwissenschaftlichen Themengebiet erzielten mit $\bar{x}=3,16$ einen wesentlich geringeren Wert als das gesellschaftswissenschaftliche Themengebiet mit $\bar{x}=3,51$ (siehe Abbildung 77).

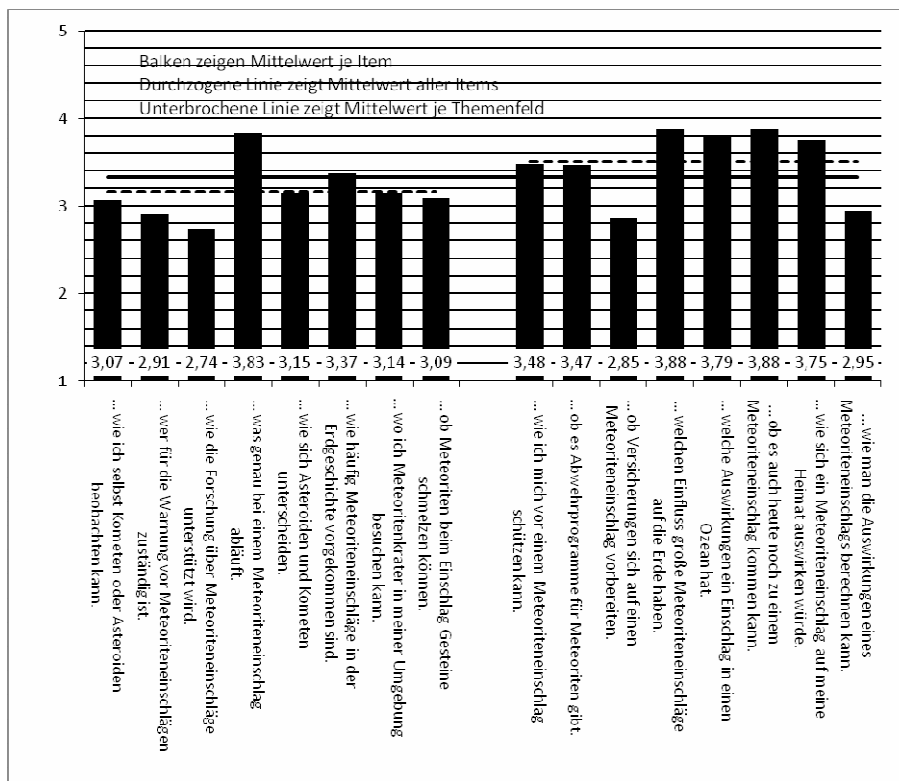


Abbildung 77: Ergebnisse zu Themengebieten und Gesamtskala des Bereichs Interesse (Gesamtstichprobe)

Dieses Ergebnis zeigt sich auch, wenn die unterschiedlichen Klassenstufen betrachtet werden: das naturwissenschaftliche Themengebiet erreicht in der 5. Klasse [11. Klasse] einen Mittelwert von $\xi=3,44$ [$\xi=2,86$], während das gesellschaftswissenschaftliche Gebiet einen Mittelwert von $\xi=3,73$ [$\xi=3,26$] aufweist (siehe Abbildung 78 und Abbildung 79).

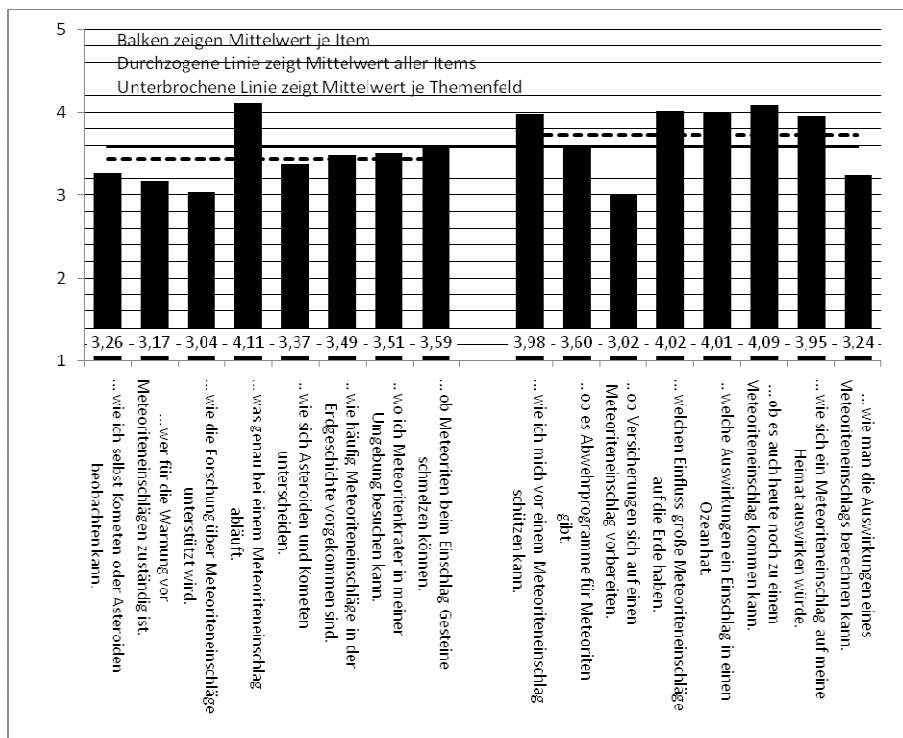


Abbildung 78: Ergebnisse zu Themengebieten und Gesamtskala des Bereichs Interesse (Klasse 5)

Insgesamt kann ein deutlicher Unterschied im Interesse zwischen den untersuchten Jahrgangsstufen festgestellt werden. Liegt das Gesamtinteresse in der 5. Klasse bei $\bar{x}=3,59$, so erreicht es in der 11. Klasse $\bar{x}=3,06$. Die jüngeren Schüler zeigen deutlich mehr Interesse an der Impakt-Thematik als die älteren. Jedoch sind die Unterschiede nicht auf differierende Werte bei einzelnen Items zurückzuführen.

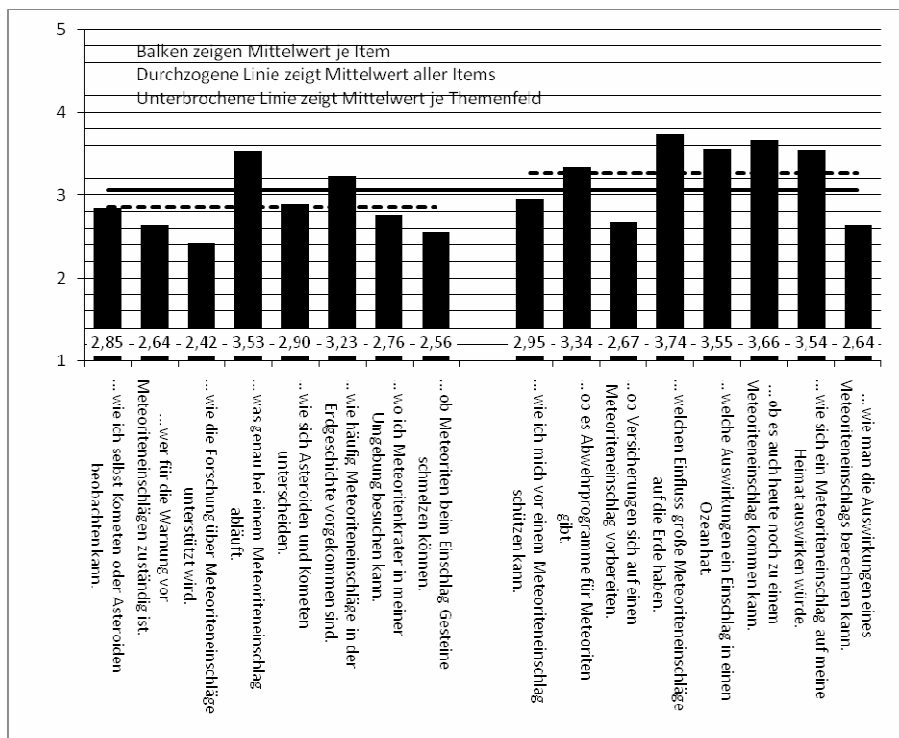


Abbildung 79: Ergebnisse zu Themengebieten und Gesamtskala des Bereichs Interesse (Klasse 11)

Beim Vergleich nach Klassenstufe je Item kommt eine durchgehende Parallelität in der Interessenstruktur zum Vorschein: jedes Item der Interessenskala wurde von den Probanden der 5. Klasse höher eingestuft als von den Schülern der 11. Klasse (siehe Abbildung 80). Dabei ist für jedes Item die Korrelation auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant, lediglich für Items G1K6 (...wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind) und G2K2 (...ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt) ist die Korrelation auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant. Für die Gesamtskala zeigt sich eine hochsignifikante Korrelation von Interesse und Klassenstufe von $p = ,000$ (Pearson= -,400).

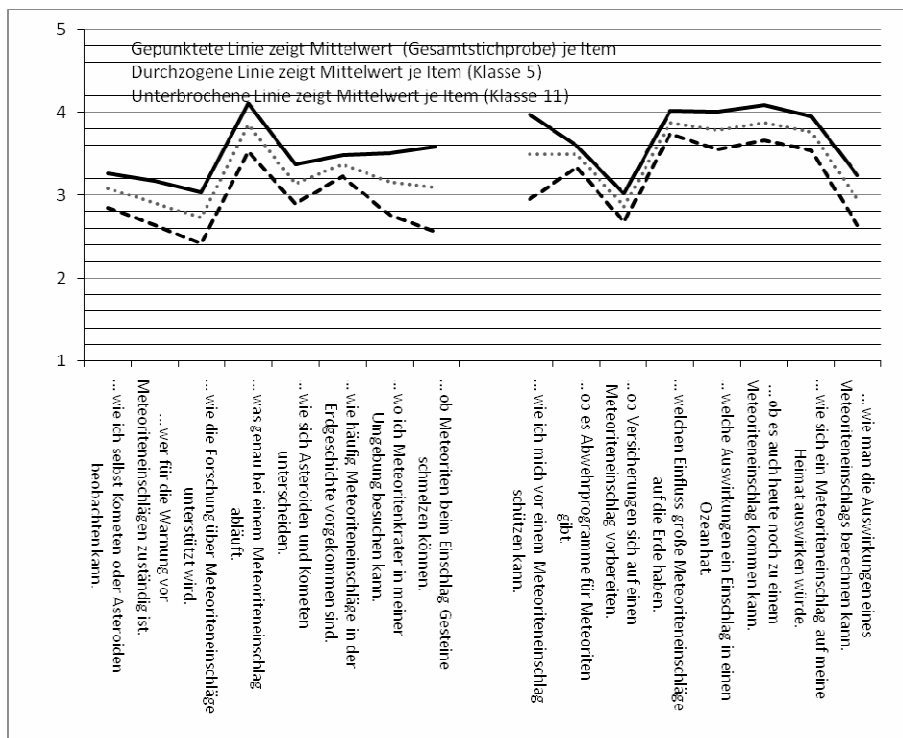


Abbildung 80: Ergebnisse des Bereichs Interesse (Vergleich nach Klassenstufe je Item)³⁶⁴

Ein wesentlich anderes Bild zeigt die Analyse des Zusammenhangs von Interesse und Geschlecht der Probanden. Auf der Ebene der Gesamtskala zeigen sich keine signifikanten Geschlechterdifferenzen (beidseitiger Signifikanzwert $p = ,161$). Auf Itemniveau zeigen vier Items signifikante Unterschiede (siehe Abbildung 81; relevante Werte sind fett markiert): die Fragen nach Abwehrprogrammen, der Berechnung von Einschlägen, ob Einschläge Gesteine schmelzen können und wie man sich vor einem Einschlag schützen kann interessieren Jungen mehr als Mädchen.

³⁶⁴ Auch wenn in dieser Graphik keine Entwicklung des Interesses dargestellt wird, findet dennoch ein Liniendiagramm Anwendung, da es die Parallelität der Itemwerte in den unterschiedlichen Klassenstufen am besten visualisiert

Item	Mittelwert (Jungen)	Mittelwert (Mädchen)	Signifikanz (1-seitig)
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.	3,07	3,06	0,474
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.	2,81	3,00	0,052
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.	2,78	2,70	0,238
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.	3,89	3,77	0,122
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.	3,19	3,11	0,252
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.	3,35	3,38	0,399
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.	3,19	3,10	0,271
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.	3,21	2,99	0,037
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.	3,35	3,60	0,028
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.	3,65	3,32	0,003
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.	2,92	2,79	0,156
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.	3,91	3,86	0,323
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.	3,87	3,71	0,079
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.	3,79	3,97	0,041
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.	3,71	3,78	0,259
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.	3,21	2,71	0,000
Gesamtskala	3,36	3,30	0,161

Abbildung 81: Geschlechterdifferenzen beim Interesse an Meteoriteneinschlägen (Gesamtstichprobe)

Auch der Unterschied zwischen den Skalen des naturwissenschaftlichen und des gesellschaftswissenschaftlichen Bereichs zeigt keine wesentlichen Differenzen zwischen Mädchen und Jungen: die Fragen zum naturwissenschaftlichen Themengebiet erzielten bei den männlichen Probanden $\bar{x}=3,19$, bei den Mädchen 3,14. Die Werte für das gesellschaftswissenschaftliche Themengebiet liegen mit $\bar{x}=3,55$ (Jungen) und $\bar{x}=3,47$ (Mädchen) ähnlich nahe zusammen.

Zusammenfassend kann damit für den Bereich Interesse festgehalten werden, dass sich jüngere Schüler signifikant mehr für das Thema Meteoriteneinschläge interessieren, während sich keine großen Geschlechterdifferenzen im Interesse zur Impakt-Thematik feststellen lassen.

4.2.5.1.4. Clusteranalyse und Typenbildung

Nachdem alle Fragen des Fragebogens zum Bereich der kognitiven Vorstellungen nach den zwei Dimensionen ‚Komplexität der vorhandenen Vorstellungen‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten‘ analysiert wurden, werden aus den Ergebnissen normalisierte Werte gebildet und damit eine hierarchische Clusteranalyse in SPSS durchgeführt. Das resultierende Dendrogramm zeigt eine mögliche Einteilung in zwei Gruppen – die dichotome Segmentierung wird einer weiteren möglichen Lösung mit vier Clustern aus Gründen der Praktikabilität vorgezogen (siehe Abbildung 82).



Abbildung 82: Dendrogramm als Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse (Gesamtstichprobe)³⁶⁵

Bei einer Beschränkung auf zwei Variablen ist zudem auch theoretisch eine sehr begrenzte Anzahl von Clustern zu erwarten – in diesem Fall gäbe es vier verschiedene mögliche Kombinationen:

1. Hohe Komplexität und große Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten,
2. Hohe Komplexität, jedoch geringe Übereinstimmung mit wissenschaftlichen Konzepten,
3. Niedrige Komplexität, jedoch Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten,
4. Niedrige Komplexität und entfernt von wissenschaftlichen Konzepten.

Da die Vier-Cluster-Lösung somit zwar theoretisch denkbar ist, wurde sie mit dem vollständigen Datensatz getestet, erbrachte jedoch keinen Mehrwert im Vergleich zur Zwei-Cluster-Lösung, da die möglichen Variablenkombinationen (2) und (3) empirisch nicht abgebildet wurden. Die Zwei-Cluster-Lösung hält damit theoretisch wie empirisch der Modellprüfung stand³⁶⁶ und wird im Weiteren verwendet.

Beim anschließenden Verfahren der Clusterzentrenanalyse wird versucht, die Datensätze auf die vorher bestimmte Zahl von Typen (Clustern) zuzuordnen. Hierzu muss die Anzahl der zu bildenden Cluster vorgegeben werden und die Zahl der Iterationen bis zur vollständigen Zuordnung aller Fälle zu den Clustern maximiert werden. Als Ergebnis erhält man in SPSS:

- die anfänglichen Clusterzentren,
- das Iterationsprotokoll (Anzahl der Rechenoperationen, die notwendig waren, um die Clusterbildung zu vervollständigen),
- Zuweisung jedes Falles zu einem Cluster und Distanz zum Clusterzentrum,
- Clusterzentren der endgültigen Lösung: Variablenwerte der einzelnen Clusterzentren,

³⁶⁵ Durch die bei der Datenfülle entstehenden graphischen Probleme soll dieses Dendrogramm nur als bildliche Darstellung der 2- und 4-Cluster-Lösung verstanden werden

³⁶⁶ Siehe hierzu ausführlich UPHUES (2007) S. 133 und 134

- Distanz der Clusterzentren,
- Anzahl der Fälle pro Cluster.

Das Ergebnis sind in diesem Fall zwei Cluster, zu denen jeder Proband eindeutig zugewiesen werden kann - mit Clusterzugehörigkeit und Distanz zum Clusterzentrum. Dabei umfasst Cluster 1 insgesamt 217 Probanden, während im Cluster 2 183 Schüler zusammengefasst sind. Dabei liegen die Werte für die Komplexität und die Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten in Cluster 1 niedriger als in Cluster 2:

Cluster	1	2
Komplexität	,485	,796
Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen	,285	,543

Anzahl der Fälle in jedem Cluster		
Cluster	1	217,000
	2	183,000
Gültige Fälle		400,000

Im Falle einer Zwei-Variablen-Lösung ist es zudem möglich, die Cluster in ein Koordinatensystem einzupflegen, so dass auch eine grafische Darstellung umgesetzt werden kann (siehe Abbildung 83). Deutlich zeigt sich, dass Cluster 2 diejenigen Probanden zusammenfasst, die komplexere und der wissenschaftlichen Sichtweise näher kommende Konzepte aufweisen.

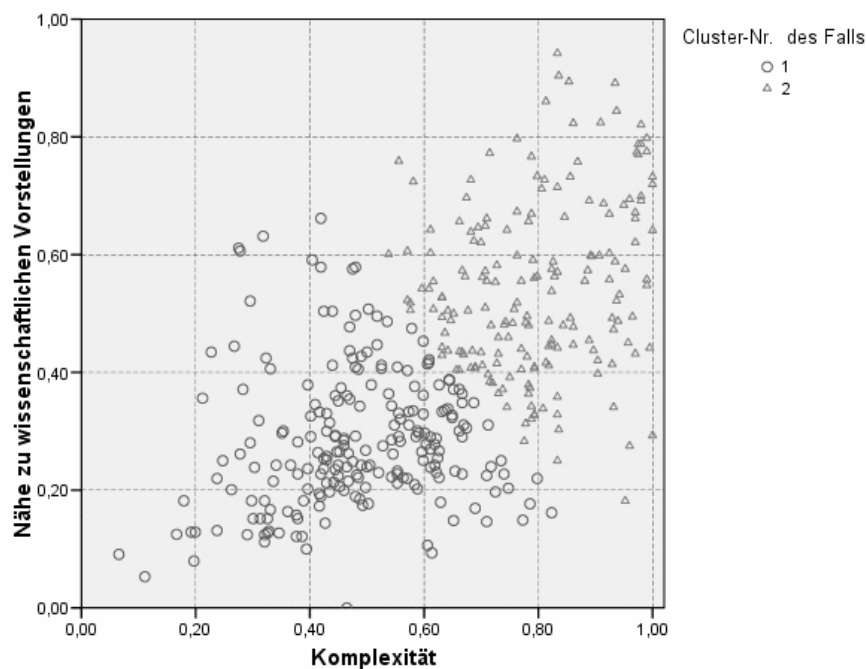


Abbildung 83: Die Vorstellungsmatrix als Ergebnis der Clusterzentrenanalyse (Ge-

samtstichprobe)

Die Cluster können anschließend mit unabhängigen Variablen näher beschrieben werden – damit sind Aussagen zu den Eigenschaften einzelner Cluster (z.B. Cluster 2 ist eher männlich und in der 11. Jahrgangsstufe) möglich. Zudem können signifikante Korrelationen getestet werden. Dies ist ein zentraler Teil der Hypothesen-Überprüfung. Dabei ist die zweiseitige asymptotische Signifikanz entscheidend. Bei gerichteten Hypothesen ist die einseitige Signifikanz abzufragen.

Im Detail können die Cluster durch die Ergebnisse der Teilkomponenten beschrieben werden. Denn die Dimensionen der Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten setzen sich aus den Werten der einzelnen Fragen zu den kognitiven Vorstellungen zusammen.

Für Cluster 1 und Cluster 2 ergeben sich die in Abbildung 84 dargestellten Mittelwerte für ausgewählte Items (normalisierte Werte).

Frage	Cluster 1	Cluster 2	Differenz
Komplexität			
Sortierung geologischer Schlüsselereignisse	0,94	0,99	0,05
Datierung Ende der letzten Eiszeit	0,38	0,67	0,29
Datierung Nördlinger Ries	0,24	0,56	0,32
Datierung Entstehung der Erde	0,40	0,72	0,32
Datierung Bau der Pyramiden in Ägypten	0,44	0,80	0,36
Datierung Aussterben der Dinosaurier	0,40	0,69	0,29
Datierung Entstehung des Universums	0,32	0,59	0,27
Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen			
Sortierung geologischer Schlüsselereignisse	0,49	0,63	0,14
Datierung Ende der letzten Eiszeit	0,29	0,39	0,10
Datierung Nördlinger Ries	0,08	0,09	0,01
Datierung Entstehung der Erde	0,13	0,32	0,19
Datierung Bau der Pyramiden in Ägypten	0,26	0,46	0,20
Datierung Aussterben der Dinosaurier	0,06	0,20	0,14
Datierung Entstehung des Universums	0,11	0,13	0,02

Abbildung 84: Charakterisierung der Typen durch Ergebnisse ausgewählter Items

Es zeigt sich, dass sämtliche Werte für die kognitiven Vorstellungen für Cluster 2 höher liegen als für Cluster 1. Dies gilt sowohl für die Komplexität der Vorstellungen wie für die Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten.

Besonders groß sind die Unterschiede bei den Angaben zum Impakt-Szenario 2 sowie zur Datierung der letzten Eiszeit, des Nördlinger Ries, der Entstehung der Erde, des Aussterbens der Dinosaurier und der Entstehung des Universums – hier liegt jeweils bei Cluster 1 die Komplexität weit unterhalb der von Cluster 2. Jedoch sollte das geologische Zeitbewusstsein nach TREND die Kompetenz der ‚deep time‘ umfassen – also das Verständnis der Erdgeschichte in ihrem Umfang von fast fünf Milliarden Jahren. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass nur wenige Schüler über diese nach TREND ‚kritische Barriere‘ kommen. Daher muss in kritischer Reflexion der Überlegungen von TREND bei Schülervorstellungen eher von

„shallow time“ gesprochen werden.

Die Vorstellungen der im Cluster 1 zusammengefassten Probanden weisen in den Antworten auf die offenen Einstiegsfragen deutliche Ähnlichkeiten auf. Zentral ist dabei, dass von einer relativen Stabilität der Auswirkungen ausgegangen wird – ob ein Meteorit groß oder klein ist, oder mit welcher Geschwindigkeit er auftritt entscheidet nicht, welche Auswirkungen folgen. Der Wirkungsradius ist dabei fixiert:

„Im Umkreis von 100 km sterben alle Lebewesen aus.“ (Fragebogen NördlingenKL5a22, Monkey)

„Nach dem Einstoß des Meteoriten entsteht ein Erdbeben bis zu 10 km Entfernung.“ (Fragebogen BadReichenhallKL5d25, Pferdehof)

„Er fliegt in die Erde, sprengt alles weg, alles raucht, Gestein entsteht, im Umkreis von 550 km kein Leben.“ (Fragebogen NördlingenKL5a13, Spondgebob)

Im Gegensatz dazu stehen die Aussagen der Schüler, die in Cluster 2 zugeordnet sind. Auch hier zeigen die Antworten auf die offenen Fragen deutlich Ähnlichkeiten zwischen den Schülervorstellungen auf. Die Probanden setzen sich mit unterschiedlichen Maßstabsebenen und Zeiträumen möglicher Auswirkungen auseinander, zudem gehen sie auf Systemzusammenhänge ein:

„Ich denke, ein sehr großer Meteoriteneinschlag kann Einfluss auf das Klima haben. Kleine Einschläge haben weniger Auswirkung.“ (MainburgKL11b7, 5678)

„Je nach Größe des Meteoriten kann es sein, dass die menschliche Zivilisation stark geschädigt wird oder sogar ausgerottet wird, während die Natur zwar auch betroffen ist, sich aber, wie nach dem Einschlag der die Dinos ausrottete, wieder erholen wird.“ (MainburgKL11a7, Schulz0815)

„Der Einschlag eines Meteoriten mit einem Durchmesser von 10km könnte die Flora und Fauna der Erde nach und nach ändern, da die Lebensbedingungen auf dem Planeten sich für einen gewissen Zeitraum ändern. Wahrscheinlich wurde der Lauf der Evolution schon mehrmals durch Meteoriteneinschläge beeinflusst. Außerdem würde ein Großteil der Erdbevölkerung sterben.“ (HofKL11a3, Milamber)

„Ein Meteorit kreuzt die Umlaufbahn der Erde --> dringt in die Atmosphäre ein --> große Masse + große Geschwindigkeit --> sehr große kinetische Energie, die sich beim Aufprall in Detonation + Wärmeenergie umwandelt. --> große Zerstörungskraft. 1. Zerstörung 2. Tod 3. Je nach Größe weltwirtschaftliche Veränderungen 4. Staub kann in die Atmosphäre gelangen --> Verdunkelung der Erde --> Klimaveränderung - -> Aussterben bestimmter Arten.“ (MainburgKL11a10, Jonny0505, Fragen 3 und 4 kombiniert).

Jedoch sind die Vorstellungen – unabhängig von der Clusterzuordnung – manchmal zu gewagt. Ähnlich den Konzepten von Pierre Simon de LAPLACE aus dem 18. Jahrhundert werden Erdbahnänderungen und die Zerstörung der Erde genannt:

„Einer gewaltiger Meteoriteneinschlag könnte die ganze Erde vernichten.“ (MainburgKL5c2, Bogen T.F.)

„Ein heißer, leuchtender Stein kommt auf die Erde und er bricht in das Erdinnere

ein.“ (MainburgKL5c14, Rappe 12)

„Im Ozean: Überschwemmung; Auslenkung der Erdumlaufbahn?; Auslöschung von Leben; Druckwelle durch Aufprall.“ (MainburgKL11b9, CO).

Inhaltlich können die Vorstellungen der beiden Cluster damit wie folgt beschrieben werden (siehe Abbildung 85):

- Konzept des ‚heißen Steins aus der Erdumlaufbahn‘ mit relativ ähnlichen Impakt-Auswirkungen unabhängig von der Größe oder anderen Variablen (Cluster 1)
- Konzept des ‚Meteoriteneinschlags aus dem Sonnensystem‘ mit unterschiedlichen Auswirkungen abhängig von verschiedenen Variablen (Cluster 2)

Zusammenfassend können somit zwei Typen als Ergebnis der Clusteranalyse festgehalten werden. In der Vorstellungs-Matrix ist Typ 1 im unteren, linken Bereich angesiedelt und verfügt damit über relativ einfache Vorstellungen, die nur zum Teil mit wissenschaftlichen Konzepten übereinstimmen. Zudem zeigen Probanden, die Cluster 1 angehören, ein geringeres Verständnis der geologischen Zeiträume (siehe Abbildung 85).

Typ	Komplexität	Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen	Konzept der geologischen Zeitskala
Cluster 1	Gering	Weniger Übereinstimmung	‚shallow time‘
Cluster 2	Hoch	Mehr Übereinstimmung	‚deep time‘

Abbildung 85: Charakterisierung der Vorstellungs-Typen

Im Gegensatz dazu kann Cluster 2 im oberen, rechten Bereich der Vorstellungs-Matrix verortet werden. Damit sind die Vorstellungen dieser Gruppe komplexer und näher an den wissenschaftlichen Konzepten angesiedelt. Weiterhin zeigen die Schüler dieses Typs eher die Vorstellungs-Muster, die als ‚deep time‘ framework bezeichnet werden.

4.2.5.1.5. Einfluss unabhängiger Variablen auf kognitive Vorstellungen

Im Gegensatz zu den eindeutig unabhängigen Variablen Alter und Geschlecht muss bei der Variable Interesse darauf hingewiesen werden, dass Korrelationen zwischen Interesse und Vorstellungen nicht als Ursache-Wirkungs-Zusammenhang interpretiert werden dürfen. Die Forschung zum Zusammenhang von intrinsischer Motivation, Interesse und kognitiven wie affektiven Vorstellungen würde ein zu breites Feld eröffnen, so dass eine Behandlung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist. Daher wird auf eine Aussage zum kausalen Zusammenhang von Interesse und Vorstellungen verzichtet.

Da die Abhängigkeit von den unabhängigen Variablen Geschlecht und Alter der Bereiche Interesse und Gefahreinschätzung bereits in den jeweiligen Kapiteln behandelt worden ist, sollen hier die Korrelationen der gebildeten Cluster mit den unabhängigen Variablen beschrieben werden.

Für die Gesamtstichprobe zeigen sich durch die Prüfung der bivariaten Korrelationen folgende Zusammenhänge (siehe Abbildung 86):

- Hochsignifikanter Zusammenhang (Niveau von 0,01) von Clusterzugehörigkeit und Klasse: ältere Schüler (Klasse 11) sind wesentlich häufiger in Cluster 2 (hohe Komplexität und Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten der Vorstellungen), jüngere Schüler (Klasse 5) sind häufiger in Cluster 1 zu finden;
- Signifikanter Zusammenhang (Niveau von 0,05) von Clusterzugehörigkeit und Geschlecht: Jungen sind häufiger Cluster 2 zugeordnet als Mädchen und verfügen damit über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Interesse;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Gefahreneinschätzung.

Cluster	Klasse	Geschlecht	Interesse	Gefahreneinschätzung
<i>Korrelation nach Pearson</i>	,389	,156	,020	-,071
<i>Signifikanz (1-seitig)</i>	,000	,001	,342	,081

Abbildung 86: Korrelationen der Cluster mit unabhängigen Variablen (Gesamtstichprobe)

Diese Ergebnisse können durch die Segmentierung der Stichprobe noch verfeinert werden. Da sich die kognitiven Vorstellungen je nach Klassenstufe und Geschlecht erheblich voneinander unterscheiden, wird eine Segmentierung nach diesen Kriterien durchgeführt.

Für die Stichprobe der Schüler der 5. Jahrgangstufe zeigt sich folgendes Bild (siehe Abbildung 87):

- Hochsignifikanter Zusammenhang (Niveau von 0,01) von Clusterzugehörigkeit und Geschlecht: Jungen sind häufiger Cluster 2 zugeordnet als Mädchen und verfügen damit über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen;
- Hochsignifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Interesse: am Thema interessierte Schüler sind wesentlich häufiger in Cluster 2 vertreten, verfügen also über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Gefahreneinschätzung.

Cluster	Geschlecht	Interesse	Gefahreneinschätzung
<i>Korrelation nach Pearson</i>	,215	,269	-,003
<i>Signifikanz (1-seitig)</i>	,001	,000	,486

Abbildung 87: Korrelationen der Cluster mit unabhängigen Variablen (Klasse 5)

Damit ergeben sich bei der Betrachtung nach Klassenstufe wichtige Ergebnisse. Zentrale Bedeutung hat die Korrelation von Interesse und kognitiven Vorstellungen. War dieser Zusammenhang in der Gesamtstichprobe nicht zu beobachten, zeigt sich in der 5. Jahrgangsstufe eine hochsignifikante Beziehung ($p = ,000$). Dieser Zusammenhang kann auch – jedoch in deutlich abgeschwächter Form – für die Teilstichprobe der 11. Klasse festgestellt werden ($p = ,025$). Dieses Ergebnis steht nicht im Widerspruch zu dem Resultat, dass die Gesamtstichprobe keinen signifikanten Zusammenhang von Interesse und Vorstellungen aufweist. Erklären lässt sich dies mit dem äußerst großen Unterschied der Vorstellungen zwischen der 5. und 11. Jahrgangsstufe.

Weiterhin zeigt sich auch bei den Oberstufenschülern, dass Jungen über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen verfügen (siehe Abbildung 88). Ebenfalls gültig ist die Aussage, dass kognitive Vorstellungen (Clusterzugehörigkeit) und affektive Vorstellungen (Gefahreinschätzung) statistisch nicht zusammenhängen.

Cluster	Geschlecht	Interesse	Gefahreinschätzung
Korrelation nach Pearson	,177	,141	,119
Signifikanz (1-seitig)	,007	,025	,056

Abbildung 88: Korrelationen der Cluster mit unabhängigen Variablen (Klasse 11)

Eine weitere Segmentierung nach Geschlecht ergibt folgende Ergebnisse für Mädchen (siehe Abbildung 89):

- Hochsignifikanter Zusammenhang (Niveau von 0,01) von Clusterzugehörigkeit und Klassenstufe: Schülerinnen der 11. Jahrgangsstufe sind häufiger Cluster 2 zugeordnet als jüngere Mädchen und verfügen damit über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Interesse;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Gefahreinschätzung.

Cluster	Klasse	Interesse	Gefahreinschätzung
Korrelation nach Pearson	,420	-,042	-,133
Signifikanz (1-seitig)	,000	,272	,028

Abbildung 89: Korrelationen der Cluster mit unabhängigen Variablen (Mädchen)

Die Aussagen zeigen im Vergleich zur Gesamtstichprobe keine Änderungen auf – Interesse und Gefahreinschätzung zeigen sich bei den Mädchen als nicht zusammenhängende Faktoren.

Bestätigt wird dieses Ergebnis durch die Korrelationswerte für die Gruppe der Jungen, bei denen sich folgendes Resultat zeigt (siehe Abbildung 90):

- Hochsignifikanter Zusammenhang (Niveau von 0,01) von Clusterzugehörigkeit und Klassenstufe: Schüler der 11. Jahrgangsstufe sind auch häufiger Cluster 2 zugeordnet als jüngere Jungen und verfügen damit über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen;

- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Interesse;
- Kein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Gefahreneinschätzung.

Cluster	Klasse	Interesse	Gefahreneinschätzung
Korrelation nach Pearson	,387	,062	-,010
Signifikanz (2-seitig)	,000	,200	,445

Abbildung 90: Korrelationen der Cluster mit unabhängigen Variablen (Jungen)

Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, dass sich die Vorstellungsmuster erheblich zwischen den beiden untersuchten Altersstufen unterscheiden und auch Geschlechterdifferenzen zu erkennen sind. Ältere Schüler verfügen über Vorstellungen, die komplexer und näher an wissenschaftlichen Vorstellungen angelehnt sind als jüngere Schüler. Dies gilt auch beim Vergleich der Vorstellungen von Mädchen und Jungen – jene zeigen weitaus einfachere und wissenschaftsfernere Vorstellungen.

Dass Schüler mit hohem Interesse auch über erweiterte Vorstellungsmuster verfügen, kann in vorliegender Studie durch eine Segmentierung in jüngere (5. Klasse) und ältere Schüler (11. Klasse) eindeutig belegt werden.

Demgegenüber zeigt sich weder in der Gesamtstichprobe noch in den Segmenten ein Zusammenwirken von kognitiven und affektiven Vorstellungen. Die Gefahreneinschätzung zu Meteoriteneinschlägen scheint unabhängig von der Qualität der vorhandenen Vorstellungsmuster zu sein.

4.2.5.1.6. Quellen der Vorstellungen

Die Frage nach dem Ursprung der Vorstellungen ist ein zentraler Bestandteil der Didaktischen Rekonstruktion. Durch die Verwendung von quantitativen Methoden ist es möglich, ein detailliertes Bild von den Quellen, aus denen Schüler ihre Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen beziehen, zu gewinnen.

Im Fragebogen wurde eine Reihe von Quellen unterschieden, die zur Auswahl standen. Insgesamt nannten jedoch 59 Schüler (14,75%), dass sie keinerlei Quellen für ihre Vorstellungen besitzen. Davon sind 26 Schüler aus der 5. Klasse, 33 aus der 11. Jahrgangsstufe – nach Geschlecht differenziert sind es 24 Jungen und 35 Mädchen.

Die Vorstellungen der Schüler werden von den Hollywood-Filmen ‚Deep Impact‘ und ‚Armageddon‘ deutlich beeinflusst (siehe Abbildung 91). Dies zeigen die Nennungen der beiden Filme in den Fragebögen. Insgesamt werden Kinofilme 97 Mal als Quellen genannt. An erster Stelle steht dabei ‚Armageddon‘ mit 16 Nennungen, gefolgt von ‚Deep Impact‘ mit vier Nennungen. Jedoch geben wesentlich mehr Jungen diese Quellen an als Mädchen. Zudem ist festzustellen, dass – offensichtlich bedingt durch das Erscheinungsdatum vor über zehn Jahren – mehr Schüler der 11. Klasse die Filme kennen als die jüngeren Schüler.

Bereich der Informationsquellen	Wichtige Einzelnennungen
Dokumentationen im Fernsehen	• 37x die Sendung ‚Galileo‘ • 13x Sendungen auf ARD, ZDF, Phoenix, ARTE; • Weitere Nennungen: ‚Wunderwelt Wissen‘, Dokumentationen auf n-tv und N24
Fachbücher	• 17x die Kinder- und Jugendbuchreihe ‚Was ist Was?‘ • Weitere Nennungen: Bücher über Dinosaurier und Astronomie
Schule und Unterricht	• 10x Exkursionen • Alle übrigen Nennungen beziehen sich auf den Geographieunterricht (nur je eine Nennung von Biologie und Mathematik)
Kino- und Fernsehfilme	• 16x ‚Armageddon‘ • 4x ‚Deep Impact‘ • 2x ‚Independence Day‘
Zeitschriften	• 10x ‚Geo‘ oder ‚Geolino‘ • 3x ‚Stern‘ • Je 1x ‚Focus‘ und ‚Spiegel‘
Tages- und Wochenzeitungen	• 5x ‚Bild‘ • Diverse Lokalzeitungen • 1x ‚Süddeutsche Zeitung‘
Internet	• 4x ‚Wikipedia‘
Sonstige Quellen	• 19x Erzählungen (Eltern, Freunde, Bekannte) -> davon 5 aus Nördlingen • 28x Rieskratermuseum -> davon 27 aus Nördlingen

Abbildung 91: Quellen der Vorstellungen über Meteoriteneinschläge (Gesamtstichprobe)

Analog zum Einfluss der Kinofilme sind Dokumentarfilme im Fernsehen eine zentrale Quelle für die Vorstellungen über Meteoriteneinschläge. Insgesamt wurden Dokumentationen im Fernsehen von 212 Schülern genannt – und sind damit die häufigste Informationsquelle. Dabei überwiegen die Sendungen der privaten Sender deutlich: ‚Galileo‘ (Pro7) wird 37-mal namentlich erwähnt, während Dokumentationen auf den öffentlich-rechtlichen Sendern 13-mal genannt werden.

Die zum Teil sehr hohen Werte für die Massenmedien dürfen jedoch nicht die übertragende Bedeutung des Geographieunterrichts überdecken. Mit einer Anzahl von 166 Nennungen stehen Schule und Unterricht an zweiter Stelle der Quellen. Davon können nahezu alle Aussagen dem Geographieunterricht zugewiesen werden – andere Schulfächer fallen fast vollständig als Vermittler der Impakt-Thematik beiseite.

Das Rieskratermuseum ist für die Schüler aus Nördlingen ein zentraler Ort für die Auseinandersetzung mit der Impakt-Thematik. Von den 108 Nördlinger Schülern geben 27 einen Besuch im Museum über das Nördlinger Ries als Quelle ihrer Vorstellungen an – davon haben bereits acht Probanden in der 5. Klasse das Museum besucht. Dies zeigt sich exemplarisch auch in den Interviews mit Schülern aus Nördlingen, die das Museum auch in ihrer Freizeit nutzen: *„Insgesamt war ich bisher drei Mal im Rieskratermuseum, auch mit Führungen. Dabei waren wir zweimal vom Geburtstag aus im Museum, einmal so.“* (Interview Beate, Zeile 3-4). Dem gegenüber wird das Rieskratermuseum von Schülern außerhalb Nördlingens kaum erwähnt.

Aus lokaler Sicht sind ebenfalls die Erzählungen von Bekannten und Freunden zu nennen, die hauptsächlich von Nördlinger Schülern genannt worden sind.

4.2.5.2. Ergebnisse der qualitativen Studie

Die Ergebnisdarstellung der Interviews orientiert sich an in den früheren Studien zur Didaktischen Rekonstruktion verwendeten Dreischritt aus:

- Geordneten Aussagen,
- Explikation,
- Strukturierung.

Die inhaltliche Ordnung nach Ablauf, Auswirkungen, Abwehr und Wahrscheinlichkeit eines Einschlags sowie die geologische Zeitskala wird in jedem Auswertungs-Schritt durchgeführt.

Für die Interviews lagen die Fragebögen vor, wurden aber nicht als zentraler Bezugspunkt für die Interviewgestaltung verwendet, um eine Beeinflussung der Probanden zu minimieren. Vielmehr können die Ergebnisse des Fragebogens mit denen der Interviews nach der Auswertung in Verbindung gesetzt werden. Hierzu dient auch die Zusammenfassung am Ende der Strukturierung, die ein kompaktes Resümee der Interviewergebnisse darstellt.

4.2.5.2.1. Interview Stephan

4.2.5.2.1.1. Stephans Fragebogen und Gesamteindruck im Interview

Stephan (Fragebogen Mythery Thriller) ist Schüler der 5. Klasse (Alter 11 Jahre) am Gymnasium Bad Reichenhall. Bei der Analyse seines Fragebogens konnte er Cluster 2 (Komplexität $x = ,785$, Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen $x = ,374$) zugeordnet werden. Er zeigt also für einen jungen Schüler bereits ausgeprägte Vorstellungen zum Thema Meteoriteneinschläge. Dies schlägt sich auch in den Antworten zur geologischen Zeitskala wieder, denn hier gibt Stephan für fünf der sechs Items eine Angabe an (siehe Abbildung 92).

Item	Stephans Angaben
Ende der letzten Eiszeit	1.000.000
Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries	100.000
Entstehung der Erde	500.000.000.000
Bau der Pyramiden in Ägypten	3.000
Aussterben der Dinosaurier	10.000.000
Entstehung des Universums	Weiß nicht

Abbildung 92: Altersangaben zu geologischen und historischen Ereignissen durch Stephan

Seine Vorstellungen zu Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags hat Stephan bereits ausführlich im Fragebogen angegeben:

„Der Meteorit wird aus seiner Umlaufbahn gebracht. Fliegt mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 km pro Sekunde auf die Erde zu. Wenn er in die Erdatmosphäre eintritt

nimmt er noch an Geschwindigkeit zu und fängt durch die Reibung an zu glühen; dadurch verliert er einen Teil seiner Masse. Beim Einschlag trifft der Meteorit mit einer Kraft von mehreren Atombomben auf die Erde und richtet verheerenden Schaden an. Die Druckwelle zerstört alles im Umkreis von etwa 100 km.“ (Fragebogen BadReichenhallKL5d3, Mythery thriller, Fragen 3 und 4)

Bereits hier zeigt sich die Elaboriertheit der Vorstellungen Stephans, denn er gibt genaue Angaben zu Geschwindigkeit, Hitzeentwicklung und Energieumsatz bei einem Meteoriteneinschlag. Jedoch deutet die Angabe eines begrenzten Wirkungskreises von einhundert Kilometern zunächst auf eine statische Konzeption der Auswirkungen hin.

Weiterhin zeigt er ein sehr hohes Interesse an der Thematik mit $\xi=4,75$ – er hat also für alle Items hohes oder sehr hohes Interesse bekundet; lediglich die selbstständige Beobachtung von Asteroiden und Kometen interessiert ihn nur zum Teil ($x=3,00$).

Bei der Gefahreneinschätzung sieht er Impakte als besonders große Bedrohung, da er sowohl auf individueller wie auf globaler Ebene die Gefahreneinschätzung mit dem Höchstwert $x=5,00$ angibt, wobei er andere Gefahren weniger hoch einschätzt.

Als Quellen seiner Vorstellungen gibt Stephan lediglich die Dokumentationen auf N24 an.

Beim Interview, das in einer entspannten Atmosphäre stattfand, zeigt sich Stephan als sehr aktiv – die Antworten auf die Fragen kommen ohne Verzögerung und wirken sehr rational. Er drängt geradezu darauf, seine Vorstellungen über Meteoriteneinschläge und andere Naturkatastrophen kund zu tun. Stephans Beispiel lässt vermuten, dass die Vorstellungen von jungen Schülern mit denen der 11. Jahrgangsstufe durchaus vergleichbar sein können und keine grundsätzlichen entwicklungspsychologischen Barrieren für eine direkte Gegenüberstellung der Vorstellungen berücksichtigt werden müssen.

4.2.5.2.1.2. Geordnete Aussagen

Auseinandersetzung mit dem Thema

Nein, ich habe mich seit dem Ausfüllen des Fragebogens nicht noch einmal aktiv mit dem Thema Meteoriteneinschläge beschäftigt (Zeile 1-2).

Ablauf eines Einschlags

Das Bild ähnelt der Darstellung vom Tod der Dinosaurier, die durch einen Meteoriteneinschlag ausgelöscht wurden. Der Begriff für den entstehenden künstlichen Winter fällt mir nicht ein; dieser Winter wird durch den Staub verursacht.

In unserem Sonnensystem gibt es Milliarden von Meteoriten. Wenn ein Meteorit durch die Anziehungskraft eines Planeten durch den Zusammenstoß mit einem anderen Meteoriten von seinem Kurs abgebracht wird, dann bekommt der im Weltall eine ungeheuerliche Geschwindigkeit drauf, ca. 300 km/s.

Ein Meteorit kann dann in die Erdatmosphäre eintreten - was extrem selten ist, weil der Jupiter mit seiner Anziehungskraft die meisten Meteoriten abhält.

Aber wenn ein riesiger Meteorit mit einem Durchmesser von ca. einem Kilometer in unsere Atmosphäre eintritt, dann nimmt er noch mal an Geschwindigkeit auf und die hat die Schlagkraft von mehreren Hundert Hiroshima-Bomben.

Vorher bröckeln aber schon Teile durch die Reibung der Luft ab und der Meteorit hat nur noch ca. 750 Meter Durchmesser (Zeile 6-20).

Er wird fast um das Doppelte oder Dreifache schneller durch die Erdanziehungskraft.

Im Weltall wirkt die Anziehungskraft noch nicht richtig, aber durch den Ruck nimmt er immer weiter an Geschwindigkeit auf, weil er keinen Gegendruck hat.

Aber in der Atmosphäre wird er noch mal angezogen durch sein Gewicht und es zieht ihn nach unten.

Dadurch wird der Einschlag noch um Einiges heftiger.

Es gibt unterschiedlich große Einschläge: ganz kleine, kaum bemerkte Einschläge, z.B. Sternschnuppenregen, die in der Atmosphäre verglühen.

Aber manche sind vielleicht so groß, dass sie mit Faustgröße auf unserer Erde einschlagen.

Aber das hat dann eigentlich gar keine Auswirkungen.

Wie groß der Meteorit war, durch den die Dinosaurier ausgelöscht wurden, ist schwer zu sagen; ich schätze mal er hatte einen Durchmesser von fünf bis zehn Kilometern (Zeile 37-50).

Es gibt verschiedene Meteoriten – z.B. einen großen Eismeteoriten. Dieser war auf Kollisionskurs mit der Erde und ist sogar der enormen Anziehungskraft des Jupiters entkommen. Es bestand die Gefahr, dass er die Erde zerstört wird, weil er so gigantisch war. Aber anscheinend ist er im Weltall geschmolzen, denn dort kann es einmal unerträglich heiß und dann wieder sehr kalt sein – und durch diese Hitze ist er geschmolzen (Zeile 86-91).

Durch den Eintritt in die Erdatmosphäre verglüht ein Meteorit zum größten Teil, weil die Reibung durch die Luft so groß ist. Im Weltall gibt es keine Luft und deswegen auch keine Reibung. Aber auf der Erde gibt es Luft, die reibt dann den Meteoriten, dadurch entsteht die unvorstellbare Hitze. Und durch diese Hitze glüht der Meteorit - deshalb werden die Meteoriten auch manchmal als Feuerbälle bezeichnet. Durch die Reibung verfärbt der sich auch, weil er geglüht hat und dann vielleicht schockartig wieder abgekühlt ist (Zeile 99-105).

Auswirkungen eines Einschlags

Nachdem er durch die Atmosphäre gedrungen ist, trifft er auf die Erdoberfläche auf und die Explosion ist praktisch vergleichbar mit der Explosion von einhundert Hiroshima-Bomben – gleichzeitig! Durch den aufgewirbelten Staub, bzw. durch die Wasserteilchen, wenn er im Meer einschlägt, entsteht ein physischer Winter.

Wenn es ein großer Meteorit war, dann verbreitet sich der Staub über den gesamten Planeten und lässt auch kein Licht mehr durch.

Dadurch fällt die Temperatur rapide: selbst wenn es in einem Moment noch Hochsommer und 40 Grad heiß ist, kann es nach kürzester Zeit schon kalt mit Minus 10 Grad haben.

Der Winter kann Jahre dauern, bis der sich wieder gelegt hat. Denn es werden ja Millionen, vielleicht sogar Milliarden Tonnen von Staub in die Erdatmosphäre gebombt.

Bei einem Einschlag ins Wasser entstehen gigantische Tsunamis, Vergleichen kann man das mit dem Jahrhundertsunami, der die Welt innerhalb einer Stunde dreimal umrundet hat. Ein Tsunami durch einen Meteoriteneinschlag hat eine noch größere Kraft. Die können bis zu 50 oder 100 Meter groß werden (Zeile 21-36).

Ein Meteoriteneinschlag ist eigentlich die größte Naturkatastrophe, die unserer Erde passieren kann. Weil durch die Druckwelle Feuer entfacht werden.

Und das Wasser, das mächtigste Element der Erde, wird aufgebäumt zu gigantischen Tsunamis.

Und dann gibt es noch den Winter, der das Leben so gut wie unmöglich macht.

Durch die Druckwelle eines gigantischen Meteoriteneinschlags hier in Bayern wurden ganze Berge in die Luft gesprengt und in Rom gab es Aufzeichnungen vom Lichtblitz – dort musste man sich die Augen zuhalten und man konnte den Knall hören. Wann das war, weiß ich jedoch nicht.

Eine Folge kann dieser lange Winter sein, der manchmal Jahrhunderte dauert. In dieser Zeit kann auch nichts mehr wachsen, weil die Sonne nicht mehr durchkommt. Dadurch können keine neuen Pflanzen mehr nachwachsen. Und durch den Tsunami werden die Pflanzen und ein sehr großer Lebensraum für Tiere zerstört. Das ist wirklich eine große Katastrophe (Zeile 51-64).

Abwehr eines Meteoriten

Einem Meteoriteneinschlag kann man nicht entgehen, denn selbst wenn ein Meteorit in Hamburg einschlägt, würde die Druckwelle hier in Bad Reichenhall noch das Gymnasium umreißen.

Derzeit kann man sich zwar nicht vor einem Meteoriteneinschlag schützen, aber es wird daran gearbeitet, ein Raketen-Abwehrsystem zu bauen. Dann schießt man mit Atomraketen auf den Meteorit und hofft, ihn dadurch zu zerstören. Aber die Trümmerteile bleiben weiterhin ein Problem, denn sie können auf der Erde einschlagen. Wenn z.B. ein Meteorit mit fünf Kilometern Durchmesser in fünf Teile gesprengt wird, dann fallen immer noch Teile mit einem Kilometer Durchmesser auf die Erde – und das ist auch verheerend. Es ist sogar eine noch schlimmere Katastrophe, denn die Wirkung ist großflächiger.

Ja, es ist sehr sinnvoll, dass sich Politiker oder Katastrophenschutz mit dem Thema beschäftigen. Denn wenn ein gigantischer Meteorit die Erde bedroht – einer, der die halbe Erde zerstören könnte – dann ist es sehr sinnvoll, Abwehrmaßnahmen zu haben. Man könnte dann mit der modernen Technik den Meteoriten zerstören oder aus seiner Bahn werfen.

Es wurden bereits Tests durchgeführt und es gibt außerirdische Gestein, denen eine Explosion nichts anhaben kann. Dann hat man natürlich ein Problem, denn wie soll man mit der zweitmächtigsten Bombe der Erde – der Atombombe – einen Meteoriten zerstören, der dagegen immun ist (Zeile 65-84).

Andere Meteoriten sind aus massivem Gestein oder fremden Metallen. Wenn ein Meteorit aus massivem Gestein und fremden Metallen, die vielleicht auch atomar strahlen, zerstört werden soll, dann wäre es möglich, dass eine Atombombe nichts ausrichten kann. Denn eine Atombombe macht einen gigantischen Krater von vielleicht 500 Metern Tiefe, aber wenn der Meteorit einen Durchmesser von zehn Kilometern hat, dann hat ja eine Atombombe keine Wirkung und es ist nur ein Kratzer auf seiner Oberfläche (Zeile 92-98).

Wenn ein großer Meteorit auf direktem Kollisionskurs mit der Erde ist, dann sollte eine sofortige Evakuierung der Bevölkerung beginnen. Vielleicht auf die andere Seite der Erde. Das muss sehr schnell gehen, denn ein Meteorit bewegt sich mit einer unvorstellbaren Geschwindigkeit – ich habe es ja vorher schon gesagt - mit mehreren Hundert Kilometern in der Sekunde (Zeile 117-121).

Geologische Zeitskala

Ich glaube, in Deutschland gab es mal einen Einschlag, der Riedel heißt (Zeile 85).

Wenn der Meteorit vor Jahrmillionen eingeschlagen ist, dann ist an der Stelle liegen geblieben und durch die Eruption, also durch Erdbewegung, wurde er später verschüttet und oberhalb ist neues Gestein entstanden. Vielleicht ist mal ein Bach darüber geflossen, der weißes Gestein darüber geschüttet hat - dadurch war oben weißes Gestein und unten ist es dann dunkler geworden.

Die Dinosaurier sind vor ca. zehn bis zwanzig Millionen Jahren ausgestorben (Zeile 106-111).

Wie groß der Meteorit war, durch den die Dinosaurier ausgelöscht wurden, ist schwer zu sagen; ich schätze mal er hatte einen Durchmesser von fünf bis zehn Kilometern (Zeile 62-64).

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Der Prozentsatz an gefährlichen Meteoriten, die auf Kollisionskurs mit der Erde sind, ist sehr gering. Also ist die Gefahr, durch einen Meteoriteneinschlag ums Leben zu kommen, sehr unwahrscheinlich.

Ein kleinerer Meteorit verglüht oder wird zumindest kleiner – es ist eben blöd, wenn man ihn auf den Kopf bekommt (Zeile 112-116).

Und es gibt sogar im Moment gefährliche Meteoriten, die auf uns zukommen, die aber vielleicht erst in einer Million Jahren einschlagen werden. Aber ob er einschlägt, kann man nie genau wissen (Zeile 121-124).

Quellen der Vorstellungen

Die Quellen für die Vorstellungen über Meteoriteneinschläge sind hauptsächlich die Dokumentationen auf den TV-Sendern N24 und Pro7. Ich interessiere mich für alles, was mit dem Thema Naturkatastrophen zu tun hat (Zeile 3-5).

4.2.5.2.1.3. Explikation

Ablauf eines Einschlags

Stephan kommt von sich aus sofort auf das Thema Dinosaurier zu sprechen – für ihn ist die Aussage, dass sie durch einen Meteoriteneinschlag ausgelöscht wurden, klares Faktum. Zwar kann er den Begriff des ‚Nuklearen Winters‘ nicht nennen, jedoch ist dieses Konzept Teil seiner Vorstellungen.

Nahezu ohne Pause berichtet Stephan von seinen Vorstellungen zur Herkunft der Meteoriten und deren Einschlagsverlauf. Dabei orientiert er sich nahezu exakt an der fachwissenschaftlichen Struktur des Themas und geht zuerst auf das Sonnensystem als Herkunftsort der Meteoriten ein. Seine Ausführungen untermauert er durch quantitative Angaben zu Geschwindigkeit und Größe des Impaktors. Der Detailreichtum seiner Vorstellungen reicht dabei bis zur Tatsache, dass Jupiter die meisten Meteoriten durch seine Gravitation von der Erde abhält. Dadurch werden für Stephan Impakte extrem selten. Er erkennt jedoch das mögliche Zerstörungspotenzial an, denn wiederum quantifiziert er seine Vorstellungen zu den Auswirkungen eines großen Einschlags mit Atombombenäquivalenten. Dabei weist er der Atmosphäre durch ihre Reibung eine schützende Funktion für die Erde zu.

Sein Konzept der Gravitation zeigt, dass er die Wirkung dieser Elementarkraft als räumlich begrenzt ansieht, jedoch erkennt, dass sie zur Beschleunigung der Meteoriten in Richtung Erde führt.

Eine zentrale Aussage für Stephan ist auch, dass es unterschiedlich große Einschläge gibt, für die er eine Klassifikation von der Größe von Sternschnuppen bis zu zehn bis fünfzehn Kilometer großen Meteoriten darstellt. Die letztgenannte Größe stimmt für ihn auch mit dem Impaktor des K/T-Einschlags überein.

Auf Nachfrage versucht Stephan, Meteoriten in unterschiedliche Klassen einzuteilen, bleibt aber bei einer Klasse stehen. Er nimmt an, dass Eisenmeteoriten im All schmelzen können. Die Hitzeentwicklung vor einem Einschlag hingegen erklärt Stephan durch die Reibung in der Atmosphäre.

Auswirkungen eines Einschlags

Wiederum vergleicht Stephan Impakte mit den Auswirkungen von Atombomben und zeigt sich fasziniert von den Dimensionen eines Einschlags, die alle künstlichen Explosionen weit übertreffen. Er rekurriert nochmals auf den ‚Nuklearen Winter‘, den er – weil ihm der Begriff nicht einfällt – ‚physischen Winter‘ nennt. Dieser kann nach seiner Meinung sowohl durch den aufgewirbelten Staub wie auch durch induzierte Wasserteilchen ausgelöst werden. Dabei können die Ausmaße den ganzen Planeten umfassen. Stephan malt ein düsteres Bild eines ‚Impakt-Winters‘, der durch rapiden Temperatursturz um 50 Grad und eine jahrelange Dauer gekennzeichnet ist. Auslöser ist der Staub, der nach Stephans Vorstellungen in Mengen von Milliarden Tonnen in die Atmosphäre geschleudert wird.

Auch über die Auswirkungen eines Einschlags im Meer äußert sich Stephan ausführlich, denn er vergleicht sie mit dem Tsunami des Jahres 2004 und geht davon aus, dass die Tsunamis (den Begriff nennt er selbstständig) die Welt in ca. 20 Minuten umrunden können. Die Höhe der Tsunamis gibt er ebenfalls in Zahlen an und nennt eine Höhe von 50 bis 100 Metern.

Abwehr eines Meteoriten

Dass Stephan die Auswirkungen eines Einschlags auch auf eine geographische Ebene projizieren kann, zeigen seine Ausführungen zur Reichweite einer Druckwelle, die bei einem Einschlag in Hamburg auch Bad Reichenhall betreffen würde. Damit einher geht seine Einschätzung, dass man sich nicht vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann. Stephan relativiert diese Aussage jedoch mit dem Blick in die Zukunft, von der er annimmt, dass man Raketenabwehrsysteme zur Zerstörung von Meteoriten haben wird. Auch hier zeigt sich, dass seine Vorstellungen nahe an den wissenschaftlichen Konzepten sind, denn er geht auf das Problem der nach einer Explosion übrig bleibenden Trümmerteile eines Meteoriten ein, die noch größeren Schaden anrichten könnten als ein einzelner Impakt. Er erklärt dies mit dem größeren Wirkungskreis der dann einschlagenden Trümmer. Wiederum gibt Stephan Zahlenangaben, die sich mit wissenschaftlichen Vorstellungen decken – er nennt als Beispiel einen Meteoriten mit fünf Kilometern Durchmesser.

Aus der potenziellen Zerstörungskraft leitet Stephan auch die Notwendigkeit einer Beschäftigung mit dem Thema für Politiker und Katastrophenschutz ab. Abwehrmaßnahmen könnten grundsätzlich auch große Meteoriten abhalten – Stephan vertraut hier vollständig auf die Möglichkeiten der modernen Technik. Eingeschränkt wird dieses Vertrauen nur durch die Vorstellung einer ‚Immunität‘ von einigen Meteoriten gegen die Kraft der Atombombe aufgrund des Materials oder der schieren Größe des Meteoriten. Doch auch für diesen Fall sieht Stephan Handlungsmöglichkeiten, denn er stellt sich im Falle einer überregionalen Bedrohung große Evakuierungsbewegungen – sogar auf globaler Perspektive – als mögliches Szenario vor.

Geologische Zeitskala

Stephans Aussagen zur geologischen Zeitskala beschränken sich nicht auf die Nennung eines ihm bekannten Kraters in Deutschland und der Angabe zum Zeitpunkt des Aussterbens der Dinosaurier (sowie der genauen Angabe der Größe des dazu gehörenden Meteoriten), sondern zeigen seine Fähigkeit, geologische Prozesse in ihrer Kontinuität zu begreifen. Er nennt den Zeitraum von Jahrmillionen, die vergehen, damit eine Einschlagsstelle von Sedimenten verdeckt werden kann.

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Zur Wahrscheinlichkeit eines Einschlags verbleibt Stephan in der Erklärungslage, dass die Gefahr durch einen Meteoriteneinschlag sehr gering ist. Begründet wird dies durch den Verweis auf die Unwahrscheinlichkeit, von einem Meteoriten auf dem Kopf getroffen zu werden – Stephan überträgt somit seine Aussagen zu den globalen Folgen eines Impakts nicht auf die Abschätzung des Gefährdungspotenzials.

4.2.5.2.1.4. Strukturierung

Ablauf eines Einschlags

Konzept „Milliarden von Meteoriten im Sonnensystem“

Konzept „Kurs auf die Erde durch Zusammenstoß mit einem anderem Meteoriten“

Konzept „Jupiter hält mit Anziehungskraft die meisten Meteoriten von der Erde fern“
Konzept „Massenverlust durch Reibung in der Atmosphäre“
Konzept „Unterschiedlich große Einschläge“
Konzept „Dinosaurier wurden durch großen Einschlag ausgelöscht“
Konzept „Verschiedene Meteoritenarten“
Konzept „Unterschiedliche Temperaturen im All“

Auswirkungen eines Einschlags

Konzept „Physischer Winter durch Staub und Wasser in der Atmosphäre“
Konzept „Meteoriteneinschläge verheerender als Atombomben“
Konzept „Plötzlicher Temperaturabfall durch künstlichen Winter“
Konzept „Globale Auswirkungen durch langjährigen Winter“
Konzept „Gigantische Tsunamis durch Meteoriteneinschläge“
Konzept „Tod durch zu hohe Wellen“

Abwehr

Konzept „Weitreichende Auswirkungen ohne Schutzmöglichkeit“
Konzept „Zukünftige Abwehrmaßnahmen mit Raketen“
Konzept „Zersplitterung eines Meteoriten birgt Gefahren“
Konzept „Sinnvolle Auseinandersetzung für Politiker und Katastrophenschutz aufgrund des globalen Gefährdungspotenzials“
Konzept „Verschiedene Meteoritenarten bedürfen verschiedener Abwehr“
Konzept „Evakuierung der Bevölkerung in nicht betroffene Gebiete“

Geologische Zeitskala

Konzept „In Deutschland gab es auch einen Einschlag“
Konzept „Erdbebewegungen verschütten Spuren von Einschlägen“
Konzept „Deep Time“

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Konzept „Sehr geringe Wahrscheinlichkeit eines Einschlags“
Konzept „Kleine Meteoriten verglühen und sind keine Gefahr“
Konzept „Ort des Einschlags nicht genau bestimmbar“

Zusammenfassung

Stephan kann nach der Ordnung, Explikation und Strukturierung seiner Aussagen eindeutig Vorstellungs-Typ 2 zugeordnet werden. Die Ergebnisse des Fragebogens und der Interviews sind komplementär.

4.2.5.2.2. Interview Luisa

4.2.5.2.2.1. Luisas Fragebogen und Gesamteindruck im Interview

Luisa (Fragebogen Ring) ist Schülerin der 5. Klasse (Alter: 11 Jahre) am Gymnasium Bad Reichenhall. Bei der Analyse ihres Fragebogens konnte sie Cluster 1 (Komplexität $x = ,528$, Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen $x = ,275$) zugeordnet werden. Damit liegt sie im Zentrum dieser Gruppe und ihr Interview kann daher auch als Ausgangspunkt für eine Verallgemeinerung der qualitativen Daten dienen.

Zu Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags hat Luisa im Fragebogen bereits Vorstellungen mitgeteilt:

„Eine Sternschnuppe fliegt am Himmel, sie geht aus und fällt hinab auf die Erde, es trifft die Wiese, einen See. Ein Haus, ein Auto, es erschlägt einen Spaziergänger mit seinem Hund.“ (Fragebogen BadReichenhallKL5d1, Ring, Fragen 3 und 4)

Deutlich zeigt sich die statische Konzeption eines Meteoriteneinschlags, denn Luisa geht von einer direkten Einwirkung des Meteoriten auf die Umgebung aus – keine Effekte wie Druckwelle oder eine Explosion werden angegeben. Damit entspricht sie exemplarisch der im Cluster 1 zusammengefassten Probanden.

Weiterhin kann bei Luisa eine parallele Existenz verschiedener Zeitvorstellungen beobachtet werden, wenn sie zur Entstehung des Universums mit der Aussage *„zur Zeit Adams und Evas“* auf biblische Vorstellungen zurückgreift, dann das Alter der Erde jedoch mit *„2 Millionen Jahren“* angibt (Fragebogen BadReichenhallKL5d1, Ring, Frage 10). Es zeichnet sich hier ab, was in kontrastiver Anlehnung an TREND als *„Shallow Time“* bezeichnet werden kann: die geologischen Zeiträume sind den Schülern nicht bewusst oder nur als reines Zahlenwerk bekannt – jedoch nicht verstanden.

Item	Wert
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.	1
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.	3
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.	2
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.	2
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.	4
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.	2
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.	3
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.	4
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.	5
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.	4
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.	5
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.	4
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.	4
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.	5
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.	4
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.	1

Abbildung 93: Interesse der Schülerin Luisa an der Impakt-Thematik

Luisas Interesse am Thema Impakte liegt mit $\xi=3,31$ nahe des Durchschnitts der Gesamtstichprobe. Jedoch sind die Angaben zu den einzelnen Aspekten der Impakt-Thematik sehr different: am meisten interessiert Luisa, wie sie sich vor einem Einschlag schützen kann, ob Versicherungen für einen Einschlag vorsorgen und ob sich auch heute noch ein Impakt ereignen kann – also Fragen, die mit ihrem persönlichen Dasein in direktem Kontakt stehen (siehe Abbildung 93).

Bei der Gefahreinschätzung zeigt Luisa ebenfalls ein komplexes Muster: während sie die Gefahr durch Impakte für sich selbst nur gering einschätzt ($x=2,00$), sieht sie auf globaler Ebene eine sehr hohe Gefahr für die Menschheit ($x=5,00$).

Luisa hat folgende Quellen für ihre Vorstellungen angegeben: Nachrichten, Stern TV, Fränkische und Schwäbische (Tageszeitungen), Erzählungen anderer Leute.

Luisa machte zu Beginn des Interviews einen sehr schüchternen Eindruck, den sie durch ihre Aussage „*Nein, ich habe mich seit dem Ausfüllen des Fragebogens nicht noch einmal aktiv mit dem Thema Meteoriteneinschläge beschäftigt und kenne mich mit Meteoriten gar nicht aus.*“ (Interview Luisa, Zeile 1-3) noch verstärkt. Jedoch verbesserte sich die Interviewsituation und Luisa gab auf alle Fragen breite Auskunft. Das Ende des Interviews markiert insofern eine interessante Wende, als sie konstatiert: „*Ich habe keine Fragen mehr, eigentlich weiß ich jetzt alles.*“ (Interview Luisa, Zeile 58). Durch ihren Einstieg in das Interview kennzeichnet sich Luisa damit zunächst als Schülerin, die sich selbst sehr wenig in Bezug auf Vorstellungen zum Thema Impakte zutraut - diese Selbsteinschätzung ändert sich bis zum Ende des Interviews allein durch die Interviewsituation selbst.

4.2.5.2.2.2. Geordnete Aussagen

Auseinandersetzung mit dem Thema

Nein, ich habe mich seit dem Ausfüllen des Fragebogens nicht noch einmal aktiv mit dem Thema Meteoriteneinschläge beschäftigt und kenne mich mit Meteoriten gar nicht aus. (Zeile 1-3).

Ich habe keine Fragen mehr, eigentlich weiß ich jetzt alles (Zeile 58).

Ablauf eines Einschlags

Ein Meteorit wird im Weltall gebildet und wird von Jahr zu Jahr größer. Irgendwann ist er dann zu schwer und er fällt herunter, da ihn die Luft nicht mehr tragen kann. Der Meteorit kann auf irgendein Land stürzen, das dann zerstört ist.

Ein Meteorit wird schnell sein, denn er wird ja immer schwerer (Zeile 6-9).

Die Hitze des Meteoriten kommt wahrscheinlich von der Sonne, denn dort wird er gebildet.

Beim Flug durch die Atmosphäre wird der Meteorit immer schneller wegen des Luftdrucks.

Es gibt größere und kleinere Meteoriten. Der kleinste hat ca. 100 Meter Durchmesser, der größte 2000 Kilometer (Zeile 13-18).

Auswirkungen eines Einschlags

Wenn ein Meteorit zum Beispiel in Italien einschlagen würde, da wäre das Land total zerstört (Zeile 4-5).

Der Meteorit ist ganz groß und auch ganz heiß – wenn dann beim Einschlag etwas Empfindliches ist, fängt es zu brennen an. Die Gegenstände entzünden sich auch gegenseitig, so dass fast alles brennt (Zeile 10-12).

Wenn der Meteorit ins Wasser stürzt, kocht das Wasser, weil er ja heiß ist. Das Wasser löscht die Hitze dann, aber man kann danach nicht mehr dort baden. Die Hitze hält auch länger an.

Ich kann mir vorstellen, dass ein Meteorit auch an einer Grenze einschlagen kann und dann mehrere Länder davon betroffen sind. Aber wenn z.B. in Italien ein Einschlag stattfindet, merkt man davon in China nichts.

Das Klima wird aber wahrscheinlich anders, weil ein Einschlag das auch verändert. Und je größer der Meteorit ist, desto größer sind die Veränderungen.

Die Auswirkungen bei einem sehr großen Meteoriteneinschlag können sich bis auf die Größe einer ganzen Stadt auswirken.

Ein Meteorit hat auch Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere. Denn wenn er einschlägt, verbrennen die Pflanzen durch die Hitze des Meteoriten. Auch die Luft wird verpestet. Denn auch der Meteoritenstein ist schwer und wenn der auf dem Boden einschlägt, dann wird viel Staub aufgewirbelt.

Es gibt nach einem Meteoriteneinschlag veränderte Gesteine, da sich der Staub auf den Steinen ablagert und dann fest wird. Der Staub wird hoch gewirbelt und landet dann zufällig auf einem Stein, der dann anders aussieht (Zeile 19-35).

Ein Meteoritenstein ist sehr groß. Er ist schwer und heiß. Man weiß nie, wann er einschlägt. Er hat das Land der Dinosaurier zerstört. Die Pflanzen sterben aus. Die Menschen finden keine Nahrung mehr und das Land wird zerstört (Zeile 55-57).

Abwehr eines Meteoriten

Vielleicht haben Forscher Geräte, die dagegen helfen. Aber man kann nicht vorher-sagen, wann und wo er genau einschlagen wird. Man kann die Menschen vorwarnen – aber das kann heute sein oder in einhundert Jahren.

Auf der einen Seite ist es sinnvoll, dass sich Politiker mit dem Thema beschäftigen, weil es sicher mal einen Einschlag geben wird. Aber wann der genau ist, kann man eben nicht sagen (Zeile 49-54).

Geologische Zeitskala

Ich kenne einen Meteoriteneinschlag auf der Erde, in Palästina. Mehr weiß ich dazu nicht.

Die Dinosaurier haben früher gelebt und dann hat ein Meteoriteneinschlag das Land der Dinosaurier total zerstört. Sie hatten kein Fressen mehr und sind ausgestorben. Das war vor Christus, vor ein paar Millionen Jahren (Zeile 36-40).

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Die Gefahr durch einen Meteoriteneinschlag ist sehr groß. Denn er könnte die Menschen, die direkt unter ihm stehen treffen und durch sein Gewicht und seine Hitze töten.

Es sind schon mal Menschen durch einen Einschlag gestorben - die wurden aber nicht erschlagen, sondern sind verhungert, weil sie nichts mehr zu essen fanden.

Man kann Meteoriteneinschläge nicht mit anderen Gefahren vergleichen. Denn wenn man z.B. von einem Skorpion gebissen wird und sofort ein Arzt da ist, dann kann man ein Gegenmittel verabreichen (Zeile 41-48).

4.2.5.2.3. Explikation

Ablauf eines Einschlags

Luisa geht von einer kontinuierlichen Aggregation von Meteoriten im Weltall aus. Durch die zunehmende Größe steigert sich auch das Gewicht – bis ihn die Luft nicht mehr tragen kann. Deutlich ist hier zu erkennen, dass Luisa den Entstehungsort der Meteoriten in oder zumindest nahe in der Erdatmosphäre sucht. Dies sollte auch vor dem Hintergrund der Aristotelischen Vorstellungen zu Kometen als atmosphärische Phänomene gesehen werden.

Dem steht ihre Idee gegenüber, die Hitze beim Einschlag eines Meteoriten stamme von der Sonne – ihrer Vorstellung nach der Entstehungsort der Objekte. Von den unterschiedlichen Größen von Meteoriten hingegen zeigt sie eine wissenschaftsnahe Vorstellung, wenn sie die Durchmesser mit 100-2000 Kilometern angibt. Hier ist lediglich die Obergrenze etwas zu hoch bemessen.

Bezüglich der Geschwindigkeit eines Impaktors denkt Luisa, dass er durch den Luftdruck nicht abgebremst wird, sondern noch an Geschwindigkeit gewinnt – hat also zur Wissenschaft völlig konträre Ansichten.

Auswirkungen eines Einschlags

Luisas Vorstellungen sind zunächst ganz an die lokale Ebene der Auswirkungen eines Einschlags gebunden. Sie kann sich Schäden wie Feuer nur durch einen direkten Kontakt mit dem heißen Meteoriten erklären – einzige Fernwirkung wäre das gegenseitige Entzünden anderer Gegenstände. Luisa nimmt zwar an, dass auch ein ganzes Land durch einen Einschlag verwüstet werden kann, jedoch bleiben ihre Aussagen hier wenig konkret. Auf Nachfrage verbleibt sie sogar in ihrem Vorstel-

lungsrahmen und konkretisiert ihn mit der Aussage, dass lediglich ein Einschlag in einer Grenzregion zwei Länder gleichzeitig betreffen könnte.

Dann jedoch vollzieht sich anscheinend eine Kehrtwende in ihren Aussagen – Luisa erzählt von einem Klimawechsel durch einen Einschlag, der mit größerem Impaktor immer größere Ausmaße annehmen kann. Doch dass dies keineswegs die globale Ebene mit einbezieht, zeigen ihre nachfolgenden Sätze, in denen sie wiederum auf der lokalen Ebene einer Stadt verbleibt.

Luisa erkennt als Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere die Hitze und den aufgewirbelten Staub an. Sie folgert zudem, dass durch die zerstörte Pflanzenwelt Menschen und Tiere keine Nahrung mehr finden können – dadurch seien auch die Dinosaurier ausgestorben.

Abwehr eines Meteoriten

Zu Abwehrmöglichkeiten zeichnet Luisa nur ein vages Bild. Sie nimmt an, dass man nicht genau vorhersagen kann, wann und wo ein Meteorit einschlagen wird. Eine Vorwarnung wäre zwar möglich, aber ohne eine konkrete Zeitangabe. Dennoch sieht sie in der Auseinandersetzung mit dem Thema für Politiker eine sinnvolle Beschäftigung – kann aber hierzu selbst nicht direkt Argumente liefern oder Zusammenhänge nennen. Ob eine aktive Abwehr möglich ist, vermag Luisa ebenso nicht zu beurteilen.

Geologische Zeitskala

Interessant an Luisas Aussagen zur geologischen Zeitskala ist, dass sie zwei Zeitvorstellungen in einem Satz miteinander vermengt. Zum Aussterben der Dinosaurier gibt sie sowohl eine Zahl von Millionen von Jahren an als auch den Zeitraum vor der Geburt Christi. Die Interpretation liegt nahe, dass Luisa zwei Vorstellungswelten zur geologischen Zeit parallel verwendet: die ihr aus der alltäglichen Welt geläufige christliche Zeitrechnung sowie die von der Schule oder TV-Dokumentationen mitgebrachten Zahlenwerte von Millionen und Milliarden Jahren. Dass Luisa zwei Vorstellungsmuster parallel abrufte, lässt sich als Phänomen der Kompartimentalisierung erklären. Wissenschaftliche Konzepte und Alltagsvorstellungen zur geologischen Zeitskala bestehen bei ihr nebeneinander und Luisa springt zwischen beiden Erklärungskonzepten hin und her. MANDL/GRUBER/RENKL (1993) definieren diesen Status folgendermaßen: „Kompartimentalisierung heißt, daß das Wissen über eine bestimmte Domäne aus verschiedenen, separat gehaltenen und nicht miteinander verknüpften Teilen zusammengesetzt ist.“³⁶⁷. Die bloße Nennung von Millionen von Jahren von Luisa zeigt also noch kein wissenschaftliches Verständnis geohistorischer Zeiträume an.

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Luisa geht in ihren Vorstellungen von den direkten Einflüssen des Meteoriten auf seine Umgebung aus; sie begründet ihre hohe Gefahreinschätzung damit, dass man der Hitze und dem Gewicht des Meteoriten nicht ausweichen kann, falls er di-

³⁶⁷ MANDL, H., GRUBER, H. und RENKL, A. (1993) *Lernen im Physikunterricht – Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlicher Erfahrung*. Forschungsbericht Nr. 19, Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie. München. S.27

rekt auftritt. Sie sieht also auf den ersten Blick nur die rein lokalen Auswirkungen, kommt jedoch bei der Abschätzung der Wahrscheinlichkeit auch auf das Problem der fehlenden Nahrungsmittel durch Folgeschäden des Einschlags zu sprechen. Also pendelt sie auch hier zwischen lokaler Ebene und globalem Maßstab.

Beim Vergleich zu anderen Gefahren greift sie auf einen medizinischen Vergleich zurück: ein Gegenmittel für Meteoriteneinschläge gäbe es einfach nicht.

4.2.5.2.2.4. Strukturierung

Ablauf eines Einschlags

Konzept „Fortdauernde Bildung von Meteoriten im Weltall“

Konzept „Hohes Gewicht führt zum Absturz auf die Erde“

Konzept „Meteorit schwebt nahe an der Erde“

Konzept „Hitze des Meteoriten von der Sonne“

Konzept „Geschwindigkeit beim Einschlag durch Luftdruck und Gewicht“

Konzept „Heißer Stein, der Feuer auslöst“

Auswirkungen eines Einschlags

Konzept „Stetige Auswirkungen“

Konzept „Lokale Auswirkungen“

Konzept „Kochendes Wasser durch Meteoriten“

Konzept „Klimaveränderung“ (im direkten Gegensatz zum Konzept „Lokale Auswirkungen“)

Konzept „Verpestete Luft durch Staub“

Abwehr

Konzept „Keine Vorhersage eines Einschlags möglich“

Konzept „Sinnvolle Auseinandersetzung für Politiker“

Geologische Zeitskala

Konzept „Dinosaurier sind durch die Folgen eines Einschlags verhungert“

Konzept „Shallow Time“

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Konzept „Große Bedrohung durch Meteoriten wegen Hitze und Gewicht“

Konzept „Ungewissheit über einen möglichen Einschlag“

Konzept „Kein Gegenmittel gegen Meteoriten“

Zusammenfassung

Luisa kann nach der Ordnung, Explikation und Strukturierung ihrer Aussagen eindeutig Vorstellungs-Typ 1 zugeordnet werden. Die Ergebnisse des Fragebogens und der Interviews sind komplementär.

4.2.5.2.3. Interview Thorsten

4.2.5.2.3.1. Thorstens Fragebogen und Gesamteindruck im Interview

Thorsten (Fragebogen Wow) ist Schüler der 11. Klasse (Alter: 18 Jahre) am Gymnasium Bad Reichenhall. Bei der Analyse seines Fragebogens konnte er mit sehr hohen Werten für die Komplexität ($x = ,914$) und der Nähe seiner Vorstellungen zu wissenschaftlichen Vorstellungen ($x = ,687$) Cluster 2 zugeordnet werden. Damit liegt er im oberen rechten Bereich der Vorstellungs-Matrix.

Seine Vorstellungen über Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags fasst er im Fragebogen wie folgt zusammen:

„Der Meteorit passiert die verschiedenen Schichten unserer Erdatmosphäre und verliert (durch Verglühen (wg. Reibung)) einen Teil seiner Größe. Trifft er auf der Erdoberfläche auf, schmilzt das Gestein unter ihm, ein großer Krater entsteht und eine massive Druckwelle geht vom Einschlagsort aus. Zusätzlich wird viel Gestein und vor allem Staub in die Luft geschleudert, der das Sonnenlicht verdecken kann. So könnten Pflanzen aussterben: Folgen auf die Menschheit. Durch die Druckwelle und den Staub in der Atmosphäre kann, ähnlich wie bei einem Vulkanausbruch, sämtliche Fauna und Flora zerstört werden.“ (Fragebogen BadReichenhallKL11b12, Wow, Fragen 3 und 4).

Bereits hier zeigen sich zentrale Konzepte, die Thorsten in seinem Vorstellungsrepertoire hat und die auch mit wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen: Reibungsverluste in der Atmosphäre, Druckwelle und Aufschmelzen des Gesteins durch den Einschlag, Abschirmung des Sonnenlichts durch injizierten Staub sowie die Zerstörung von Flora und Fauna sind Aussagen, die auch die Fachliche Klärung bestätigt hat.

Als ihm bekannten Krater nennt Thorsten im Fragebogen das Nördlinger Ries, als Einflussfaktoren auf die Kratergröße den Durchmesser und die Geschwindigkeit des Meteoriten.

Thorstens Vorstellungen zur geologischen Zeitskala hingegen zeigen eine bedeutend geringere Komplexität und Abweichungen von der wissenschaftlichen Konzeption. Von den sechs gefragten Items kann er zwei nicht datieren – darunter die Entstehung des Universums (siehe Abbildung 94).

Item	Thorstens Angaben
Ende der letzten Eiszeit	Weiß nicht
Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries	4.000.000
Entstehung der Erde	5.000.000
Bau der Pyramiden in Ägypten	3000
Aussterben der Dinosaurier	500.000
Entstehung des Universums	Weiß nicht

Abbildung 94: Altersangaben zu geologischen und historischen Ereignissen durch Thorsten

Das Alter der Erde stellt sich Thorsten mit 5.000.000 Jahren deutlich zu gering vor, ebenso wie das Aussterben der Dinosaurier mit 500.000 Jahren. Das Alter des Nörd-

linger Ries fügt sich in Thorsten Vorstellungen jedoch logisch ein mit einem Alter von 4.000.000 Jahren.

Mit einem Mittelwert des Interesses am Thema Impakte von $\xi=4,50$ liegt Thorsten weit oberhalb der Stichprobe. Alle Themenbereiche interessieren ihn stark oder sehr stark, lediglich der Frage, ob Meteoriteneinschläge Gesteine schmelzen können, wird mit mittlerem Interesse begegnet.

Auch bei der Gefahreneinschätzung belegt die Impakt-Thematik bei Thorsten einen hohen Stellenwert: sowohl auf individueller wie auf globaler Ebene sieht er eine maximale Bedrohung durch Meteoriteneinschläge. Jedoch ist anzumerken, dass Thorsten auch allen anderen in den Items angesprochenen Ereignissen ein hohes und sehr hohes Gefahrenpotenzial zuweist.

Thorsten gibt folgende Quellen für seine Vorstellungen an: Dokumentationen auf N24, 'Galileo', Erdkundeunterricht und das Erdkundebuch – im Interview nennt er noch den Film 'Deep Impact' (Interview Thorsten, Zeile 35).

Während des Interviews war Thorsten sehr entspannt, musste aber oft seine Sätze neu beginnen und Zusammenhänge wiederholt erklären. Im Vergleich zu den anderen Probanden war er deutlich unsicherer bei der Festlegung seiner Aussagen.

Vor dem Interview hat Thorsten eine „*Dokumentation im Fernsehen gesehen über Kometen und das Verhalten der Planeten und hauptsächlich über Kometeneinschläge und welche Risiken dadurch entstehen*“ (Interview Thorsten, Zeile 1-6). Da er diese Sendung jedoch auch ohne den vorherigen Fragebogen auf Grund seines Interesses an Wissenschaftssendungen gesehen hätte, kann eine zu stark beeinflussende Wirkung auf das Interview ausgeschlossen werden – obwohl sich Komplexität und Wissenschaftsnähe seiner Vorstellungen dadurch eventuell verändert haben.

4.2.5.2.3.2. Geordnete Aussagen

Auseinandersetzung mit dem Thema

Ja, ich habe mich mit dem Thema Meteoriteneinschläge nach dem Fragebogen befasst. Ich habe eine Dokumentation im Fernsehen gesehen über Kometen und das Verhalten der Planeten und hauptsächlich über Kometeneinschläge und welche Risiken dadurch entstehen.

Aber ich habe die Sendung nicht absichtlich angesehen, denn ich schaue die Wissenschaftssendungen öfter an und es war dort zufällig das Thema (Zeile 1-6).

Ich würde gerne wissen, wie groß ein Meteorit ist, den man auf der Erde finden kann - oder in Museen besichtigen kann (Zeile 85-86).

Ablauf eines Einschlags

Was mir als erstes auffällt [Anm.: beim Betrachten des Bildes, das zum Einstieg gezeigt wird], ist der Einschlagskrater und diese Gelbfärbung, die eine hohe Energie oder die durch den Einschlag verursachte hohe Temperatur anzeigt. Auch die

Druckwelle ist zu sehen, die sich durch die hohe Masse ausbreitet. Staub wird durch die enormen Kräfte in die Atmosphäre hoch gewirbelt.

Dabei wird die Energie durch die hohe Geschwindigkeit, den Puls des Meteors freigesetzt. Denn wenn der Meteorit nicht in der Atmosphäre verglüht, ist die Geschwindigkeit sehr hoch. Es kommt immer darauf an, welche Masse bis zur Oberfläche durchkommt; die Geschwindigkeit schätze ich auf ca. 300 bis 400 Kilometer pro Stunde schätzen.

Ein Meteorit ist eine Verbindung von verschiedenen Metallen, meistens Eisen und Gesteine. Sie kommen hauptsächlich aus irgendwelchen Asteroidenfeldern. Sie fliegen teilweise schon sehr lange durch das Weltall und sie werden von einem Planeten angezogen und kollabieren dann dort auf dem Planeten. (Zeile 7-19).

Wenn ein Meteorit durch die Atmosphäre fliegt, dann treten Reibungskräfte auf und er verglüht – das sieht man zum Beispiel auch bei den Shuttles der NASA, die durch Kacheln geschützt sind. Durch die Hitze verdampft und schmilzt auch das Gestein und der Meteorit verliert an Masse.

Bei einem Einschlag ins Meer entsteht auch ein Krater, weil die Druckwelle durch das Wasser geht - ähnlich einem Tsunami. Bei größeren Meteoriten entstehen entsprechend größere Tsunamis (Zeile 28-34).

Auswirkungen eines Einschlags

Einen Meteoriteneinschlag kann man in erster Linie vergleichen mit einem Atombombeneinschlag – besonders durch die Druckwellen und den Krater. Ich schätze, von der Gewalt her sind die beiden Ereignisse durchaus zu vergleichen – aber es kommt immer auf die Größe des Meteoriten an.

Dabei ist der kleinste Meteorit derjenige, der gerade noch durchkommt ohne zu verglühen. Wenn er nur fußballgroß ist, dann passiert natürlich nicht viel. Aber wenn er riesig ist – mit einem Durchmesser von 20 Kilometern oder noch größer – dann ist die Explosion und die Druckwelle auch stärker und verheerender (Zeile 20-27).

Die Höhe eines Tsunamis hängt immer von der Masse des Meteoriten ab. Es besteht ein Verhältnis von Meteoritengröße und Tsunamihöhe. Die Wellen können höher sein als Gebäude. Wenn der Meteorit an einer Küste einschlägt, dann kann die Welle...sie ist auf jeden Fall gefährlich.

Die Menschen, die in der Nähe des Einschlagsorts sind, sehen zuerst Muster wie Wellen, wenn er durch die Erdatmosphäre kommt. Auch das Glühen und dann vor allem die Geräusche, den Aufschlag und vorher wird man die Druckwelle miterleben. Danach oder mit der Druckwelle breiten sich Staubwolken aus; durch den Staub in der Atmosphäre verdunkelt es sich, weil die Sonnenstrahlen nicht mehr durchkommen.

In weiter Entfernung vom Einschlagsort kann man Erdbeben, also eine Vibration spüren. Dabei kommt es immer drauf an, wie groß der Meteorit ist. Ähnlich wie bei einem Vulkanausbruch sieht man auch Staubwolken, die sich mit dem Wind ausbreiten und die dann das Sonnenlicht verfinstern. Eine weitere Auswirkung, die man weiter weg spüren kann, ist auch die Druckwelle.

Wenn durch die Staubwolke die Sonne nicht mehr durchkommt, sterben – im Extremfall – auch die Pflanzen ab und somit auch die Tiere (Zeile 36-52).

Zusammenfassend kann man sagen, dass es auf die Masse ankommt, also wie groß der Meteorit ist. Denn bei einem kleinen Meteoriten mit nur fünf Metern Durchmesser sind die Auswirkungen natürlich nicht so dramatisch. Im Gegensatz dazu kann ein Meteorit mit 20 Kilometern Durchmesser schon relativ verheerend sein – zumindest für das Gebiet rund um den Einschlag. Je größer der Meteorit ist, desto gefährlicher wird er natürlich auch (Zeile 61-66).

Abwehr eines Meteoriten

Ein Meteorit kann – wenn er genügend Masse hat – auch die Menschheit gefährden. Ich denke schon, dass es wichtig ist, sich mit dem Thema zu beschäftigen. Aber was will man groß machen, wenn man erkennt, dass ein riesiger Asteroid die Erde treffen wird?

Vielleicht kann man mit irgendwelchen Raketen versuchen, den Meteoriten zu zerstören und ihn in einzelne kleine Stücke zu teilen, damit dann mehr verglühen kann – die Oberfläche ist dann größer. Aber wenn der Meteorit richtig groß ist, schätze ich die Chancen relativ schlecht ein (Zeile 53-60).

Vielleicht wird man Bunker anlegen tief unter der Erde, damit möglichst viele überleben. Aber ich denke, dass allein durch die Verdunkelung – wenn der Meteorit relativ groß ist – es dann schon ziemlich schlecht aussehen würde (Zeile 78-80).

Geologische Zeitskala

Die Wissenschaftler sagen, dass die Dinosaurier durch einen Asteroideneinschlag ausgestorben sind. Sie sind also in der Erdgeschichte schon vorgekommen. Es kann natürlich sein, dass dabei durch den Tsunami, die Druckwelle und auch durch den Staub das Leben ausgelöscht wurde. Nur die Tiere, die z.B. tief unter Wasser leben, die haben das nicht so mitgekriegt und haben überlebt.

Die Dinosaurier sind vor ca. 1,5 Millionen Jahren ausgestorben, aber ich kann das nur ungenau sagen. Das Nördlinger Ries kenne ich (Zeile 67-74).

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Von dem, was ich gehört habe, ist die Chance eines Einschlags relativ gering. Aber was ich so gelesen habe zeigt, dass ein Einschlag schon lang überfällig ist – dass also mal wieder einer einschlagen sollte (Zeile 75-77).

Natürlich ist die Chance, einen Autounfall zu haben oder vom Blitz getroffen zu werden wesentlich höher, als dass man durch einen fußballgroßen Meteoriten genau auf den Kopf getroffen wird – hier ist die Chance schon relativ gering. Es gibt andere Gefahrenquellen, die häufiger vorkommen (Zeile 81-84).

Quellen der Vorstellungen

Den Film ‚Deep Impact‘ habe ich gesehen (Zeile 35).

4.2.5.2.3.3. Explikation

Ablauf eines Einschlags

Thorsten geht bei seiner Beschreibung vom Ablauf eines Einschlags von der vorgelegten Darstellung aus und nennt von sich aus hohe Energie, hohe Temperatur und eine Druckwelle als Hauptmerkmale. Zudem nennt er den in die Atmosphäre geschleuderten Staub. Als Einflussfaktoren auf den Umfang der Auswirkungen nennt Thorsten Größe und Geschwindigkeit des Meteoriten. Die Geschwindigkeit quantifiziert er mit 300-400 Kilometern pro Stunde und liegt damit deutlich unter den wissenschaftlichen Werten. Thorsten stellt sich Meteoriten als Konglomerat von verschiedenen Materialien wie Metallen und Gesteinen vor und nennt explizit Eisen als Bestandteil. Er kann noch detailliertere Angaben machen, denn er nennt Asteroidenfelder als Herkunftsort und das hohe Alter der Objekte.

Konkret zu den Prozessen eines Einschlags stellt sich Thorsten vor, dass der Meteorit durch die Reibung in der Erdatmosphäre erhitzt wird – dabei geht er von einem Massenverlust durch Aufschmelzen des Impaktors aus. Er verwendet hierzu selbst einen anschaulichen Vergleich: auch Shuttles beginnen beim Eintritt zu glühen.

Bei einem Einschlag im Meer nennt Thorsten Tsunamis als Folge, die je nach Größe des Meteoriten unterschiedlich groß sind. Die höchsten Wellen können Haushöhe erreichen, aber Thorsten bricht bei einer genaueren Beschreibung seinen Satz ab.

Auswirkungen eines Einschlags

Wiederum verwendet Thorsten einen passenden Vergleich für die Auswirkungen eines Einschlags: Krater und Druckwellen durch eine Atombombe sind vergleichbar mit denen eines Impakts. Er stellt sich das Ausmaß der Folgen ähnlich vor – jedoch abhängig von der Meteoritengröße. Thorsten sieht in kleinen Einschlägen, die er in der Größe eines Fußballs ansiedelt, keine Gefahr. Bei einem Meteoriten mit 20 km Durchmesser hingegen stellt er sich die Folgen verheerender vor – quantifizieren kann er seine Angaben jedoch nicht.

Die Auswirkungen eines Einschlags beschreibt Thorsten dann aus einer individuellen Perspektive – was würden die Menschen sehen und spüren, falls ein Meteorit einschlägt. Er stellt sich Stoßwellen in der Atmosphäre vor, gefolgt von der Druckwelle und den Einschlagsgeräuschen. Danach verbreiten sich die aufgewirbelten Staubwolken; auch in weiterer Entfernung vom Einschlagsort lassen sich nach Thorsten Auswirkungen wie Erdbeben, Druckwellen und die Verdunkelung durch Staubwolken wahrnehmen. Das von Thorsten beschriebene Szenario zeigt deutliche Ähnlichkeiten zum Film ‚Deep Impact‘, in dem die Auswirkungen filmisch umgesetzt wurden – da Thorsten explizit diesen Film als Quelle nennt, ist eine deutliche Beeinflussung anzunehmen.

In Bezug auf die Blockierung des Sonnenlichts geht Thorsten ins Detail und erklärt die Auswirkungen eines Impakts analog zu denen eines Vulkanausbruchs. Dabei geht er auf den Extremfall ein, dass die Nahrungskette aufgrund des fehlenden Sonnenlichts zusammenbrechen könnte.

Dass Thorstens Vorstellungen zu den Auswirkungen sehr gefestigt sind, zeigt seine Zusammenfassung von Kernkonzepten, in denen er nochmals auf die Größe des

Meteoriten als ausschlaggebende Punkt eingeht und hier die gleichen Zahlenangaben macht wie vorher.

Bei der Beschreibung der Ereignisse beim Aussterben der Dinosaurier kann sich Thorsten nicht vollständig auf die Vorstellung von wirklich globalen Folgen einlassen. Seine Annahme, dass die Dinosaurier durch die Druckwelle, den Tsunami oder den Staub ausgelöscht wurden, bleibt vage und geht nicht mehr auf die Vorstellung eines Zusammenbruchs der weltweiten Nahrungskette ein. Dass seine Vorstellungen an die Auswirkungen vor Ort gebunden sind, zeigen seine Anmerkungen zu den Folgen für die Lebewesen in den Ozeanen: hier nimmt Thorsten an, dass an der K/T-Grenze keine Arten ausgestorben sind, da sie durch das Wasser geschützt waren – und steht damit konträr zu den wissenschaftlichen Erkenntnissen.

Abwehr eines Meteoriten

Thorsten erkennt das globale Gefährdungspotenzial durch Impakte – auch für die Menschheit. Daher sieht er es als sinnvoll an, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen. Jedoch äußert er zuerst Skepsis, was die Abwehrmöglichkeiten betrifft. Er nennt dann aber doch Raketen als Abwehrmaßnahme, die den Meteoriten in kleinere Stücke sprengen könnten. Diese verglühen dann aufgrund der größeren Oberfläche. Diese Vorstellung kann wiederum aus dem Film ‚Deep Impact‘ stammen, in dem genau dieses Szenario vorgestellt wird – das jedoch nicht der wissenschaftlichen Sichtweise entspricht. Vor allem der Vergleich mit Stephans Vorstellungen ist hier gegeben – er sieht in kleineren Stücken eher eine größere Gefahr. Thorsten schränkt die Abwehrmöglichkeiten auch dahingehend ein, dass bei sehr großen Einschlägen auch die Raketenabwehr nicht mehr greifen würde. Für diesen Fall sieht er Bunkeranlagen zum Schutz vor den Auswirkungen vor – jedoch könnten auch die bei einem sehr großen Einschlag seiner Meinung nach nutzlos sein.

Geologische Zeitskala

Als grundsätzlichen Beleg für das Vorkommen von Einschlägen in der Erdgeschichte zieht Thorsten das Aussterben der Dinosaurier heran – jedoch schränkt er die Gültigkeit dieser Vorstellung mit dem Zusatz ein, dass es eine Aussage der Wissenschaftler sei. Datieren lässt sich das K/-Ereignis nach Thorsten vor 1,5 Millionen Jahren. Auch wenn dies nicht mit der wissenschaftlichen Angabe übereinstimmt, zeigt sich dennoch, dass Thorsten sich die Erdgeschichte in Millionen von Jahren vorstellen kann und nicht in menschliche Zeitrechnungen zurückfällt. Anzumerken ist, dass seine Angaben im Interview sich nicht mit seiner Datierung im Fragebogen decken – dort gibt er das Aussterben der Dinosaurier mit 500.000 Jahren an. Die Vorstellungen hierzu sind also keineswegs gefestigte Strukturen.

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Thorsten geht zuerst von einer geringen Wahrscheinlichkeit eines Einschlags aus. Er vergleicht die Gefahr mit alltäglichen Gefahren wie Autounfällen und Gewittern, die er für gefährlicher erachtet. Jedoch bezieht er seine Ausführungen nur auf den Fall eines direkten Treffers durch einen sehr kleinen Meteoriten. Zur Einschätzung insgesamt vertritt er jedoch die Auffassung, dass ein Einschlag statistisch gesehen über-

fällig sei und die Gefahr daher höher. Jedoch unterliegt er hier der klassischen Fehleinschätzung von Statistiken, die auch häufig in Dokumentarfilmen über Naturkatastrophen kommuniziert wird.

4.2.5.2.3.4. Strukturierung

Ablauf eines Einschlags

Konzept „Hohe Energie, hohe Temperaturen und Druckwelle durch die hohe Geschwindigkeit beim Einschlag“

Konzept „Energie abhängig von der Masse, die bis zur Oberfläche durchkommt“

Konzept „Meteoriten sind eine Mischung aus Gesteinen und Metallen“

Konzept „Meteoriten stammen aus Asteroidenfeldern“

Konzept „Unterschiedlich große Einschläge“

Konzept „Reibung in der Atmosphäre erzeugt Hitze“

Konzept „Einschlag im Meer erzeugt tsunamiähnliche Wellen“

Konzept „Zusammenhang von Tsunamihöhe und Stärke der Druckwelle und der Meteoritengröße“

Auswirkungen eines Einschlags

Konzept „Meteoriteneinschlag vergleichbar mit einer Atombombe“

Konzept „Staub in der Atmosphäre verdunkelt die Sonne“

Konzept „Erdbeben und Druckwelle auch in weiter Entfernung vom Einschlagsort“

Konzept „Pflanzen und Tiere sterben durch fehlendes Sonnenlicht“

Abwehr

Konzept „Notwendigkeit zur Auseinandersetzung durch globales Gefährdungspotenzial“

Konzept „Meteoritenabwehr durch Raketen“

Konzept „Kleinere Teile verglühen leichter“

Konzept „Geringe Chancen der Abwehr“

Geologische Zeitskala

Konzept „Dinosaurier sind durch einen Einschlag ausgestorben“

Konzept „Tiere der Tiefsee spüren keine Auswirkungen“

Konzept „Deep Time“

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Konzept „Einschlag ist überfällig“

Konzept „Autounfall oder Blitzschlag sind gefährlicher als ein kleiner Meteorit“

Zusammenfassung

Thorsten kann nach der Ordnung, Explikation und Strukturierung seiner Aussagen eher Vorstellungs-Typ 2 zugeordnet werden. Die Ergebnisse des Fragebogens und der Interviews sind komplementär.

4.2.5.2.4. Interview Beate

4.2.5.2.4.1. Beates Fragebogen und Gesamteindruck im Interview

Beate ist Schülerin der 5. Klasse (Alter: 10 Jahre) am Gymnasium Nördlingen. Bei der Analyse ihres Fragebogens konnte sie Cluster 1 (Komplexität $x = ,503$, Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen $x = ,508$) zugeordnet werden, jedoch liegt sie am Grenzbereich der beiden Cluster und im Zentrum der gesamten Vorstellungs-Matrix. Ihre Vorstellungen zu Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags sind – zumindest in der schriftlichen Fixierung – von geringer Komplexität:

„Er zerstört Menschenleben und man schätzt dadurch sind die Dinosaurier ausgestorben. Er prallt mit großer Wucht auf die Erde und schlägt ein großes Loch rein.“ (Fragebogen NördlingenKL5a3, Biene007, Fragen 3 und 4).

Als Nördlinger Schülerin ist ihr der Rieskrater bekannt, jedoch kein weiterer Impact. Zur geologischen Zeitskala kann Beate keinerlei Angaben machen, lediglich die Entstehung des Universums setzt sie *„vor allem Leben“* (Fragebogen NördlingenKL5a3, Biene007, Frage 10).

Item	Wert
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.	1
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.	2
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.	3
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.	5
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.	5
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.	1
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.	5
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.	5
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.	5
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.	4
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.	4
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.	5
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.	5
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.	5
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.	5
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.	5

Abbildung 95: Interesse der Schülerin Beate an der Impact-Thematik

Das Interesse an der Impact-Thematik hingegen ist bei Beate durchaus hoch, bei einem Mittelwert von $\xi = 4,06$ (siehe Abbildung 95). Lediglich die Fragen, wie sie selbst Kometen und Asteroiden beobachten kann und wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind, interessieren sie überhaupt nicht –

vor allem letzter Punkt ist bemerkenswert, wenn sie mit den sehr einfachen Vorstellungen über die geologische Zeitskala verglichen werden.

Die Gefahreinschätzung für Meteoriteneinschläge liegt bei Beate sehr hoch – auf individueller und globaler Ebene gibt sie die Maximalbewertung an.

Als Quellen ihrer Vorstellungen nennt Beate durchaus eine hohe Zahl unterschiedlicher Bezugspunkte: die Tagesschau, HS-Unterricht in der 4.Klasse, Geolino und die Seite www.meteoriten.de.

Im Interview war Beate zuerst verschlossen, hat sich jedoch schnell an die neue Situation gewöhnt und frei gesprochen.

4.2.5.2.4.2. Geordnete Aussagen

Auseinandersetzung mit dem Thema

Ich habe mich seit dem Fragebogen intensiver mit dem Thema auseinandergesetzt, denn auf einem Geburtstag waren wir im Rieskratermuseum (Zeile 1-2).

Ablauf eines Einschlags

Ich denke, dass auf dem Bild ein Meteoriteneinschlag zu sehen ist [Anm.: beim Betrachten des Bildes, das zum Einstieg gezeigt wird] - der ist ziemlich schnell. Man sieht, wie er auf die Erde reinbraust. Und man erkennt das ganze Gestein, das hochgeht und die Wucht, wie er aufprallt. Aber ich kann nicht abschätzen, wie schnell der Meteorit ist. Ich denke fünfmal so schnell wie ein Flugzeug.

Ein Meteorit ist ein riesengroßer Gesteinsbrocken (Zeile 5-10).

Es gibt unterschiedlich große Einschläge: kleine Meteoriteneinschläge sind nicht so schlimm. Aber es gibt auch riesengroße Einschläge.

Der Einschlag vom Ries war schon ein ziemlich großer (Zeile 13-15).

Wie groß die Meteoriten sind, kann ich nicht schätzen (Zeile 35).

Auswirkungen eines Einschlags

Bei einem Einschlag fliegt das ganze Gestein hoch. Das ist wie eine Explosion. Es geht alles weg und es löscht auch alles Leben aus (Zeile 11-12).

Bei einem Einschlag im Meer wird die ganze Stadt überschwemmt, weil das eine riesige Wucht ist, die einschlägt. Die ganzen Wellen gehen dann rüber oder die überschwemmt eigentlich alles. Die Wellen können an die 30 Meter hoch sein oder noch viel höher.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei einem Meteoriteneinschlag die ganze Wucht einschlägt. Das Gestein wird flüssig. Alles geht kaputt, das ganze Leben. Das

ganze Gestein sprüht weg wie bei einer Explosion. Dabei entsteht dort eine riesige Mulde, also ein Loch (Zeile 16-23).

Bei einer Welle kann alles überschwemmt werden. Ganze Häuser und alles kann sie wegreißen. Auch die Menschen können dabei sterben, weil die nicht mehr in so großen Wellen schwimmen können.

Und das ganze Gestein wird aufgeweicht und dabei sterben auch alle Menschen (Zeile 24-27).

Man stirbt von diesem Gestein, wenn das auf einen draufliegt, dann ist man ja kaputt. Aber ich glaube nicht, dass man was merkt, wenn man weiter weg wohnt. Vielleicht sehen sie die Glut. Deshalb können auch nicht alle Menschen von der ganzen Welt sterben, sondern vor allem die in den großen Städten. Denn so große Meteoriten gibt es gar nicht. Sie können nur auf einen bestimmten Fleck fallen und nicht auf die ganze Kugel (Zeile 29-34).

Pflanzen werden durch einen Einschlag vernichtet. Und auch das Gestein (Zeile 40).

Abwehr eines Meteoriten

Für den Katastrophenschutz ist es schon wichtig, aber für die Politiker eigentlich nicht. Aber für den Katastrophenschutz schon, weil das hat ja auch viel mit der Erde zu tun und es kann ja auch alles aussterben. Ein Einschlag löscht auch Leben aus und die ganze Natur wird zerstört. Und das wäre eigentlich auch eine Katastrophe (Zeile 36-39).

Ich glaube nicht, dass man sich vor einem Einschlag schützen kann (Zeile 41).

Geologische Zeitskala

Die Dinosaurier - nimmt man ja an – sind dadurch auch gestorben (Zeile 28).

Die Dinosaurier sind vor Christus Geburt ausgestorben.

Das Nördlinger Ries ist vor 10 Millionen Jahren entstanden (Zeile 42-43).

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Die Wahrscheinlichkeit, heute durch einen Meteoriteneinschlag zu sterben liegt bei 99 Prozent – eigentlich fast bei 100 Prozent. Denn man kann sich nicht schützen – wenn der Meteorit genau auf diesen Fleck kommt, dann wäre es praktisch, wenn man vielleicht irgendwie noch weiter weglaufen könnte.

Nein, ich kann das nicht mit alltäglichen Gefahren vergleichen, denn da ist man meistens selbst schuld. Und ein Meteorit kommt von der Natur, da kann man nichts machen. Das ist ähnlich wie ein Vulkanausbruch, der auch von der Natur ist (Zeile 44-50).

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Meteorit Leben auslöscht, ist eigentlich fast 99 Prozent, denn vorwarnen kann man nicht. Wegrennen geht wahrscheinlich dann auch nicht. Und schützen kann man sich nicht, also ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch (Zeile 51-54).

Quellen der Vorstellungen

Insgesamt war ich bisher drei Mal im Rieskratermuseum, auch mit Führungen. Dabei waren wir zweimal vom Geburtstag aus im Museum, einmal so (Zeile 3-4).

4.2.5.2.4.3. Explikation

Ablauf eines Einschlags

Beate geht bei ihren Aussagen zum Ablauf eines Einschlags von der vorgelegten Darstellung aus und entfernt sich nur wenig von den dort zu erkennenden Einzelheiten. Sie nimmt an, dass ein Meteorit ca. fünf mal schneller ist als ein Flugzeug. Hierbei ist anzumerken, dass sie kurz vor dem Interview im Rieskratermuseum war, das einen sehr anschaulichen Vergleich von den unterschiedlichen Geschwindigkeit von Flugzeugen und Meteoriten vorweisen kann – der aber anscheinend von Beate nicht aufgenommen wurde.

In Beates Vorstellungen sind Meteoriten große Gesteinsbrocken, deren Dimensionen sie aber nicht anzugeben vermag. Sie unterscheidet jedoch unterschiedlich große Einschläge und zählt das Nördlinger Ries zu den größeren Ereignissen.

Auswirkungen eines Einschlags

Einen Einschlag stellt sich Beate als Explosion vor, bei der auch Leben ausgelöscht wird. Dabei vermischt sie Begriffe wie ‚schmelzen‘ und ‚aufweichen‘, wenn sie von der Umwandlung des Gesteins spricht. Zudem bleibt sie sehr einfach in ihren Vorstellungen zur Art der Schadenseinwirkung: man stirbt durch das herumfliegende Gestein oder den Meteoriten selbst. Sie nennt keine weiteren möglichen Auswirkungen von Landeinschlägen und verneint auch explizit die Möglichkeit einer Fernwirkung von Einschlägen. Durch die lokale Gebundenheit der Auswirkungen sieht sie kein globales Risiko.

Für Einschläge im Meer nennt Beate als einzige Folge Wellen, die sie jedoch in absoluter Höhe mit 30 Metern quantifiziert. Die Überschwemmung ist für sie insofern gefährlich, als sie Häuser wegreißen kann und Menschen in zu hohen Wellen nicht schwimmen können. Auch hier zeigen sich somit sehr einfache und an die alltägliche Lebenswelt gebundene Vorstellungen.

Abwehr eines Meteoriten

Die Gebundenheit an einfache Vorstellungsmuster setzt sich auch bei der Frage nach einer notwendigen Beschäftigung mit dem Thema fort. Beate sieht einen direkten Zusammenhang zum Katastrophenschutz allein über den Begriff der ‚Katastrophe‘ hergestellt. Da ein Impakt Leben zerstören könne und dies eine Katastrophe sei,

müsse sich die entsprechende Institution damit beschäftigen. Aus diesem Begründungszusammenhang heraus lehnt sie auch eine Notwendigkeit zur Bearbeitung durch Politiker ab – zumal sie keine Möglichkeit sieht, sich vor einem Einschlag effektiv zu schützen.

Geologische Zeitskala

Bei Beate zeigt sich eine Vermischung verschiedener Zeitvorstellungen. Auf der einen Seite gibt sie als Altersangaben für geologische Ereignisse Millionen von Jahren an, andererseits nimmt sie als Ausgangspunkt für ihre Angaben auch Christi Geburt. Da Beate auch im Fragebogen keine weiteren Angaben zu geohistorischen Zeiträumen macht, kann man bei ihr davon ausgehen, dass sie über kein ausgeprägtes ‚deep time framework‘ verfügt.

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls durch einen Meteoriteneinschlag sieht Beate bei nahezu 100 Prozent – die Erklärung hierfür liegt jedoch nicht in der Umsetzung des Produkts aus Schadenspotenzial x Eintrittswahrscheinlichkeit. Vielmehr sieht Beate, dass man sich vor einem Meteoriten nicht schützen kann und dadurch keine Flucht vor der Gefahr möglich ist. Sie verbleibt dabei strikt in ihrer Vorstellung, dass ein Meteorit nur lokale Auswirkungen am Einschlagsort selbst hat. Durch die Unmöglichkeit einer Abwehr oder einer Sicherheitsvorkehrung gegen Impakte ist die Wahrscheinlichkeit, dass dadurch Leben zu Schaden kommt, für Beate eine Gewissheit.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ihrer Vorstellungen ist, dass sich Impakte analog zu anderen Naturgefahren nicht mit alltäglichen Gefahren vergleichen lassen. Beate sieht in der Selbstverschuldung ein Unterscheidungsmoment für Naturgefahren und alltägliche Risiken. Für sie werden Naturkatastrophen singulär durch die Natur ausgelöst, während bei anderen Gefahren der Mensch durch sein Handeln selbstverschuldet Schaden nimmt.

4.2.5.2.4.4. Strukturierung

Ablauf eines Einschlags

Konzept „Meteorit als großer, schneller Gesteinsbrocken“

Konzept „Wucht des Meteoriten schleudert Gestein und Wasser in die Höhe“

Konzept „Explosion beim Einschlag“

Auswirkungen eines Einschlags

Konzept „Wellen durch Einschlag überschwemmen eine Stadt“

Konzept „Lokale Auswirkungen“

Konzept „Einschlag löscht alles Leben aus“

Konzept „Tod durch zu hohe Wellen“

Konzept „Keine globalen Auswirkungen möglich“

Abwehr

Konzept „Einschlag ist ein Thema für den Katastrophenschutz, aber nicht für Politiker“

Konzept „Kein Schutz vor Meteoriten möglich“

Geologische Zeitskala

Konzept „Shallow Time“

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Konzept „Sehr hohe Wahrscheinlichkeit, weil keine Vorwarnung möglich ist“

Konzept „Naturgefahren sind nicht beeinflussbar“

Zusammenfassung

Beate kann nach der Ordnung, Explikation und Strukturierung ihrer Aussagen eher Vorstellungs-Typ 1 zugeordnet werden. Die Ergebnisse des Fragebogens und der Interviews sind komplementär.

4.2.5.2.5. Interview Tamara

4.2.5.2.5.1. Tamaras Fragebogen und Gesamteindruck im Interview

Tamara ist Schülerin der 11. Klasse (Alter: 17 Jahre) am Gymnasium Nördlingen. Bei der Analyse ihres Fragebogens konnte sie Cluster 2 (Komplexität $x = ,783$, Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen $x = ,657$) zugeordnet werden. Damit liegt sie im zentralen Bereich von Cluster 2.

Ihre Vorstellungen zu Ablauf und Auswirkungen eines Einschlags fasst sie im Fragebogen so zusammen:

„Der Meteorit dringt durch die Erdatmosphäre und schlägt auf die Erde auf. Dort schlägt er ein Loch, da ein sehr großer Druck wirkt und wird zerstört bzw. verschmilzt mit der Erde. Alles Leben ist danach tot. Außer der Meteorit ist sehr klein. Aber bei einem Meteorit mit einer Größe wie von dem des Ries wird die Umwelt zerstört.“ (Fragebogen NördlingenKL11c1, TorgeTotgeburt, Fragen 3 und 4).

Tamaras Vorstellungen beinhalten damit alle der wissenschaftlichen Konzeption nahe kommenden Merkmale eines Einschlags wie die Durchdringung der Erdatmosphäre, Druckentwicklung, Aufschmelzen sowie die Unterscheidung verschieden großer Einschläge. Als Nördlinger Schülerin ist auch ihr der Rieskrater bekannt, jedoch kein weiterer Krater.

Tamara gehört zu den wenigen Schülern, die alle vorgegebenen geologischen und historischen Ereignisse in die richtige Reihenfolge bringen können. Auch zur Datierung der Ereignisse kann sie ausführliche Angaben machen und so stimmt auch die Altersangabe zum Nördlinger Ries mit den wissenschaftlichen Aussagen überein. Jedoch zeigen sich bei den anderen Items zum Teil große Abweichungen. Besonders hervorzuheben ist die Datierung der Erde mit 500 Millionen Jahren – dies entspricht dem Median-Wert dieses Items für die Gesamtstichprobe des Fragebogens. Die Entstehung des Universums wiederum datiert Tamara genau mit dem Wert, der von der Wissenschaft als das Alter der Erde angegeben wird, also mit 4,5 Milliarden Jahren – sie verfügt also offensichtlich über ein ‚deep time framework‘, auch wenn

die Altersangaben nicht immer mit der wissenschaftlichen Sichtweise übereinstimmen (siehe Abbildung 96).

Item	Tamaras Angaben
Ende der letzten Eiszeit	1.000.000
Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries	15.000.000
Entstehung der Erde	500.000.000
Bau der Pyramiden in Ägypten	5000
Aussterben der Dinosaurier	135.000.000
Entstehung des Universums	>4.500.000.000

Abbildung 96: Altersangaben zu geologischen und historischen Ereignissen durch Tamara

Das Interesse an der Impakt-Thematik liegt bei Tamara unterhalb des Wertes der Gesamtstichprobe - mit einem Mittelwert von $\xi=3,06$ (siehe Abbildung 97).

Item	Wert
... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.	3
... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.	4
... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.	3
... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.	2
... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.	2
... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.	3
... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.	1
... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.	3
... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.	5
... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.	5
... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.	5
... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.	2
... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.	3
... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.	4
... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.	1
... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.	3

Abbildung 97: Interesse der Schülerin Tamara an der Impakt-Thematik

Besonderes Interesse rufen die Fragen hervor, wie man sich vor einem Impakt schützen kann, ob sich Versicherungen auf einen Einschlag vorbereiten sowie ob es Abwehrprogramme gibt. Überhaupt nicht interessiert ist Tamara hingegen daran, wie sich ein Einschlag auf ihre Heimat auswirken würde und wo sie in ihrer Umgebung Krater besuchen kann. Letzter Punkt ist auffällig, da Tamara aus dem Nördlinger Ries kommt und so einen direkten (Nahraum-) Bezug mitbringt.

Die Gefahreinschätzung für Meteoriteneinschläge liegt bei Tamara sehr hoch – auf globaler Ebene gibt sie die Maximalbewertung an, auf individueller Ebene eine Stufe niedriger. Insgesamt schätzt sie Impakte als gefährlicher ein als die übrigen Szenarien.

Als Quellen ihrer Vorstellungen nennt Tamara den Unterricht in der Grundschule und das Rieskratermuseum.

Im Interview war Tamara bereit, alle Fragen ausführlich zu beantworten. Dadurch entstand schnell eine produktive Interviewatmosphäre. Jedoch war durchgehend eine sehr große Unsicherheit in ihren Aussagen zu beobachten, die sich auch in häufigen Wiederholungen von Abschwächungen und konjunktivischen Formulierungen widerspiegelt. Einige Fragen wurden so von Tamara trotz mehrmaliger Anläufe mit einem ‚weiß nicht‘ beantwortet.

4.2.5.2.5.2. Geordnete Aussagen

Auseinandersetzung mit dem Thema

Ich habe mich seit dem Ausfüllen des Fragebogens nicht noch einmal mit dem Thema „Meteoriteneinschläge“ beschäftigt; außer, dass eine Austauschpartnerin im Rieskratermuseum war und sie hat dann erklärt, was da eigentlich abgeht. (Zeile 1-3).

Ablauf eines Einschlags

Der Meteorit wird ziemlich schnell einschlagen und durch die große Geschwindigkeit entsteht ein ziemlich tiefes Loch in der Erdschale. Dabei hat der Meteorit eine Geschwindigkeit von etlichen Tausend Kilometern in der Stunde. Es wird viel zerstört, auch in einem ziemlich großen Umkreis, weil die ganzen Erdteile ja auch weiterfliegen und vor allem auch die Meteoritenteile, denn der bleibt nicht ganz. Das sieht man zum Beispiel am Ries - das ist auch keine Kugel, die irgendwo herumliegt. Es wird eine große Hitze frei und durch den Druck entstehen auch neue Gesteine – weil viel schmilzt und viele chemische Reaktionen dabei stattfinden.

Hier im Ries gibt es Suevitstein, ich weiß aber nicht, aus was der besteht.

Durch die Kraft und Geschwindigkeit entsteht eine hohe Energie – die ist wahrscheinlich größer als man überhaupt künstlich erzeugen kann.

Die Energie hängt von der Größe des Meteoriten und seinem Gewicht ab. Man hört öfter davon, dass kleine Teile aus dem Weltraum einschlagen - aber da ist es dann anders, da hat vielleicht jemand einen kleinen Krater im Garten. Wenn aber was Riesiges wie der Ries-Meteorit einschlägt, dann wird ziemlich viel an Energie frei. Dabei könnte der Meteorit in der Atmosphäre verglühen.

Bei einem Einschlag ins Wasser würden riesige Flutwellen entstehen. Die Wassermassen werden weggedrängt und der Meteorit kann vielleicht auch doch in die Erde eindringen.

Der Meteorit dringt durch die Erdatmosphäre und wenn er groß genug ist und nicht verglüht, dann wird er mit hoher Geschwindigkeit auf die Erde zukommen. Beim Aufschlag wird die Erdmasse, bzw. das Wasser weggedrängt und alles wird zerstört. (Zeile 7-28).

Auswirkungen eines Einschlags

Die Umwelt in einem bestimmten Umkreis wird zerstört werden und vor allem sterben alle Lebewesen, falls es welche gibt. Sie sterben durch den großen Druck, der auf ihnen lastet, wenn er genau auf sie drauf fällt. Sie können auch durch andere Steine, die aufschlagen, durch entstehende große Hitze oder durch Geröllmassen sterben, wenn sie im Umkreis leben.

Wenn der Meteorit ins Meer einschlägt, dann können die Flutwellen, die dadurch entstehen, sehr weit laufen und können auch andere Länder zerstören.

Wenn ein Meteorit an der Stelle des Nördlinger Ries heute einschlagen würde, dann würde in Peking wahrscheinlich nicht so viel sein. Ich kann mir aber vorstellen, dass sich in München das Klima ändert. Wenn sich Staubwolken längere Zeit über dem Platz befinden.

Ich denke nicht, dass Tiere resistent sind dagegen - genauso wie der Mensch und eben Pflanzen werden wahrscheinlich auch großteils alle Tiere erst mal weg sein. Danach muss sich alles im Umkreis wieder neu bilden und irgendwann ist auch im Krater alles zurück. Aber das dauert ewig (Zeile 29-43).

Es kann zu einer Klimakatastrophe kommen. Die entsteht durch die Hitze und durch Schutt, Geröll und Staub, so dass die Sonne gar kein Durchkommen mehr hat an den betroffenen Stellen. Der Staub kann Jahre dort bleiben (Zeile 72-74).

Abwehr eines Meteoriten

Auf die Frage, ob sich Politiker und Katastrophenschutz mit dem Thema auseinandersetzen sollen, würde ich mit ‚Ja‘ und ‚Nein‘ antworten. Natürlich muss man sich damit beschäftigen, weil man nicht weiß, ob es zu einem Ereignis kommt oder nicht. Aber andererseits ist es natürlich auch ziemlich unwahrscheinlich, dass wieder ein großer Meteorit einstürzt - ich weiß aber nicht, wie schnell man das erkennen kann. Als der Meteorit im Ries eingeschlagen ist, gab es noch keine Menschen, aber jetzt schon. Ich weiß nicht, ob man das irgendwie vorher erkennen kann und ob es etwas Vergleichbares wie Erdbebenschutz gibt - oder ob man das mit einem Satellit erkennen kann (Zeile 44-56).

Man kann es vielleicht berechnen und dann die Leute in Sicherheit bringen. Aber wenn es zu schnell geht, dann wird das wahrscheinlich schwierig.

Außer, dass man die Leute in Sicherheit bringen kann, fällt mir sonst nichts ein. Die Bewegungen der Erde kann man nicht beeinflussen (Zeile 53-56).

Geologische Zeitskala

Das Nördlinger Ries ist vor ca. 15 Millionen Jahren entstanden.

Es gibt noch weitere Meteoritenkrater, auch in Deutschland. Aber nicht so große und ich weiß auch nicht genau wo.

Zum Aussterben der Dinosaurier gibt es verschiedene Theorien, aber angeblich sind sie auch durch einen Meteoriteneinschlag ausgestorben. Andere Theorien gehen von einem Vulkanausbruch aus.

Wann die Dinosaurier ausgestorben sind, kann ich nicht sagen (Zeile 47-63).

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Die Wahrscheinlichkeit, heute durch einen Meteoriteneinschlag ums Leben zu kommen, ist ziemlich gering.

Man kann über die Straße laufen und von einem Auto überfahren werden – das sind Todesursachen, die ziemlich oft vorkommen. Aber ein Einschlag passiert so selten in solch großem Ausmaß. Vielleicht 0.0001 Prozent.

Zusammenfassend schätze ich die Wahrscheinlichkeit als ziemlich gering ein, aber wenn es passiert, dann wird ziemlich viel zerstört werden und es hat große Auswirkungen auf die Umwelt und in größeren Umkreisen (Zeile 64-71).

Quellen der Vorstellungen

Im Rieskratermuseum war ich vielleicht zwei- oder dreimal. Da geht man öfters hin mit der Schule, auch schon in der Grundschule. Mit der Schule hatten wir eine Führung, aber dann war ich auch mit Bekannten drin. (Zeile 4-6).

4.2.5.2.5.3. Explikation

Ablauf eines Einschlags

Tamara beginnt ihr Interview mit der Negierung der Vorstellung, dass ein Meteorit bloß ein Stein sei, der vom Himmel falle und lediglich als Kugel herumliege. Vielmehr geht sie davon aus, dass er durch die Geschwindigkeit, die sie mit mehreren Tausend Kilometern pro Stunde quantifiziert, ein Loch reißt und auch Auswirkungen in größerem Umkreis hat. Den Impakt-Prozess sieht sie detailliert durch ausgeworfenes Untergrundmaterial, hohen Druck und Hitze sowie Gesteinsschmelzung und chemische Reaktionen. Für ihre Heimatregion Ries nennt sie den Suevit als Produkt.

Den Energieumsatz schätzt Tamara in einer Größenordnung, der über die von Menschen erzeugbaren Energien hinausgeht. Dabei sind Größe und Gewicht des Meteoriten für sie die entscheidenden Variablen – die Geschwindigkeit sieht sie also als Konstante an.

Ähnlich wie alle anderen Schüler geht sie davon aus, dass ein Einschlag im Ozean große Wellen auslösen kann. Jedoch sieht sie zudem die Möglichkeit, dass durch das Verdrängen der Wassermassen der Meteorit danach weiter in festen Untergrund einschlagen kann.

Auswirkungen eines Einschlags

Tamara nennt als Auslöser für die Zerstörungen eines Einschlags nicht eine Explosion, sondern den Druck, der durch den Meteoriten selbst oder das ausgeworfene Gestein entsteht. Lediglich die Hitze des Meteoriten sieht sie noch als weitere Gefahr – sie verneint explizit die Fernwirkung eines Einschlags und nennt als Beispiel einen

Einschlag in Nördlingen, der in Peking keine großen Auswirkungen hätte. Nur Tsunamis hätten die Möglichkeit, auch entfernte Länder zu treffen.

Tamara geht von lokalen Änderungen aus, die auch das Klima betreffen können. Sie stellt sich dabei die entstandenen Staubwolken als stationär über einem bestimmten Gebiet vor, die zu einer Klimaänderung führen. Explizit spricht sie von einer ‚Klimakatastrophe‘ – einem Begriff, der derzeit für den Klimawandel verwendet wird. Auch den Prozess, der zum Klimawandel führt, kann Tamara für sich erklären; jedoch sieht sie in der Hitze einen Auslöser der Veränderung, was nicht in das Konzept einer Abkühlung passt. Zudem nimmt sie an, dass auch Schutt und Geröll längere Zeit in der Atmosphäre verbleiben und so die Sonne nicht mehr bis zur Oberfläche scheinen kann.

Die Dauer der Impakt-Auswirkungen gibt Tamara mit „*ewig*“ an; sie verwendet auch den Begriff der „Neubildung“ für die Rückkehr des Lebens an die Impaktstelle.

Abwehr eines Meteoriten

Auf die Frage, ob sich Politiker und Katastrophenschutz mit dem Thema auseinandersetzen sollen, antwortet Tamara mit einer differenzierten Aussage. Grundsätzlich sieht sie die Gefährdung durch Impakte, jedoch sieht sie die Wahrscheinlichkeit als sehr gering an. Zudem zweifelt sie an der Möglichkeit, einen Einschlag bereits vorher erkennen zu können. Selbst wenn dies möglich wäre, sieht sie nur passives Verhalten als Schutzmöglichkeit, etwa die Evakuierung der Bevölkerung. Für eine Abwehr sieht sie die Bewegung der Erde als hemmenden Faktor – hier kann der Mensch nicht eingreifen.

Geologische Zeitskala

Tamara kann als Nördlinger Schülerin das Ries mit ca. 15 Millionen Jahren entsprechend der wissenschaftlichen Sichtweise datieren. Sie weiß zudem von mehreren Kratern, davon einige in Deutschland. Jedoch kann Tamara sie nicht näher bestimmen.

Das Aussterben der Dinosaurier sieht sie in einer wissenschaftlichen Kontroverse, da sie neben der Impakt-Theorie auch Vulkanausbrüche als mögliche Ursache angibt. Jedoch kann sie das Ereignis nicht datieren.

Im Fragebogen hingegen gibt Tamara zu allen angegebenen Ereignissen Altersangaben an, die deutlich machen, dass sie über ein ‚deep time framework‘ verfügt.

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Die Wahrscheinlichkeit, heute durch einen Meteoriteneinschlag ums Leben zu kommen, sieht Tamara als gering an. Sie vergleicht die Gefahr mit alltäglichen Ereignissen wie Autounfällen, die sie als bedeutend gefährlicher erachtet. Zwar gibt sie mit „*0.0001 Prozent*“ eine quantitative Angabe zur Wahrscheinlichkeit an, kann diese jedoch nicht weiter erläutern. Tamara sieht jedoch, dass beim tatsächlichen Eintreten eines Einschlags die Zerstörungen ziemlich groß sein und auch regionale Auswirkungen haben können.

4.2.5.2.5.4. Strukturierung

Ablauf eines Einschlags

Konzept „Loch in der Erdschale“

Konzept „Hohe Geschwindigkeit eines Meteoriten“

Konzept „Schaden durch ausgeworfenes Gestein“

Konzept „Neue Gesteine durch Hitze, Druck und chemische Reaktionen“

Konzept „Energieumsatz abhängig von Größe und Gewicht“

Konzept „Einschlag im Meer erzeugt Flutwellen“

Konzept „Trotz Wasser kann ein Meteorit in die Erde eindringen“

Auswirkungen eines Einschlags

Konzept „Lebewesen sterben durch den auflastenden Druck von Meteorit und Gesteinen“

Konzept „Flutwellen erreichen auch entfernte Länder“

Konzept „Keine Resistenz gegen Einschläge“

Konzept „Keine globalen Auswirkungen“

Konzept „Staub führt zu regionaler Klimakatastrophe“

Abwehr

Konzept „Notwendigkeit zur Auseinandersetzung durch Unkenntnis eines möglichen Einschlags“

Konzept „Evakuierung als einzige Vorsorgemaßnahme“

Konzept „Schnelle Gegenmaßnahmen nicht möglich“

Geologische Zeitskala

Konzept „Verschiedene Theorien zum Aussterben der Dinosaurier“

Konzept „Deep Time“

Wahrscheinlichkeit eines Einschlags

Konzept „Einschlagswahrscheinlichkeit ist sehr gering“

Konzept „Alltägliche Gefahren überwiegen“

Konzept „Großer Einschlag hat weit reichende Auswirkungen“

Zusammenfassung

Tamara kann nach der Ordnung, Explikation und Strukturierung ihrer Aussagen eher Vorstellungs-Typ 2 zugeordnet werden, jedoch zeigen vor allem ihre Vorstellungen zu den Auswirkungen (Konzept „Keine globalen Auswirkungen“) und zur Abwehr von Meteoriten (Konzept „Schnelle Gegenmaßnahmen nicht möglich“) eher Merkmale von Vorstellungs-Typ 1 auf. Die Ergebnisse des Fragebogens und der Interviews sind damit nicht eindeutig komplementär – das Interview zeichnet in einigen Bereichen eine andere Beschaffenheit der Vorstellungen Tamaras als der Fragebogen.

4.2.6. Zusammenführung und Diskussion der Ergebnisse

4.2.6.1. Komplementarität der quantitativen und qualitativen Analyse der Schülerperspektiven

Das Kernstück des methodischen Ansatzes dieser Studie ist die Kombination quantitativer und qualitativer Vorgehensweisen im Rahmen der in-between Methodentriangulation. Dabei wurden Schülervorstellungen sowohl mit Fragebögen als auch mit teilstandardisierten Interviews erhoben. Jedoch ist im Sinne einer konstruktivistischen Testtheorie nicht von der Validierung der Ergebnisse einer Methode durch die andere auszugehen, sondern von einer möglichen Komplementarität. Dadurch sind die unterschiedlichen Methoden als gleichwertig zu betrachten.

Stellt man die Ergebnisse zu den Kernfragen der Studie gegenüber, ergibt sich folgendes Bild: sowohl in den Fragebögen als auch in den Interviews können die Vorstellungen der Schüler differenziert werden nach den beiden Dimensionen der Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten. Denn während in den Fragebögen explizit die Unterschiede zwischen den Probanden für eine Typisierung erfasst wurden, können auch die Ergebnisse der Interviews dahingehend ausgewertet werden. Auf der Metaebene der Frage nach der Qualität unterschiedlicher Interviewpassagen zeigen sich durchaus erhebliche Unterschiede zwischen den Interviewpartnern.

Zentraler Aspekt der vorgestellten Methodik ist zudem die Lokalisierung der Interviewpartner in der Vorstellungs-Matrix. Damit kann – falls die Probanden bereits im Voraus bestimmt werden sollen - die Auswahl der Interviewpartner objektiver gestaltet werden und die Angaben der Probanden aus Fragebogen und Interview aufeinander bezogen werden. Für die vorliegende Studie kommt dieser Prozess zu dem in Abbildung 98 dargestellten Ergebnis.

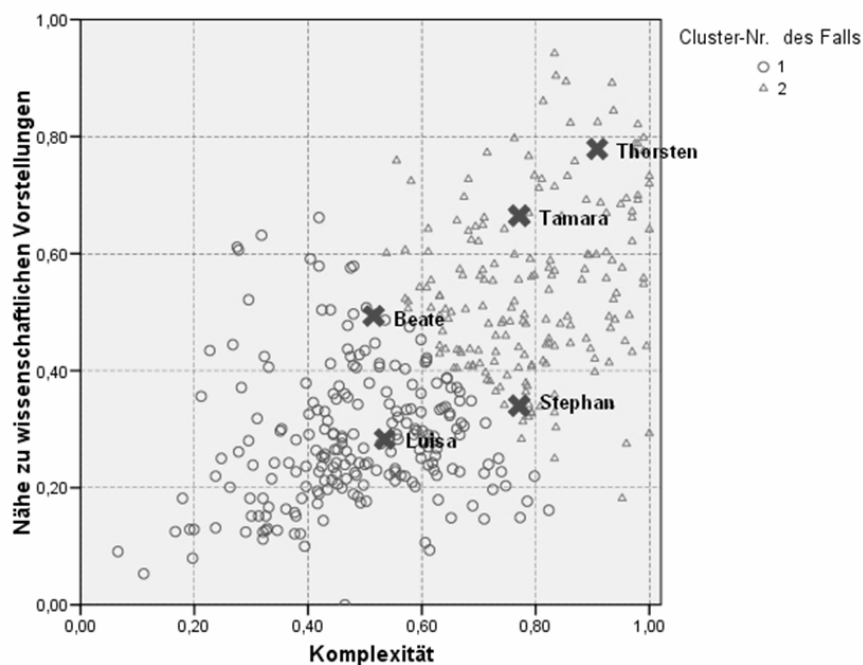


Abbildung 98: Einordnung der Interviewpartner in die Vorstellungs-Matrix

Von den fünf Interviewpartnern sind drei Cluster 2 zugeordnet. Thorsten (Klasse 11, Bad Reichenhall) und Tamara (Klasse 11, Nördlingen) stehen dabei in der Matrix rechts oben und verfügen damit über wissenschaftsnahе Vorstellungen mit hoher Komplexität. Stephan (Klasse 5, Bad Reichenhall) wiederum zeigt zwar sehr komplexe Vorstellungen, die jedoch oft nicht den wissenschaftlichen Konzepten entsprechen.

Luisa (Klasse 5, Bad Reichenhall) und Beate (Klasse 5, Nördlingen) sind Cluster 1 zugeordnet. Beide haben im Fragebogen Vorstellungen auf einer einfachen Ebene angegeben, jedoch zeigen Beates Konzepte eine größere Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen.

Mit der Lokalisierung der Interviewpartner in der Vorstellungs-Matrix und dem sich daraus ergebenden Muster einer weit gefächerten Verteilung der Probanden kann gewährleistet werden, dass in den Interviews ein breites Spektrum an Vorstellungen erfasst wird und keine Verzerrung der Ergebnisse stattfindet.

Kernkonzept zu...	Vorstellungs-Typ 1	Vorstellungs-Typ 2
<i>Herkunft</i>	Meteorit in Erdnähe	Meteorit aus dem Sonnensystem
<i>Ablauf</i>	Hitze und Gewicht	Explosion und Druckwellen
<i>Auswirkungen</i>	Lokale Auswirkungen	Globales Gefahrenpotenzial
<i>Abwehr</i>	Resignation	Technikgläubigkeit
<i>Geologische Zeitskala</i>	Shallow Time	Deep Time

Abbildung 99: Vorstellungs-Typen aus der Analyse der Interviews mit Kernkonzepten

Die Ergebnisse der Interviews zeigen eine deutliche Übereinstimmung bei vier der Probanden, denn die Aussagen im persönlichen Gespräch führen zu einer parallelen Segmentierung wie bei den Fragebögen (siehe Abbildung 99).

Stephan, Thorsten, Beate und Luisa können komplementär den gleichen Vorstellungstypen zugeordnet werden. Lediglich Tamara fällt heraus, insofern ihre Aussagen im Interview zwischen den beiden Vorstellungstypen angesiedelt sind, sie jedoch durch den Fragebogen eindeutig Cluster 2 zugeordnet werden konnte.

Aus den Ergebnissen der Vorstudie kann aus Schülersicht die PC-Simulation CRATER als eine sinnvolle Ergänzung des Unterrichts angesehen werden, die jedoch weiteren Verbesserungen unterzogen werden sollte.

Für die didaktische Strukturierung wurde neben der CRATER-Simulation bereits für die Vorstudie eine vierstündige Unterrichtseinheit entworfen und durchgeführt. Da die Didaktische Rekonstruktion als iterativer Prozess verstanden wird, sollen im Folgenden sowohl die Reflexionen nach der Durchführung der Unterrichtseinheit als auch die Ergebnisse der empirischen Untersuchung in die Überlegungen zur didaktischen Umsetzung mit einfließen. Damit wird ein Fortschritt im Vergleich zu anderen Arbeiten erzielt, die bei einem einmaligen Durchlaufen des Prozesses enden.

Um Simulation und Unterrichtseinheit den neuen Ergebnissen anzupassen, wurden einige Änderungen vorgenommen. Kernstück der Reihe bleibt aber weiterhin die CRATER-Simulation.

4.2.6.2. Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der Analyse der Schülerperspektiven

Bereits beim ersten Sichten der Fragebögen und der Interviews sowohl der Pilotstudie wie der Hauptuntersuchung zeigt sich, dass der Paradigmenwechsel von der Erde als offenem System bereits bei den meisten Schülern in der Vorstellungswelt stattgefunden hat. Der Prozess, der, wie die fachliche Klärung ergab, in der Wissenschaft über vierzig Jahre in Anspruch genommen hat und auch heute noch nicht vollendet ist, scheint bei den Schülern gewissermaßen schneller vollzogen worden zu sein.

Dennoch ist die Hauptaussage der Ergebnisse der Fachlichen Klärung die durchweg bestätigte hohe Relevanz der Impakt-Thematik für Wissenschaft (im Speziellen für Geowissenschaften und Geographie), Politik und Versicherungswirtschaft.

Weiterhin zeigt die Fachliche Klärung Gemeinsamkeiten und Differenzen in der Verwendung wesentlicher Kernbegriffe und Kernkonzepte:

- Die Definitionen der Begriffe Komet, Asteroid, Meteorit, NEO und PHO sind aus fachwissenschaftlicher Sicht nur von nebensächlicher Bedeutung für den Geographieunterricht; zudem herrscht so weit Einigkeit über die Begrifflichkeiten, dass sie nur kurz im Unterricht erwähnt werden und keinesfalls den Kern der Unterrichtseinheit bilden sollten;
- Die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags wird von verschiedenen Autoren unterschiedlich bewertet, jedoch zeigt sich für die didaktische Umsetzung ein gültiger Gesamttrend: Impakte stellen im Vergleich zu anderen Gefahren rein durch das Ergebnis aus Wahrscheinlichkeit x Schadenspotenzial ein ernst zu nehmendes Risiko dar; die statistische Todesrate durch Meteoriteneinschläge ist mindestens mit der von Flugzeugunglücken vergleichbar;

daher ist eine Behandlung im Unterricht – am besten im Zusammenhang mit anderen globalen Risiken oder einer Exkursion gegeben;

- Meteoriteneinschläge werden als einzigartiges Katastrophenszenario gesehen, da Impakte globale Massensterben und damit die Auslöschung der menschlichen Zivilisation (bzw. im extremsten Szenario der menschlichen Spezies) verursachen können; der in anderem Kontext geprägte Begriff ‚Nukleare Winter‘ wird entweder in dieser Form oder als ‚Impakt-Winter‘ verwendet – er fasst die wissenschaftlichen Konzepte zu den Langzeit-Folgen eines Einschlags einprägsam zusammen; daher wäre eine Verwendung dieses Begriffs aus fachwissenschaftlicher Sicht zu forcieren – jedoch stehen dem die Ergebnisse der Lernerperspektiven diametral gegenüber;
- da Meteoriteneinschläge direkt auf naturgeographische und humangeographische Systeme einwirken, ist der Bezug zur Geographie und ihrer Didaktik immanent; der Schwerpunkt im Unterricht sollte daher auch auf die Folgen eines Einschlags heute gelegt werden, denn hier sind die integrativen Ansatzpunkte am häufigsten gegeben.

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung der Schülervoraussetzungen zeigen insgesamt ein konsistentes Bild in Bezug auf das Interesse, welches für die Thematik erwartbar überdurchschnittlich hoch ist. Jüngere Schüler interessieren sich jedoch signifikant mehr für das Thema Meteoriteneinschläge, während sich keine großen geschlechtsspezifischen Unterschiede im Interesse zur Impakt-Thematik feststellen lassen. Folgenden Themen rufen alters- und geschlechtsübergreifend sehr hohes Interesse hervor:

- welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben,
- welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat,
- ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann,
- wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.

Dabei kann man davon ausgehen, dass einige Schüler innerhalb einer Klasse bereits über zum Teil sehr komplexe Vorstellungen verfügen, die aber oftmals aus Quellen wie Kino und TV stammen. Oft fehlt den Vorstellungen die Verhältnismäßigkeit in der Unterscheidung von großen und kleinen Einschlägen – globale Auswirkungen werden häufig negiert. Auf der Ebene der Begriffe zeigt sich, dass viele Schüler die Grundbegriffe der Thematik zwar kennen, sie jedoch nicht näher definieren oder in ihrer wissenschaftlichen Bedeutung erkennen können – diese Ergebnisse decken sich mit LIBARKIN et al. (2005) und der Vorstudie.

Die Schüler kennen zudem oft den Aspekt, dass die Impakt-Thematik bei Versicherungen und Katastrophenschutz bereits thematisiert wird, nicht.

Einzelne Impakt-Ereignisse wie das Nördlinger Ries sind aufgrund ihrer lokalen Nähe vielen Schülern bekannt. Jedoch kann ansonsten nur ein kleiner Bruchteil der Krater von den Schülern genannt werden. Das Tunguska-Ereignis ist den Schülern – im Gegensatz zur wissenschaftlichen Gemeinde - nahezu unbekannt.

Bei der Analyse der Vorstellungen zu Einflussfaktoren auf die Kratergröße kann man durchaus von einem monokausalen Denken in Bezug auf die physikalischen Vorgänge bei einem Einschlag schließen – oftmals wird nur die Größe als bestimmender Faktor gesehen.

Die Fragen zur geologischen Zeitskala wurden von jedem achten Probanden im Rahmen der vorher gesetzten Grenzen bestimmt. Alle Ereignisse entsprechend der wissenschaftlichen Konzeption zu datieren konnte keiner der befragten Schüler. Das Alter hat eine signifikante Auswirkung auf die Vorstellungen zur geologischen Zeitskala, denn bedeutend mehr Schüler der 11. Klasse konnten die vorgegebenen Ereignis-

nisse entsprechend der wissenschaftlichen Konzeption datieren; das Geschlecht hingegen hat nur geringe Auswirkungen auf die Vorstellungen zur geologischen Zeitskala.

Fasst man die Teilbereiche der kognitiven Vorstellungen zusammen und untersucht sie nach den Dimensionen der Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen, lassen sich mit Hilfe der Clusteranalyse zwei unterschiedliche Vorstellungstypen unterscheiden. Vorstellungstyp 1 hält an dem Konzept des ‚heißen Steins aus der Erdumlaufbahn‘ mit relativ ähnlichen Auswirkungen unabhängig von der Größe oder anderen Variablen fest, während Vorstellungstyp 2 das Konzept des ‚Meteoriteneinschlags aus dem Sonnensystem‘ mit unterschiedlichen Auswirkungen abhängig von verschiedenen Variablen vertritt. Dabei lassen sich die beiden Vorstellungstypen klar mit unabhängigen Variablen beschreiben. Stark vereinfacht gesprochen sind Schüler vom Vorstellungstyp 1 eher weiblich, in der 5. Jahrgangsstufe und weniger interessiert am Thema Impakte; Vorstellungstyp 2 ist eher männlich, in der 11. Jahrgangsstufe und zeigt höheres Interesse. Diese Differenzen lassen sich im Unterricht zum Beispiel bei der Wahl der Sozialform gewinnbringend verwenden.

Die leitfadengestützten Interviews zeigen Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Vorstellungen der Probanden auf qualitativer Ebene. Auch hier zeigen sich Differenzen in der Komplexität der Vorstellungen.

Zentrale Ergebnisse der Interviews jedoch sind die konkreten Konzepte der Schüler in ihren Ausprägungen, Gemeinsamkeiten und Differenzen. Die wichtigsten Gemeinsamkeiten in den Vorstellungen aller fünf Interviewpartner sind die folgenden Punkte:

- alle gehen von einer großen Zerstörung durch den Einschlag eines Meteoriten aus,
- durch einen Einschlag im Meer können Tsunamis entstehen,
- das Aussterben der Dinosaurier wird von allen mit einem Impakt in Verbindung gebracht.

Dass dies eine sehr kleine gemeinsame Basis in Bezug auf die Vorstellungswelt über Meteoriteneinschläge ist, zeigen auch die wesentlich deutlicher zu erkennenden Differenzen in den geäußerten Konzepten zu Ablauf, Auswirkungen und Abwehr von Impakten sowie zur geologischen Zeitskala:

- Konzept „Meteorit in Erdnähe“ versus „Meteorit aus dem Sonnensystem“: wichtigster Unterschied zwischen den Konzepten bezüglich der Herkunft von Meteoriten stellen die Vorstellungen dar, dass Meteoriten Objekte aus dem Sonnensystem sind und dort näher lokalisiert aus dem Asteroidengürtel stammen (Vorstellungstyp 2), während das konträre Konzept von einem Objekt ausgeht, das in der Nähe der Erde gebildet und sich im Orbit befindet, bis es abstürzt (Vorstellungstyp 1).
- Konzept „Hitze und Gewicht“ versus „Explosion und Druckwellen“: zu den Prozessen bei einem Einschlag geben die Schüler vom Vorstellungstyp 1 an, dass die Zerstörung durch den direkten Kontakt mit dem Meteoriten, der heiß und schwer ist, entstehen; Vorstellungstyp 2 hingegen umfasst die Konzepte, die bei einem Einschlag durch eine Explosion und die dabei entstehenden Druckwellen ausgehen.
- Konzept „Lokale Auswirkungen“ versus „Globales Gefahrenpotenzial“: ein weiterer zentraler Unterschied in den Vorstellungen betrifft die Reichweite der Auswirkungen eines Einschlags; während Beate, Luisa und Tamara von lokalen Auswirkungen ausgehen, die sicher nicht globale Ausmaße anneh-

men können (Vorstellungs-Typ 1), sehen Stephan und Thorsten eine globale Gefahr – ausgelöst durch den ‚Impakt-Winter‘ (Vorstellungs-Typ 2).

- Konzept „Resignation“ versus „Technikgläubigkeit“: in den Interviews konnten zwei gegenläufige Konzepte zum Thema Abwehr eines Meteoriten identifiziert werden; Vorstellungs-Typ 1 geht von einer generellen Unmöglichkeit der Abwehr von Einschlägen aus und sieht daher – wenn überhaupt – nur passives und reaktives Handeln als möglich an; die Gegenposition bezieht sich auf technische Möglichkeiten der Meteoritenabwehr wie etwa Abschussanlagen und nimmt an, dass diese Option auch bereits heute schon Realität ist (Vorstellungs-Typ 2).
- Konzept „Shallow Time“ versus „Deep Time“: komplementär zu den Ergebnissen in den Fragebögen zeigen sich auch in den Interviews zwei Vorstellungsmuster in Bezug auf die geologische Zeitskala; Vorstellungs-Typ 1 kann sich nur schwer in die geologischen Zeiträume hineindenken – zwar werden manchmal Angaben in Millionen von Jahren gegeben, jedoch fallen Luisa und Beate wieder zu Zeitangaben im Rahmen des christlichen Kalenders zurück; Vorstellungs-Typ 2 hingegen umfasst die Konzepte, die sich an geologischen Zeiträumen orientieren.

Weiterhin kann bei der Gefahreinschätzung angenommen werden, dass Schüler die Gefahr für die Menschheit als Ganzes zwar erkennen, dieses Bedrohungspotenzial aber nicht auf ihre individuelle Situation übertragen. Dabei handelt es sich jedoch weniger um eine Fehleinschätzung als um ein Unvermögen, Statistiken und geologische Zeiträume auf die individuelle Perspektive zu übertragen. Dieser Schluss ist aufgrund der Ergebnisse zu den Vorstellungen über die geologische Zeitskala angebracht – nur sehr wenige Schüler verfügen über ein „deep time framework“. Insgesamt erfährt das Impakt-Risiko eine mittlere Einschätzung durch die Schüler und liegt damit nahe an den wissenschaftlichen Vorstellungen, die ebenfalls z.B. einen Atomkrieg als gefährlicher ansehen. Während die Gefahreinschätzung für Meteoriteneinschläge unabhängig vom Geschlecht ist, zeigt sich zwischen den Klassenstufen ein deutlicher Unterschied: die Schüler der 5. Jahrgangsstufe sehen in ihnen eine deutlich größere Gefahr als die älteren Schüler.

4.2.7. Prüfung der Hypothesen

4.2.7.1. Hypothesen zum Bereich Schülervorstellungen

Aus den theoretischen Überlegungen und empirischen Ergebnissen verschiedener Studien zum Interesse und den Vorstellungen von Schülern wurden Hypothesen abgeleitet, die durch die Hauptstudie überprüft werden konnten. Dabei werden die Ergebnisse der quantitativen und der qualitativen Studie hinzugezogen.

Hypothese 1

Die Vorstellungen der Schüler über Meteoriteneinschläge unterscheiden sich individuell erheblich voneinander in Bezug auf Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten.
Empirisch können unterschiedliche Vorstellungstypen unterschieden werden.

Um Vorstellungen quantitativ erfassbar zu machen, wurde eine Dimensionierung der Vorstellungen nach den zwei Hauptmerkmalen Komplexität und Nähe der Schülervorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten vorgenommen. Durch die Analyse aller Fragen zum Bereich der kognitiven Vorstellungen nach den zwei Dimensionen ‚Komplexität der vorhandenen Vorstellungen‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten‘ und den daraus resultierenden Items konnte mit SPSS eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt werden. Die resultierenden Cluster erwiesen sich als theoretisch wie empirisch begründbar und aussagekräftig. Sie zeigen sich komplementär zu den Ergebnissen der Interviews.

Damit konnten, gestützt auf die Ergebnisse quantitativer und qualitativer Methoden, erstmals verschiedene Vorstellungstypen in Bezug auf Komplexität und der Nähe der Vorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten über Meteoriteneinschläge unterschieden und in eine Vorstellungsmatrix eingefügt werden.

Die beiden resultierenden Typen unterscheiden sich in allen Bereichen der kognitiven Vorstellungen erheblich voneinander und wurden durch unabhängige Variablen näher charakterisiert (siehe Abbildung 100).

Schüler, die dem ersten Vorstellungstyp angehören, haben relativ einfache und wissenschaftsferne Vorstellungen. Sie sind eher in der 5. Jahrgangsstufe, eher weiblich und das Interesse an der Impakt-Thematik ist eher gering.

Typ	Klasse	Geschlecht	Interesse	Gefahren-einschätzung
Vorstellungstyp 1	Eher 5. Jahrgangsstufe	Eher weiblich	Eher niedrig (altersbezogen)	Kein Zusammenhang erkennbar
Vorstellungstyp 2	Eher 11. Jahrgangsstufe	Eher männlich	Eher hoch (altersbezogen)	

Abbildung 100: Charakterisierung der Vorstellungstypen mit unabhängigen Variablen

Vorstellungstyp 2 hingegen ist ausgewiesen durch komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen – die Schüler hier sind eher in der 11. Jahrgangsstufe anzutreffen, eher männlich und das Interesse liegt deutlich höher.

Durch die Lokalisierung der Interviewpartner in der Vorstellungsmatrix konnten zudem quantitative und qualitative Ergebnisse aufeinander bezogen werden und auf ihre Komplementarität hin geprüft werden.

Die erste Hypothese kann damit voll bestätigt werden.

Hypothese 2

Schüler beziehen ihre Vorstellungen über Meteoriteneinschläge mehrheitlich aus Informationsquellen außerhalb des schulischen Unterrichts.

PLAPP/WERNER (2002) können in ihrer Studie Informationsquellen zur Einschätzung von Naturkatastrophen ausmachen. Aus drei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wurden Medien und Bücher am häufigsten genannt. Jedoch können für die Impakt-Thematik eigene Erfahrungen und Erzählungen von Freunden und Bekannten im engeren Sinne nicht in Frage kommen, so dass der Bereich der Medien weiter differenziert wurde. Aus den Ergebnissen der Pilotstudie ging hervor, dass die bei

weitem meisten Schüler ihre Informationen aus Dokumentarfilmen im TV sowie aus Kino- und Fernsehfilmen haben.

Die Ergebnisse der Hauptstudie hingegen zeichnen ein komplexeres Bild. Die Vorstellungen der Schüler werden zwar von den Hollywood-Filmen ‚Deep Impact‘ und ‚Armageddon‘ deutlich beeinflusst, weiterhin sind auch Dokumentarfilme im Fernsehen eine zentrale Quelle für die Vorstellungen über Meteoriteneinschläge. Jedoch soll dabei nicht die überragende Bedeutung des Geographieunterrichts überdeckt werden, der eine ebenso große Bedeutung hat. Dass andere Schulfächer demgegenüber nahezu nicht erwähnt werden, zeigt die Wichtigkeit der Geographie als Vermittlungsfach für die Impakt-Thematik.

Die zweite Hypothese kann damit als falsifiziert angesehen werden. Neben den Massenmedien wird der Geographieunterricht als zentrale Quelle für die Vorstellungen über Meteoriteneinschläge gesehen. Zu erwähnen sind weiterhin Museumsbesuche und Erfahrungen im Nahraum (z.B. Grundschulunterricht in Nördlingen).

Hypothese 3

Schülervorstellungen korrelieren positiv mit Interesse, Alter, Geschlecht und Gefahreinschätzung der Probanden.

Da Vorstellungen als kognitive Konstrukte vielfältigen Einflussfaktoren unterliegen, wurde eine Überprüfung der Abhängigkeit von zentralen unabhängigen Variablen wie Alter und Geschlecht, jedoch auch von ähnlichen theoretischen Konstrukten wie Interesse und Gefahreinschätzung, durchgeführt. Hierzu wurden die Fragen zu den kognitiven Vorstellungen nach der Komplexität und der Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen ausgewertet. Mit den beiden verfügbaren Variablen konnten durch eine Clusteranalyse zwei Vorstellungs-Typen unterschieden werden (siehe Hypothese 1). Die Korrelationen werden anhand der gebildeten Typen getestet.

Unterhypothese 3a

Schülervorstellungen und Interesse korrelieren positiv miteinander.

Nach den Hypothesen von SCHMITZ (2006)³⁶⁸, die in ihrer Untersuchung auf den Zusammenhang von Interesse und Wissen eingeht, sollte ein positiver Zusammenhang sowohl zwischen dem situationalen wie dem individuellen Interesse und den kognitiven Strukturen der Wissensrepräsentation bestehen. Dabei ist der Zusammenhang wechselseitig positiv – hohes Interesse und gegenstandsbezogenes Wissen können sich gegenseitig begründen. Jedoch kann SCHMITZ ihre aufgestellte Hypothese über den positiven Zusammenhang von Interesse und Wissensstrukturen nicht belegen. Um diesen wichtigen Zusammenhang an einem anderen Thema und in einem anderen Kontext zu überprüfen, ist mit der Betrachtung des Interesses als unabhängige Variable dieser Frage nochmals nachgegangen worden.

³⁶⁸ SCHMITZ, A. (2006) *Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“*. Dissertation. Kiel.

Auf der Ebene der Gesamtstichprobe ergab sich keine signifikante Beziehung von Interesse und Vorstellungs-Typ. Werden die Jahrgangsstufen aber als Teilstichproben betrachtet, ergeben sich für die 5. und 11. Klasse jeweils (hoch)signifikante Zusammenhänge von Interesse und kognitiven Vorstellungen. Dies ist besonders aus der Unterrichtsperspektive von Bedeutung, da tatsächlich interessierte Schüler der jeweiligen Altersstufe auch über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen verfügen.

Die Hypothese ist damit verifiziert unter Beachtung der jeweiligen Jahrgangsstufe.

Unterhypothese 3b

Schülervorstellungen und Alter korrelieren positiv miteinander.

Die gerichtete Hypothese, dass ältere Schüler über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen als jüngere Schüler verfügen, kann aus den quantitativen Ergebnissen eindeutig verifiziert werden. Dieses Ergebnis gilt sowohl für Mädchen wie für Jungen. Dass die Vorstellungen dennoch durchaus miteinander vergleichbar sind, zeigt die Auswertung der Interviews.

Unterhypothese 3c

Schülervorstellungen und Geschlecht korrelieren miteinander.

Die in der Pilotstudie erhobenen Daten führen zu der Hypothese, dass Schüler über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen als Schülerinnen verfügen – diese provokative Hypothese galt es zu überprüfen.

In der Hauptstudie zeigt sich, dass ein signifikanter Zusammenhang von Clusterzugehörigkeit und Geschlecht besteht. Jungen sind häufiger Cluster 2 zugeordnet als Mädchen und verfügen damit über komplexere und wissenschaftsnähere Vorstellungen zum Thema Meteoriteneinschläge. Dieses Ergebnis gilt sowohl für die 5. wie für die 11. Jahrgangsstufe.

Hypothese 3c ist damit verifiziert.

Unterhypothese 3d

Schülervorstellungen und Gefahreneinschätzung korrelieren positiv miteinander.

Aufgrund der engen theoretischen Verflechtung der beiden Teilkonstrukte der kognitiven und affektiven Vorstellungen wurde von folgendem Zusammenhang ausgegangen: je komplexer die kognitiven Vorstellungen sind, desto höher³⁶⁹ ist die Gefahreneinschätzung des Impakt-Risikos.

³⁶⁹ Ob es sich bei der höheren Gefahreneinschätzung auch um die realistischere handelt, soll aus den rein quantitativen Ergebnissen nicht abgeleitet werden; hierzu dienen die Resultate der Interviews

Dass die (nicht-repräsentativen) Ergebnisse der Vorstudie der Annahme widersprechen, hat eine eingehende Prüfung notwendig gemacht. Die Vorstudie ergab eine Abnahme der Gefahreinschätzung sowohl aus individueller als auch aus globaler Perspektive mit der Zunahme komplexer Angaben von Vorstellungen.

Die Ergebnisse der Hauptstudie bestätigen weder die Ergebnisse der Vorstudie noch die Annahmen der Hypothese. Denn weder in der Gesamtstichprobe noch in der Segmentierung nach Alter und Geschlecht zeigt sich ein statistischer Zusammenhang von Vorstellungen und Gefahreinschätzung. Schüler beiderlei Geschlechts und beider Jahrgangsstufen schätzen die Gefahr durch Meteoriteneinschläge unabhängig von ihren vorhandenen Vorstellungen zum Thema ein.

Hinzuweisen ist schließlich auf den positiven Zusammenhang von Interesse und Gefahreinschätzung; interessierte Schüler schätzen das Impakt-Risiko höher ein als weniger interessierte Probanden. Auch das Alter spielt eine entscheidende Rolle in der Gefahreinschätzung: ältere Schüler sehen in Meteoriteneinschlägen wesentlich seltener eine große Gefahr als jüngere Schüler.

Für den Zusammenhang von kognitiven und affektiven Vorstellungen jedoch kann Hypothese 3d als widerlegt angesehen werden.

4.2.7.2. Hypothesen zum Bereich Interesse

Hypothese 4

Das Interesse am Thema Meteoriteneinschläge liegt deutlich über dem zu erwartenden Mittelwert.

Die überwältigende Mehrzahl der Studien zum Schülerinteresse am Geographieunterricht belegt ein erhöhtes Interesse am Themenbereich Naturkatastrophen - da das hohe Interesse auch auf einen Teilbereich der Naturkatastrophen-Thematik zutreffen sollte, wurde von einem erhöhten Mittelwert des Interesses an Meteoriteneinschlägen ausgegangen.

Mit einem Skalenmittelwert von $\bar{x}=3,33$ für die Gesamtstichprobe liegt das Interesse an der Impakt-Thematik deutlich über dem statistischen Mittelwert. Nur drei der insgesamt 16 Items lagen unter dem Wert von 3,00. Sowohl die Fragen zum naturwissenschaftlichen Themengebiet als auch zum gesellschaftswissenschaftlichen Bereich liegen deutlich über dem statistischen Mittelwert.

Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit den Aussagen der Vorgängerstudien von HEMMER et al. (2005), HEMMER (2000), OBERMAIER (1997) und HEMMER/HEMMER (1996) – die Hypothese kann damit verifiziert werden.

Hypothese 5

Das Interesse von Schülern der 5. Jahrgangsstufe unterscheidet sich nicht signifikant von Schülern der 11. Jahrgangsstufe.

Die auf einer großen Stichprobe basierende Arbeit von HEMMER (2002) hat gezeigt, dass das Interesse an der Subskala ‚Naturkatastrophen‘ zwischen den Jahrgangs-

stufen 8 und 13 konstant hoch bleibt – dieses Resultat sollte auch für den Bereich der Meteoriteneinschläge gelten. Daher wurde davon ausgegangen, dass Schüler der 11. Jahrgangsstufe ähnlich hohe Interessenswerte aufweisen wie Schüler der 5. Klasse.

Die vorliegende Studie kommt jedoch zu dem Schluss, dass ein deutlicher Unterschied im Interesse zwischen den untersuchten Jahrgangsstufen festgestellt werden kann. Das Gesamtinteresse in der 5. Klasse liegt bei $\xi=3,59$, während die Schüler in der 11. Klasse mit $\xi=3,06$ deutlich geringer an Meteoriteneinschlägen interessiert sind. Der Widerspruch zu einzelnen Vorgängerstudien kann entweder durch die kleinere Stichprobe der vorliegenden Studie oder aber durch eine Ausdifferenzierung des Interesses zu verschiedenen Naturkatastrophen erklärt werden.

Hypothese 5 ist für diese Studie jedoch falsifiziert – es besteht ein signifikanter Unterschied am Interesse zur Impakt-Thematik bei Schülern der Unter- und Oberstufe.

Hypothese 6

Jungen haben ein signifikant höheres Interesse an Meteoriteneinschlägen als Mädchen.

Aus den Ergebnissen der Interessenstudien von HEMMER (2002) und OBERMAIER (1997) wurde abgeleitet, dass sich Jungen im Vergleich zu Mädchen mehr für den Themenbereich Naturkatastrophen interessieren. Daher konnte davon ausgegangen werden, dass auch für Meteoriteneinschläge das Interesse bei Jungen höher liegt als bei Mädchen.

Die Hauptstudie zeigt jedoch ein wesentlich anderes Bild: auf der Ebene der Gesamtskala zeigt sich, dass das Interesse nicht wesentlich vom Geschlecht abhängt. Auf Itemniveau zeigen lediglich zwei Items signifikante Unterschiede. Zusammenfassend kann damit für den Bereich Interesse festgehalten werden, dass sich keine großen Geschlechterdifferenzen im Interesse zur Impakt-Thematik feststellen lassen. Hierbei könnte der Zeitpunkt der Befragung eine Rolle spielen. HEMMER/HEMMER (2006)³⁷⁰ ermittelten nämlich in ihrer Zehnjahres-Wiederholungsuntersuchung zu Kontinuität und Wandel des Schülerinteresses zwischen 1995 und 2005, dass bei Naturkatastrophen als Einzelitem im Jahr 2005 keine Geschlechterdifferenz auftrat. Wahrscheinlicher aber ist die Erklärung, dass die differenziertere Entfaltung des Themas Naturkatastrophen mit verschiedensten Aspekten über mehrere Items hinweg das Interesse von Jungen und Mädchen gleichermaßen auf sich zieht.

Hypothese 6 ist damit für die Gesamtstichprobe falsifiziert.

³⁷⁰ HEMMER, I. und M. HEMMER (2006): *Kontinuität und Wandel im Schülerinteresse an einzelnen Themen des Geographieunterrichts - Ergebnisse zweier empirischer Untersuchungen aus den Jahren 1995 und 2005*. In: Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung - Tagungsband zum 30. Deutschen Schulgeographentag Bremen. Heft 42, S. 181 – 182.

5. Didaktische Strukturierung

5.1. Lehrplansituation

Um die vielfältigen Möglichkeiten, das Thema Impakte im Unterricht zu vermitteln, aufzuzeigen, soll exemplarisch auf die Lehrplansituation des Freistaates Bayern eingegangen werden.

Im Lehrplan der Jahrgangsstufe 11 für bayerische Gymnasien (G9) erhielten die Geowissenschaften innerhalb des Geographieunterrichts eine Sonderstellung insofern, als sie im „*geowissenschaftlichen Exkurs*“³⁷¹ behandelt werden sollen. Anhand eines Projekts sollte beispielhaft die geowissenschaftliche Theoriebildung erläutert werden. Explizit wurde dabei das Nördlinger Ries als Impaktstruktur in die Auswahl mit aufgenommen. Da für den Exkurs ca. zehn Unterrichtsstunden vorgesehen waren, konnte eine intensive Auseinandersetzung mit Meteoriteneinschlägen stattfinden – auch im Rahmen einer Exkursion zum Nördlinger Ries.

Mit der Umstellung auf das G8 hat sich auch der Lehrplan Geographie deutlich verändert und ist gekürzt worden – dennoch sind weiterhin Anknüpfungspunkte vor allem im Oberstufenbereich vorhanden: nach Abschnitt ‚Geo 11.4‘ des neuen Lehrplans sollen die Schüler *„erfahren, wie sich Naturrisiken erst durch menschliches Verhalten zu Katastrophen entwickeln, und erarbeiten Vorstellungen präventiver Maßnahmen“*³⁷². Dass die dabei aufgezeigten Themenfelder *„Erdbeben, Vulkanismus, Tsunami“* Impakte nicht oder nur als sekundäres Thema (als potenzielle Auslöser von Tsunamis) umfassen, zeigt, dass der Rahmen für eine unterrichtliche Behandlung gegenüber dem G9 deutlich reduziert ist. Jedoch bietet die Lehrplanalternative Geologie in der 12. Jahrgangsstufe die Möglichkeit, Impakte als Phänomen der Erdgeschichte gebührend zu diskutieren. In Abschnitt ‚Geo_{Geol} 12.1 Grundlagen der Geologie‘ wird – ausgehend von aktuellen Ereignissen und Beispielen aus dem Heimatraum – auf zwei für die Impakt-Thematik zentrale Bereiche eingegangen:

- *Entstehung und Aufbau unseres Planeten: Stellung innerhalb des Sonnensystems; Entstehungsbedingungen; Schalenbau, Vergleich von endogenen und exogenen Strukturen auf anderen Planeten und planetenähnlichen Körpern des Sonnensystems*
- *Erdgeschichte und Entwicklung des Lebens: geologische Erdzeitalter und deren Umweltbedingungen, Evolution, Leitfossilien; typische Gesteine aus erdgeschichtlichen Epochen*³⁷³

Zudem bleibt auch die Möglichkeit einer Exkursion ins Nördlinger Ries explizit erhalten – verweist doch Abschnitt ‚Geo_{Geol} 12.5 Exkursionen‘ bei der Durchführung einer mehrtägigen Exkursion zur Vertiefung der geologischen Kenntnisse auf das mögliche Exkursionsthema *„Impaktvorgänge im Nördlinger Ries“*³⁷⁴.

Weiterhin wird im Lehrplan Gymnasium Bayern in der 5. Jahrgangsstufe der Komplex *„Planet Erde“* thematisiert³⁷⁵. Darin sollen die Grundstruktur unseres Sonnensystems sowie Grundlagen des Lebens auf der Erde behandelt werden. Somit ist

³⁷¹ Lehrplan Bayern – Gymnasium G9 – Fachlehrplan Geographie, S. 25; Abschnitt 1.3 Geowissenschaftliche Theoriebildung

³⁷² <http://www.isb-gym8-lehrplan.de> (Zugang November 2008)

³⁷³ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de> (Zugang November 2008)

³⁷⁴ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de> (Zugang November 2008)

³⁷⁵ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de> (Zugang November 2008)

auch hier die Möglichkeit gegeben, zumindest kurz auf das Thema Meteoriteneinschläge als Verbindung zwischen Astronomie, Geologie und Geographie einzugehen.

Zusammenfassend bestehen somit vielfältige Optionen in den Lehrplänen des bayerischen Gymnasiums, die Impakt-Thematik in ihren verschiedenen Facetten anzusprechen. Da daher bereits ausführliche Unterrichts- und Exkursionsunterlagen über das Ries existieren³⁷⁶, wurde für die didaktische Strukturierung ein anderer Weg beschritten, nämlich Meteoriteneinschläge als Simulation am PC darzustellen. Darüber hinaus fließen der aktualisierte Stand der Fachwissenschaft bezüglich der allgemeinen Erkenntnisse zu Meteoriteneinschlägen und die Ergebnisse der empirischen Untersuchung zu Lernerperspektiven in die Neugestaltung der Unterrichtseinheit ein.

³⁷⁶ Hier sei auf die Materialien der Unterrichtseinheit „Der Meteoriteneinschlagskrater Nördlinger Ries“ hingewiesen: SCHNEIDT, R. (2002) *Der Meteoriteneinschlagskrater Nördlinger Ries*. Internetquelle: <http://www.lehrer-online.de/283240.php> (Zugang Februar 2008). Die Unterrichtseinheit beschreibt eine eintägige Exkursion in das Nördlinger Ries, bei der die Entstehung dieses einzigartigen Geotops beschrieben und der Zeitpunkt des Ries-Ereignisses erdgeschichtlich eingeordnet wird. Das besondere an der Unterrichtseinheit ist, dass sie auch als virtuelle Exkursion im Internet nachvollziehbar ist: http://www.fvls.de/projekte/Intel/Ries/ue_ries/start.htm (Zugang Februar 2008).

5.2. Kompetenzen und Lernziele

Neben den Fachlehrplänen können auch die Standards für den mittleren Schulabschluss (DGfG 2007) herangezogen werden, Kompetenzen und Lernziele für die Unterrichtsreihe abzuleiten. Die Ergebnisse zeigen Anknüpfungspunkte mit zentralen Feldern der Impakt-Thematik:

Kompetenzbereich Fachwissen

Standard **F2,S4**: Die Schülerinnen und Schüler können Meteoriteneinschläge als vergangene und zu erwartende naturgeographische Phänomene in Räumen unterschiedlicher Dimension und in geologischen Zeiträumen erläutern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Meteoriteneinschläge auch ein geowissenschaftliches und geohistorisches Thema sind.

Standard **F2,S5**: Die Schülerinnen und Schüler können die Erde als offenes System, das immer wieder einschneidenden Veränderungen durch Impakte unterzogen ist, erkennen.

Standards **F2,S7 und F4,S7**: Die Schülerinnen und Schüler können den Ablauf von Meteoriteneinschlägen als naturgeographischen Prozess mit Auswirkungen auch auf humangeographische Prozesse darstellen.

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung/Methoden

Standards **M1,S1; M2,S4; M3,S6**: Die Schülerinnen und Schüler können verschiedene Informationsquellen zum Thema Impakte nennen, daraus Informationen gewinnen und auswerten.

Kompetenzbereich Beurteilung/Bewertung

Standards **B1,S2; B2,S4; B3,S6; B2,S3**: Schülerinnen und Schüler können Meteoriteneinschläge hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Bedeutung (z.B. Katastrophenvorsorge) beurteilen und zur Relevanz des Themas kritisch Stellung nehmen.

Weiterhin sind die übergreifenden Zielsetzungen für den kognitiven, affektiven und instrumentalbereich von zentraler Bedeutung für die Unterrichtsgestaltung. Für den kognitiven Bereich hat BLOOM (1972)³⁷⁷ eine steigende Ordnung von Lernzielen entwickelt. Diese Einteilung ist wiederholt kritisiert, reduziert oder erweitert worden. Von ANDERSON (2003)³⁷⁸ wesentlich revidiert, stellt sie HAUBRICH (2006)³⁷⁹ in ihrer neuen Form vor:

- Wiedergeben (Reproduktion gelernter Informationen),
- Erklären (Fähigkeit aus Gelerntem Schlüsse abzuleiten und zu interpretieren),
- Anwenden (Fähigkeit zur Umsetzung von Wissen in konkreten Situationen),
- Analysieren (Fähigkeit zum Erkennen von übergreifenden Ordnungsgefügen),

³⁷⁷ BLOOM, B.S. et al. (1972) *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Weinheim.

³⁷⁸ ANDERSON, L. (Hrsg.) (2003) *A taxonomy for learning, teaching and assessment*. New York.

³⁷⁹ HAUBRICH, H. (2006) *Taxonomie geographischer Lernziele*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 19 (um Kommentare zu den einzelnen Lernzielen ergänzt).

- Bewerten (Beurteilen mit Hilfe von Kriterien und Standards),
- Handeln (Ableitung von konkreten Handlungsabsichten).

Weiterhin zu erwähnen ist, dass ANDERSON (2003) die Lernziele zweidimensional definiert über die Gliederung in die Wissensverarbeitungsdimension und die Wissensdimension (Faktenwissen, Konzeptwissen, Prozesswissen, metakognitives Wissen). Für die in der Unterrichtspraxis verwurzelte vorliegende Arbeit scheint die Konzentration auf die Verarbeitungsdimension jedoch angebracht zu sein und wird zur Bestimmung der Richtziele verwendet.

Für die Unterrichtseinheit können damit mehrere kognitive Richtziele unterschieden werden:

1. Kenntnis von Meteoriteneinschlägen auf der Erde, der zur Beschreibung verwendeten Begriffe und der beteiligten Prozesse,
2. Verständnis für die Erde als offenes System, das wiederholt kosmischen Einflüssen ausgesetzt ist und der historischen Genese dieses Konzepts,
3. Anwendung auf konkrete Situationen wie den Besuch eines Meteoritenkratermuseums,
4. Analyse der globalen Verteilung der Krater als Ausdruck eines ständigen kosmischen Bombardements im geohistorischen Maßstab,
5. Synthese eigener Vorstellungen zu Impakten und geologischen Zeiträumen mit der wissenschaftlichen Perspektive,
6. Beurteilung der Impakt-Thematik vor dem Hintergrund von Schadenspotenzial, geologischer Zeitskala und Eintrittswahrscheinlichkeit und der Ableitung konkreter Handlungen.

Die Taxonomie im affektiven Bereich richtet sich nach KRATWOHL (1964)³⁸⁰. Er schlägt eine Orientierung an fortschreitender Internalisierung vor und kommt damit zur Einteilung in

- Aufnehmen von Informationen (passive Komponente) sowie Antworten mit Informationen (aktive Komponente),
- Wertung als Billigung, Bevorzugung und schließlich Verfechtung eines Wertes,
- Aufbau einer Wertehierarchie³⁸¹.

Für die Unterrichtseinheit steht im Vordergrund, den Aufbau einer Wertehierarchie zu betonen. Für die Umsetzung ist es von zentraler Bedeutung, dass die Schüler neben der Informationsaufnahme und Bewertung eine neue Wertehierarchie erarbeiten. Sie sollte sich von der Wertung der statistischen Wahrscheinlichkeit eines Einschlags (was auch als kognitives Ziel angesehen werden kann) sowie an einem neu aufgebauten ‚deep time framework‘³⁸² ableiten. Die Schüler sollen somit die Gefahr eines Einschlags für sie selbst und die Menschheit in Relation zu anderen Gefahren bewerten und ein geologisches Zeitbewusstsein entwickeln – also über die Aufnahme, Beantwortung und Bewertung einzelner Informationen der Impakt-Thematik zu einer neuen Einschätzung der globalen Gefährdung gelangen. Zudem kann – in Anlehnung an GRUNERT/ULLIRCH (2000) – folgender Zusammenhang erkannt werden:

³⁸⁰ KRATWOHL, D.R. (1964) *Taxonomy of Educational Objectives*. New York

³⁸¹ Siehe hierzu auch HAUBRICH (2006) S. 18 mit leicht veränderter Gliederung der affektiven Lernziele

³⁸² Siehe TREND (2001b)

„Die Kenntnis der Erdgeschichte vermag dem Menschen seine Stellung in der Natur zu verdeutlichen und sollte ihm vor allem Ehrfurcht vor der Natur zu [sic!] vermitteln. Der Verlauf der Erdgeschichte zeigt uns anhand der Leitfossilien, wie stark das Werden und Vergehen von Leben an den Ablauf der geologischen Prozesse gebunden ist. Das gilt gleichermaßen für das ‘quartäre Leitfossil Mensch’, dass erst seit ‘einer Stunde’ in der Erdgeschichte existiert.“³⁸³

Die Taxonomie für instrumentelle Lernziele weist folgende Ebenen auf³⁸⁴:

- Kennenlernen und Imitation neuer Arbeitstechniken,
- Präzisierung und Verbesserung bekannter geographischer Instrumente (Übung),
- Verinnerlichung von Arbeitstechniken bis hin zur Naturalisierung.

Die Schüler müssen sich mit neuen und zum Teil sehr komplexen Texten, Diagrammen und Karten auseinandersetzen. Hierzu ist in der Gruppenarbeit die Hilfestellung des Lehrers notwendig. Im Einzelnen sollen die Schüler

1. Das Arbeiten mit einer geologischen Karte, einem logarithmischen Diagramm und wissenschaftlichen Texten kennen und beherrschen,
2. Das Arbeiten mit einer PC-Simulation kennen und beherrschen,
3. Die Arbeit mit Atlas, Arbeitsblättern und Taschenrechner präzisieren,
4. Die Arbeitstechniken zu Größenverhältnissen, Maßstab und geographischer Orientierung verinnerlichen.

Somit ist für jede der drei Zielkategorien eine Taxonomie vorgestellt und für die Unterrichtseinheit zur Bestimmung von Richt- und Grobzielen angewendet worden.

³⁸³ GRUNERT, S. und ULLRICH, B. (2000) *Das Zeitmaß der Erdgeschichte*. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 49, Heft 2. S. 48; GRUNERT/ULLRICH (2000) brechen die Erdgeschichte auf ein Kalenderjahr herunter – daher die Formulierung „einer Stunde“; dieser Gedanke wird für die didaktische Strukturierung wieder aufgegriffen

³⁸⁴ Siehe hierzu HAUBRICH (2006) S. 20 mit einem allgemeinen Überblick

5.3. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Hauptstudie

Konkrete Konsequenzen für Umfang, Inhalt und Ausgestaltung der Unterrichtseinheit können sowohl aus der Fachlichen Klärung als auch aus den Resultaten zu den Lernerperspektiven abgeleitet werden.

Aus der Fachlichen Klärung werden folgende Schlüsse gezogen:

- Die Definitionen der Begriffe Komet, Asteroid, Meteorit, NEO und PHO sind für den Geographieunterricht nebensächlich, so dass sie nur kurz im Unterricht erwähnt werden sollten;
- Meteoriteneinschläge sind ein extremes Katastrophenszenario, das jedoch bis zu einem globalen Massensterben reichen kann; der für die Langzeitfolgen oft verwendete Begriff ‚Nuklearer Winter‘ (bzw. ‚Impakt-Winter‘) ist zwar aus fachwissenschaftlicher Sicht bestens geeignet, die Folgen anschaulich zusammenzufassen, jedoch kennt kein – dies zeigen die Ergebnisse aus Fragebögen und Interviews – Schüler diesen Begriff und er kann nicht als Ausgangspunkt des Lernens verwendet werden;
- Eine Behandlung der Impakt-Thematik im Unterricht kann am besten im Zusammenhang mit anderen globalen Risiken oder einer Exkursion durchgeführt werden – hierzu wird die Unterrichtseinheit auf drei Stunden gekürzt, um Raum für eine Einbettung in andere geowissenschaftliche oder exkursionsvorbereitende Stunden zu schaffen;
- Der Schwerpunkt im Unterricht sollte auf den Folgen eines Einschlags auf der Erde heute liegen, denn hier sind die integrativen Ansatzpunkte, die die Geographie als Zentrierungsfach naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Inhalte auszeichnet, am häufigsten gegeben.

Für die Unterrichtseinheit können wertvolle Schlussfolgerungen auch aus den Ergebnissen der Analyse des Schülerinteresses gezogen werden. Bei der Gestaltung des Einstiegs in die Behandlung der Impakt-Thematik kann man von dem hohen Interesse der Schüler profitieren - hier bietet es sich an, auf die Auswirkungen eines möglichen Einschlags auf der Erde heute einzugehen. Dieser Aspekt wurde auch bei der Neugestaltung des Einstiegs in die Unterrichtseinheit aufgegriffen; vor allem in der 5. Jahrgangsstufe kann das sehr hohe Interesse aufgegriffen und durch eine breit angelegte Behandlung noch verstärkt werden – sowohl bei Mädchen wie bei Jungen. Die Teilbereiche, für die sich Schüler unabhängig von Alter und Geschlecht besonders interessieren, sollten einen Schwerpunkt in der Auseinandersetzung im Unterricht bilden - zumal sie sich größtenteils mit aktuellen fachwissenschaftlichen Forschungsfragen decken:

- Welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben – hier kann auch auf die globalen Massensterben und die Dinosaurier eingegangen werden; der Themenbereich wird in der Gruppenarbeit aufgegriffen;
- Welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat – durch den Tsunami im Indischen Ozean 2004 ist vielen Schülern das Risiko durch Tsunamis bekannt und man kann hier sowohl am Interesse als auch an den vorhandenen Vorstellungen anknüpfen;
- Ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann – nicht nur in der Fachwissenschaft sondern auch im Schülerinteresse spielt die Auseinandersetzung mit der tatsächlichen Gefährdungslage durch Impakte eine Rolle; dieser Aspekt wird bereits im Einstieg zur Unterrichtseinheit aufgegrif-

fen und bildet auch den zusammenfassenden Abschluss der Auseinandersetzung mit dem Thema;

- Wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde – mit dem Nördlinger Ries hat Bayern ein Paradebeispiel für einen mittelgroßen Krater – die Auswirkungen eines Einschlags dieser Größe können leicht mit der CRATER-Simulation berechnet werden und zeigen den Schülern anschaulich, dass bei einem ähnlichen Ereignis auch die Städte Nürnberg und München schwerste Schäden erleiden würden.

Diese Resultate werden in der Unterrichtseinheit vor allem in die für die erste Stunde geplante Gruppenarbeit einfließen, aber auch in der CRATER-Simulation und den Materialien berücksichtigt.

Aus den empirischen Ergebnissen zu den Schülervorstellungen können ebenfalls eine Vielzahl von Schlussfolgerungen für die Unterrichtspraxis gezogen werden:

- Die Schüler kommen mit sehr inhomogenen Voraussetzungen in den Unterricht - vor allem in Bezug auf die Komplexität der Vorstellungen und ihrer Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten zeigen sich signifikante Differenzen; diese Differenzen kann man durch einen gezielten Einsatz von Gruppenarbeit gewinnbringend in die Unterrichtsplanung mit einbeziehen: Durch die Gruppendynamik können weniger interessierte Schüler oder Schüler mit weniger ausgeprägten Vorstellungen von Schülern mit bereits komplexen Vorstellungen positiv beeinflusst und in die Auseinandersetzung mit dem Thema gezogen werden³⁸⁵;
- aus den Differenzen zwischen den Vorstellungsmustern können im Rahmen des Conceptual Change Ansatzes konkrete Ideen für eine Behandlung im Unterricht abgeleitet werden; die Strategie zur Veränderung kognitiver und affektiver subjektiver Konzeptionen umfasst die Bewusstmachung der eigenen Vorstellungen durch die Schüler sowie die Auseinandersetzung mit den Konzepten der Wissenschaft unter Einbeziehung der passenden Terminologie um die Diskrepanz zwischen eigenen und wissenschaftlichen Ansichten offen zu legen³⁸⁶. Durch praktische Anwendung des neu Erworbenen - REINFRIED (2006) nennt hier Experimente und Modelle³⁸⁷ – kann die Bindung zu den neuen Konzepten aufgebaut und gefestigt werden. Hierzu soll vor allem die CRATER-Simulation dienen, die grundsätzlich interaktiv angelegt ist und als virtuelles Experiment dient.

Für die Unterrichtseinheit können aus den Differenzen der beiden Vorstellungstypen folgende Punkte abgeleitet werden:

- „Sonnensystem“ vs. „Erdnähe“: ähnlich den Schwierigkeiten bei der Erfassung geologischer Zeiträume zeichnet sich bei den Vorstellungen zur Herkunft von Meteoriten ab, dass einige Schüler die Dimensionen des Sonnensystems auf die nähere Umgebung der Erde reduzieren; in den CRATER-Materialien sind deshalb auch kurz die Beschreibungen verschiedener kosmischer Objekte und ihrer Herkunft enthalten;

³⁸⁵ Siehe hierzu MEYER, C. (2006) *Sozialformen – Gruppenarbeit*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 112-115. In Anlehnung an WELLENREUTHER (2004)

³⁸⁶ In Anlehnung an REINFRIED, S. (2006) *Begriffsbildung und Wissenserwerb*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 62-67.

³⁸⁷ REINFRIED (2006) S. 44

- „Hitze und Gewicht“ vs. „Explosion und Druckwellen“: während ein Vorstellungs-Typ mit der Beschreibung der Auswirkungen relativ nahe an der wissenschaftlichen Sichtweise ist, stellen sich die anderen Schüler vor, dass ein Meteorit nur durch das auflastende Gewicht und seine Hitze Schaden erzeugt; um ein Verständnis für den Ablauf eines Einschlags zu erhalten, soll in einem Vergleich der Geschwindigkeiten von Meteoriten, Flugzeugen und Autos eine erste Auseinandersetzung mit dem Ablauf eines Einschlags in Gang gesetzt werden; zudem enthält die CRATER-Simulation eine Angabe der Explosionsstärke in Wasserstoffbomben-Äquivalenten, das einen Vergleich leichter macht als reine Joule-Angaben; weiterhin werden durch die Angaben zu den Zerstörungen im Umkreis (rote und gelbe Kreise um die Einschlagsstelle³⁸⁸) die Reichweiten verschiedener Einschläge deutlich;
- „Technikgläubigkeit“ vs. „Resigniertheit“: die beiden erfassten Vorstellungsmuster bilden Extrema in Bezug auf die Einschätzung der Abwehrmöglichkeiten; hier kann durch eine Konfrontation mit offiziellen Plänen der NASA eine differenziertere Auseinandersetzung stattfinden;
- „Lokale Auswirkungen“ vs. „Globales Gefahrenpotenzial“: dass Einschläge auch globale Folgen haben können, zeigt das K/T-Ereignis und dies wird als Aufhänger für die Auseinandersetzung mit den globalen Folgen eines Einschlags verwendet; analog hierzu finden sich in den CRATER-Materialien ausführliche Beschreibungen der möglichen Folgen eines großen Einschlags;
- „Shallow Time“ vs. „Deep Time“: eines der wichtigsten Ergebnisse der empirischen Untersuchung ist, dass den Schülern oftmals ein geologisches Zeitbewusstsein fehlt, auch wenn sie Altersangaben in Millionen von Jahren angeben; daher ist bei einer Behandlung geologischer Zeiträume weniger auf die bloßen Altersangaben zu achten, sondern auf eine relative Darstellung der Zeiträume und ihrer grundsätzlichen Differenz zum menschlichen Erleben; dies wird durch eine Umrechnung der Altersangaben in Monatsscheiben erreicht: das Alter der Erde wird auf 12 Monate berechnet, so dass die Entstehung des Lebens im Mai stattfindet, der Einschlag an der K/T-Grenze am 27. Dezember und die gesamte Kulturgeschichte der Menschheit in den letzten Minuten des 31.12.
- Die Behandlung des Thema Impakte muss auch die affektiven Vorstellungen der Schüler beachten; da die Gefahreneinschätzung von einem ‚deep time framework‘ abhängig ist, kann mit der Aufnahme einer Unterrichtspassage über geologische Zeiträume auch die Gefahreneinschätzung auf individueller und globaler Ebene miteinbezogen werden.

Da die Thematik jedoch im Rahmen der Naturrisiko-Diskussion behandelt und auch mit Blick auf die Lehrplansituation des Faches Geographie nicht überstrapaziert werden sollte, bietet sich eine Behandlung im Unterricht im Kontext anderer Naturrisiken oder auch kontrastiv zum Thema Klimawandel an; die Unterrichtseinheit wird daher um eine Stunde auf eine dreistündige Sequenz reduziert; dies erlaubt die Einbindung in andere Kontexte ohne das Stundenbudget zu sehr zu strapazieren. Dennoch kann als ein Kernpunkt der Fachlichen Klärung sowie der Analyse der Schüler-

³⁸⁸ Siehe hierzu auch die Abbildung von KOEBERL (2007) S. 178 und 179

perspektiven die hohe Relevanz des Themas festgehalten werden – eine Einbindung in das Curriculum ist auch bei zukünftigen Lehrplanänderungen zu unterstützen.

5.4. CRATER-Simulation und Unterrichtsreihe

5.4.1. Einsatz der Materialien und der Simulation im Unterricht

Die CRATER-Simulation bietet grundsätzlich die Möglichkeit, dass Schüler durch eigene Eingaben die Dimensionen des Kraters beliebig ändern können. Für den Geographie-Unterricht stellt dieses Merkmal einen erheblichen Vorteil gegenüber anderen verfügbaren Simulationen dar, bei denen durch die Fixeinstellung der Parameter ein Experimentieren unmöglich gemacht wird – dies ist vor allem vor dem Hintergrund des Conceptual Change Ansatzes zu sehen, der eine Umwandlung des theoretischen Wissens in Können durch Experimente und interaktive Modelle fordert³⁸⁹. Daher ist es zu empfehlen, den Schülern einige Zeit mit der Simulation zu geben. So können bekannte Kratergrößen vorgegeben werden, die dann durch die Veränderungen der Parameter bei der Simulation auch als Produkt erhalten werden müssen.

Da die Simulation bereits im Unterricht getestet und von Schülern evaluiert wurde, liegen Meinungen und Aussagen zur Arbeit mit CRATER vor. Anschaulichkeit und Bedienung erhielten hohe Zustimmungswerte – CRATER wurde als Lernmittel akzeptiert. Vielen Schülern sind aber die simulierten Welten aus Computerspielen bekannt, die aufgrund ihres Detailreichtums eine nicht zu erreichende Abbildungs-Qualität besitzen. Daher wurde manchmal ein *„genaueres/besseres Programm mit mehr Anschaulichkeit“* gewünscht, bzw. eine *„PC-Simulation mit Zeitraffer, wodurch man die Auswirkungen erkennen kann (Landschaftsveränderungen, Naturkatastrophen, usw.)“*. Einige Anregungen wurden bereits in einem Update von CRATER verwirklicht, so etwa: *„Man sollte den Einschlag von verschiedenen Perspektiven anschauen können z.B. am Einschlagsort selbst, auf der Erde in einigen km Entfernung, in der Luft [...]“*.

Mit einigen durchgeführten Verbesserungen kann die Simulation daher weiterhin als Hauptbestandteil der Unterrichtseinheit verwendet werden. Dabei ist sie eingebettet in eine Kurzsequenz von drei Unterrichtsstunden.

Die Ergebnisse der empirischen Studie zum Interesse, der Gefahreneinschätzung und den Vorstellungen der Schüler werden direkt in die Umgestaltung der Unterrichtseinheit eingeflochten. Damit ist ein weiterer Schritt im iterativen Prozess der Didaktischen Rekonstruktion getan – nach der Vorstudie und dem ersten Entwurf einer Unterrichtseinheit kann eben diese Sequenz durch eine detaillierte Fachliche Klärung und die Berücksichtigung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse zu den Lernerperspektiven umgestaltet und verbessert werden.

Ein kurzer Überblick über die Unterrichtseinheit zeigt die Anwendung der empirischen Ergebnisse auf die praktische Umsetzung der Impakt-Thematik (siehe Abbildung 101).

³⁸⁹ Siehe hierzu REINFRIED (2006) S. 44

Stunde 1: Hauptinhalte und wichtigste Merkmale	
- Verschiedene Arten von Meteoriten - Ablauf von Einschlägen - Nahraum-Beispiel: Das Nördlinger Ries - Einschläge in der Erdgeschichte - Folgen eines Einschlages heute	- Einstieg mit dem Thema Dinosaurier - Gruppenarbeit zu verschiedenen Bereichen der Impakt-Thematik
Stunde 2: Hauptinhalte und wichtigste Merkmale	
- Themen der Vorstunde - Geologische Zeitskala: relative Zeiträume, absolute Altersangaben, wichtigste Stationen der Erdgeschichte	- Präsentation der Gruppenarbeit - Die Erdgeschichte in einem Jahr
Stunde 3: Hauptinhalte und wichtigste Merkmale	
- Einflussfaktoren auf Kratergröße und Reichweite der Auswirkungen - Diskussion über die Relevanz von Impakten für die Gesellschaft	- Einsatz der CRATER-Simulation - Abschließende Diskussion der Impakt-Thematik

Abbildung 101: Stundenbeschreibungen der Unterrichtseinheit

Die erste Stunde wird eingeleitet mit zwei Themen, die für Schüler sehr interessanten sind: wie die Dinosaurier ausgestorben sind und ob ein derartiges Ereignis nochmals auftreten könnte. Nach dem Unterrichtsgespräch werden Einzelaspekte der Impakt-Thematik in Gruppenarbeit behandelt, denn diese Sozialform eignet sich besonders, Unterschiede in der Komplexität der Vorstellungen und deren Nähe zu wissenschaftlichen Konzepten durch gruppendynamische Prozesse gewinnbringend zu nutzen – daher wird in den beiden ersten Stunden auf die konstruktive und ergebnisorientierte Teamarbeit Wert gelegt. Die Schüler werden in fünf etwa gleich große Gruppen geteilt und erhalten bis zum Ende der Stunde den Arbeitsauftrag, mit Hilfe von Texten, Diagrammen, Karten und Gesteinsproben je ein Thema so vorzubereiten, dass sie in der nächsten Stunde einen Expertenvortrag halten können:

Gruppe 1: Komet, Asteroid oder Meteorit?

Eine kurze Klärung der Begriffe Meteorit, Asteroid und Komet zeigt den Schülern, dass unterschiedliche Größen und Dichten auch zu verschiedenen Auswirkungen beim Einschlag führen können. Da viele Schüler zudem Probleme haben, sich das Sonnensystem in seinen Dimensionen als Herkunftsort von Meteoriten vorzustellen (vergleiche hierzu die Konzepte „Sonnensystem“ vs. „Erdnähe“), wird in dieser Gruppe ebenso auf dieses Thema eingegangen.

Gruppe 2: Ablauf verschiedener Einschläge.

Diese Gruppe beschäftigt sich mit dem Ablauf verschieden großer Einschläge. Dabei sollen zuerst Grundkennzeichen wie die Geschwindigkeit eines Meteoriten geklärt werden. Im Anschluss wird auf regionale und globale Auswirkungen eingegangen. Eine Konfrontation mit den wissenschaftlichen Modellen zum Ablauf eines Einschlags kann die Auseinandersetzung mit den eigenen, jedoch oft wissenschaftsfernen Vorstellungen („Hitze und Gewicht“ vs. „Explosion und Druckwellen“) auslösen. Dabei ist auch auf einen Bezug zur Lebenswelt der Schüler zu achten, so dass z.B.

der Vergleich der Geschwindigkeiten von Meteoriten, Flugzeugen und Autos eine erste anschauliche Auseinandersetzung mit dem Ablauf eines Einschlags bringt.

Gruppe 3: Der Einschlag verformt das Gestein.

Mit dem Nördlinger Ries befindet sich einer der weltweit am besten erforschten und bekannten Meteoritenkrater in Bayern. Der direkte Heimatbezug macht eine Auseinandersetzung mit der Impakt-Thematik interessanter und soll auch in der Unterrichtseinheit direkt angesprochen werden. Hierzu werden Gesteinsproben aus dem Ries verwendet, die von den Schülern nach Farbe, Härte und Gewicht im Vergleich zum normalen Kalkgestein untersucht werden. Zudem wird die geologische Karte von Bayern als Medium eingeführt – hier können die Schüler das Nördlinger Ries auf der geologischen Karte verorten und die Signaturen, die einen Einschlagskrater kennzeichnen, beschreiben.

Gruppe 4: Das Ries ist kein Einzelfall!

Welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte hatten, ruft sehr großes Interesse bei den Schülern hervor. Daher wird dem Thema in der Gruppenarbeit der ersten und zweiten Unterrichtsstunde Raum gegeben. Dabei gehen die Schüler auf folgende Fragen ein:

- Gab es in der Erdgeschichte oft Einschläge von kosmischen Objekten?
- Welche Folgen hatten große Einschläge auf das Leben auf der Erde?
- Gibt es eine Regelmäßigkeit bei Einschlägen?
- Wie viele Krater sind heute bekannt?

Mit der Frage nach der ungleichen Verteilung der Impaktkrater auf der Karte wird zudem die Metaebene der wissenschaftlichen Arbeitsweise angesprochen – die Schüler erkennen die Vorläufigkeit der Ergebnisse der Kratersuche auf der Erde und die Selektivität der Resultate – die meisten Krater wurden bisher in den Gebieten gefunden, in denen sich viele Forscher mit dem Thema auseinandersetzen.

Gruppe 5: Folgen eines Einschlags heute.

Ebenfalls im Fokus sowohl der fachwissenschaftlichen Diskussion wie des Schülerinteresses sind die Auswirkungen eines Einschlags heute. Ebenso sprechen die unterschiedlichen Schülervorstellungen („Lokale Auswirkungen“ vs. „Globales Gefahrenpotenzial“) für eine eingehende Behandlung im Unterricht: Einschläge können globale Folgen haben, wie das K/T-Ereignis zeigt – es wird als Ausgangspunkt für die Auseinandersetzung mit den globalen Folgen eines Einschlags verwendet und leitet über zu einer Einführung des Begriffs des ‚Nuklearen Winters‘.

Die Ergebnisse der Gruppen werden in der zweiten Stunde präsentiert und zusammengefasst. Anschließend wird auf die geologische Zeitskala eingegangen, indem die Schüler die Erdgeschichte auf ein Jahr reduziert als Infotext erhalten und Angaben zu Erdzeitaltern selbstständig einordnen können. Der Gedanke, die erdgeschichtlichen Zeiträume in ein Kalenderjahr umzurechnen wird von PRESS/SIEVER (1995) übernommen:

„Am. 1. Januar entstand die Erde. Im Verlauf des Januars und zu Beginn des Februars entwickelten sich Kern, Mantel und Kruste. Ungefähr am 21. Februar entstand erstes primitives Leben. Während des gesamten Frühjahrs, Sommers und Anfang des Herbstes entstanden auf der Erde Kontinente und Ozeane... Am 25. Oktober mit dem Beginn des Kambriums, traten komplizierter gebaute Organismen auf, darunter solche mit Schalen. Am 7. Dezember entwickelten sich die Reptilien und an Weih-

*nachten starben die Dinosaurier aus. Der moderne Mensch, Homo sapiens, erschien an Silvester um 23 Uhr auf der Bildfläche, und die letzte Eiszeit endete am 31. Dezember um 23.58 und 45 Sekunden. Eine dreihundertstel Sekunde vor Mitternacht landete Kolumbus auf einer der westindischen Inseln. Und vor wenigen Millisekunden wurden Sie, liebe Leser, geboren.*³⁹⁰

Diese Idee dient auch als Grundlage für die Hausaufgabe, den eigenen Kalender mit den wichtigsten Daten zu füllen.

Die stärkere Behandlung des geologischen Zeitskala kann als direkter Aktionspunkt aus den Ergebnissen der empirischen Studie abgeleitet werden. Denn eines der wichtigsten Resultate ist, dass vielen Schülern ein geologisches Zeitbewusstsein fehlt („Shallow Time“ vs. „Deep Time“); daher ist bei einer Behandlung geologischer Zeiträume weniger auf die bloßen Altersangaben zu achten, sondern auf eine relative Darstellung der Zeiträume und ihrer grundsätzlichen Differenz zum menschlichen Erleben. Dies wird durch eine Fokussierung des Themas in der zweiten Stunde erreicht.

In der dritten Stunde schließlich werden in gemeinsamer Arbeit (je nach Rechnerverfügbarkeit kann in Gruppenarbeit am PC gearbeitet werden) Simulationen verschiedener Impakt-Szenarien erarbeitet und mit der CRATER-Simulation berechnet. Die Simulation dient damit als Anwendung des in den Vorstunden Gelernten und bietet darüber hinaus eine anschaulichere Darstellung eines Impaktverlaufs. Von den Schülern bestimmte Parameter führen zu simulierten Kratern, die mit echten Impaktstrukturen verglichen werden können. Die CRATER-Simulation als virtuelles Experiment hilft den Schülern, sich Differenzen zwischen eigenen und wissenschaftlichen Vorstellungsmustern bewusst zu machen und so – im Sinne des Conceptual Change Ansatzes – zu einer Neuorientierung der Vorstellungen zu gelangen; die Simulation ist dabei bewusst offen gehalten und bietet die Möglichkeit, mehrere Parameter zu verändern und die Resultate mit existierenden Kratern zu vergleichen. Anhand der CRATER-Materialien können die in den beiden ersten Stunden gesammelten Erfahrungen wiederholt und vertieft werden.

Eine abschließende Diskussion der Thematik soll den Schülern die Möglichkeit geben, sich differenziert mit dem Risiko durch Impakte im Vergleich zu anderen Gefahren auseinanderzusetzen. Dies ist von zentraler Bedeutung, da die Behandlung des Thema Impakte auch den affektiven Bereich mit einbeziehen muss; der Aufbau einer veränderten Einschätzung des globalen Risikopotenzials durch Meteoriteneinschläge und der direkte Vergleich mit anderen Gefahrenszenarien birgt die Möglichkeit einer Neugestaltung der individuellen Beurteilungskriterien.

Weiterhin kann in Bezug auf die Abwehrmöglichkeiten – auch hier unterscheiden sich die Vorstellungsmuster deutlich: „Technikgläubigkeit“ vs. „Resigniertheit“ – durch eine Konfrontation mit Plänen der NASA zur nuklearen Abwehr eine differenziertere Auseinandersetzung in Gang gesetzt werden.

³⁹⁰ PRESS/SIEVER (1995) S. 202; Hervorhebungen durch PRESS/SIEVER

5.4.2. Beschreibung der Materialien

Die Materialien zur Simulation (verfügbar im Internet unter <http://www.geosim.org>) bilden durch ihre direkte Ableitung aus den Ergebnissen der Fachlichen Klärung und den Bezug zur Interessens- und Vorstellungswelt der Schüler einen weiteren Schwerpunkt der didaktischen Strukturierung. Hier wird durch die auf der praktischen Ebene vorgenommene Zusammenführung von Schülerperspektiven und fachwissenschaftlichen Inhalten ein Fundus an Materialien zur Verwendung im Unterricht (jedoch auch für die außerschulische Beschäftigung mit der Thematik) erstellt.

Während die alte Struktur der Internetseite <http://www.geosim.org> nur die Ergebnisse der Fachlichen Klärung widerspiegelt, ist die Gestaltung nach den Ergebnissen der Hauptstudie überarbeitet worden. Anschaulichere Bilder der Auswirkungen eines Einschlags sollen das hohe Interesse der Schüler ansprechen. Weiterführende Links können die Schüler auf offizielle Seiten der NASA und zu Zeitungsartikeln über die Impakt-Thematik führen.

Die Inhalte der Materialien wurden demnach ebenso wie die Unterrichtseinheit stärker mit den empirischen Ergebnissen vernetzt. Inhalte wurden vernetzt und so strukturiert, dass der Zugang für Lerner besser gelingen kann.

Neben den eigentlichen Simulationsseiten (Eingabefenster und Ergebnisdarstellung) werden zwei weitere html-Dateien zur Verfügung gestellt, die Materialien zum Thema Impakte enthalten

Im Einzelnen werden folgende Themen angesprochen:

- I. Art des Impaktors (Meteorit, Asteroid, Komet),
- II. Ablauf eines Einschlags,
- III. Gesteinsveränderungen durch Einschläge,
- IV. Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte,
- V. Folgen eines Einschlags heute.

Auf der einführenden Seite ‚1. *Einleitung*‘ finden sich ausführliche Informationen zu Ablauf und Auswirkungen von Einschlägen. Dabei werden die Themen nach der von der Fachwissenschaft vorgegebenen Struktur angeordnet:

Unterpunkt ‚I. *Meteorit, Asteroid, Komet?*‘ umfasst eine stichwortartige Definition der wichtigsten Begriffe Meteorit, Asteroid, Komet, NEO und PHO - englische Begriffe liegen in ihrer deutschen Übertragung vor.

Die in Abschnitt ‚II. *Ablauf eines Einschlag*‘ vorgestellten Szenarien basieren auf Untersuchungen früherer Impakt-Ereignisse und deren Folgen sowie energetischen Berechnungen. Der Begriff ‚Impakt-Winter‘ verweist auf die Ähnlichkeit dieses Phänomens mit einem ‚Nuklearen Winter‘ hin. Dieses Szenario eines globalen Winters nach einem Atomkrieg wurde bereits kurz nach der Prägung des Begriffs auch auf die Problematik eines großen Meteoriteneinschlags übertragen.

Speziell für das gut dokumentierte und in Deutschland bekannte Nördlinger Ries wird in Abschnitt ‚III. Der Einschlag verformt das Gestein‘ auf die Veränderungen des Gesteins durch einen Einschlag hingewiesen. Auf der amtlichen geologischen Karte von Bayern ist der Unterschied zwischen dem eigentlich üblichen Kalkgestein der Schwäbischen/Fränkischen Alb und dem durch den Einschlag entstandenen Suevit/Breccie deutlich an der Farbgebung zu erkennen – damit ist auch (zumindest für bayerische Schüler) ein Nahraumbezug hergestellt.

‚Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte‘ bilden den Inhalt des IV. Abschnitts. Noch nicht im Text der Arbeitsmaterialien enthalten sind Theorien, dass auch das Perm/Trias-Massensterben (vor 245 Millionen Jahren) sowie die Jüngere Dryas (der letzte große Vorstoß der Eiszeit-Gletscher vor 13.000 Jahren) von Meteoriteneinschlägen ausgelöst worden sein könnten. Allerdings seien diese umstrittenen Aussagen hier erwähnt, da sie als Grundlage für eine Diskussion über die Methoden und Arbeitsweisen der Wissenschaft dienen können.

Der letzte Informationsabschnitt ‚V. Die Folgen eines Einschlags heute‘ schließlich befasst sich mit den Auswirkungen, die ein Einschlag auf der Erde heute hätte. Dass dies keine hypothetischen Gedankenspiele sind, zeigt das Tunguska-Ereignis aus dem Jahr 1908, bei dem ein Kometenfragment in der Atmosphäre über Sibirien detonierte und eine Fläche von der Größe New Yorks verwüstete. Die Wiederkehr eines derartigen (kleinen!) Zwischenfalls wird derzeit mit wenigen Jahrhunderten angegeben.

5.4.3. Beschreibung der Simulation

Die Didaktische Rekonstruktion kann durch den als iterativ vorgestellten Prozess der Verknüpfung von fachlichen Konzepten und Schülerperspektiven zu einer immer weiter gehenden Verbesserung bereits vorhandener Materialien überleiten. Daher soll die CRATER-Simulation in ihrer jetzigen Gestalt kurz vorgestellt und für die Verwendung im Unterricht bereitgestellt werden. Weitere Verbesserungen sind durch den ständigen Rücklauf von Meinungen und Vorschlägen möglich. Grundlegend für das Verständnis von CRATER ist, dass die für die Simulation benutzten Algorithmen auf fachwissenschaftlichen Erkenntnissen basieren. Daher stellt die Simulation primär kein spielerisches 3-D-Schauspiel dar, sondern gibt Kratergröße, Energieumsatz und weitere Daten in tatsächlicher Abhängigkeit von den gewählten Anfangsbedingungen wieder. Die Simulation wurde mit Hilfe der Ergebnisse der Hauptstudie weiter verbessert und soll hier in ihren Detailfunktionen erklärt werden – dabei wird ständig der Bezug zur Vorstellungswelt der Schüler hergestellt.

Zuerst können auf der Seite ‚2. Simulationsdaten‘ die Werte für die Simulation eingegeben werden; falls keine Internetverbindung besteht, kann man nach den nötigen Installationen die Datei ‚CRATER-start.bat‘ doppelklicken – es öffnet sich ein Eingabefenster mit gleicher Funktionalität. Diese Option ist vor allem für Schulen, deren Rechner nicht vollständig über einen Internetzugang verfügen, implementiert worden (‚Standalone-Version‘).

Grundsätzlich können die Einschlagsbedingungen und die Eigenschaften des Meteoriten verändert werden. Im Einzelnen sind folgende Felder zu füllen (siehe Abbildung 102):

- Durchmesser des Meteoriten in Metern,
- Dichte des Meteoriten in kg/m^3 ,
- Geschwindigkeit beim Aufschlag in km/s ,
- Dichte des Untergrunds in kg/m^3 ,
- Schwerebeschleunigung in m/s^2 ,
- Oberflächenbeschaffenheit.

Die Textur kann je nach Sichtbarkeit auf dem Bildschirm gewählt werden und hat keinen Einfluss auf die Simulation.

Abbildung 102: Eingabemaske für die CRATER-Simulation³⁹¹

Die Schüler erkennen hier, dass es wesentlich mehr Einflussfaktoren auf die Kratergröße und die Auswirkungen eines Einschlags gibt als nur die von den meisten genannte Größe des Impaktors. Es kann ein erstes Umdenken von einem monokausalen Gefüge weg beginnen.

³⁹¹ Die Original-Version der Eingabemaske ist in Farben gehalten

Sind alle Werte gesetzt, wird mit dem Button ‚Simulation starten‘ (bzw. bei der Standalone-Version ‚HTML und VRML generieren‘) die Simulation in Gang gesetzt. Das Ergebnis wird auf der Seite ‚3. Simulation‘ angezeigt.

Das Ergebnissenster ist unterteilt in die Auflistung der berechneten Werte und die eigentliche Simulation. Im oberen Teil findet sich daher eine Tabelle mit den zuvor eingegebenen Parametern und den daraus berechneten Werten. Dabei werden folgende Ergebnisse berechnet:

- 1) Durchmesser des Kraters in Metern,
- 2) Tiefe des Kraters in Metern,
- 3) Dauer der Kraterbildung in Sekunden,
- 4) Kratertyp,
- 5) Ausgeworfene Masse in Tonnen,
- 6) Kratervolumen in km^3 ,
- 7) Einschlagsenergie in Joule,
- 8) Zur besseren Vergleichbarkeit die Einschlagsenergie in Wasserstoffbomben-Äquivalenten (20 Megatonnen TNT entspricht etwa der stärksten von Menschenhand gezündeten Bombe und damit der ca. 1000-fachen Sprengkraft der Hiroshima-Atombombe).

Die vorher von den Schülern gesetzten Werte liefern nun ein komplexes Bild der Kraterentstehung. Der Ablauf eines Einschlags wird mit Kratergröße, Energieumsatz, Bildungsdauer und Zerstörungspotenzial quantitativ konkretisiert.

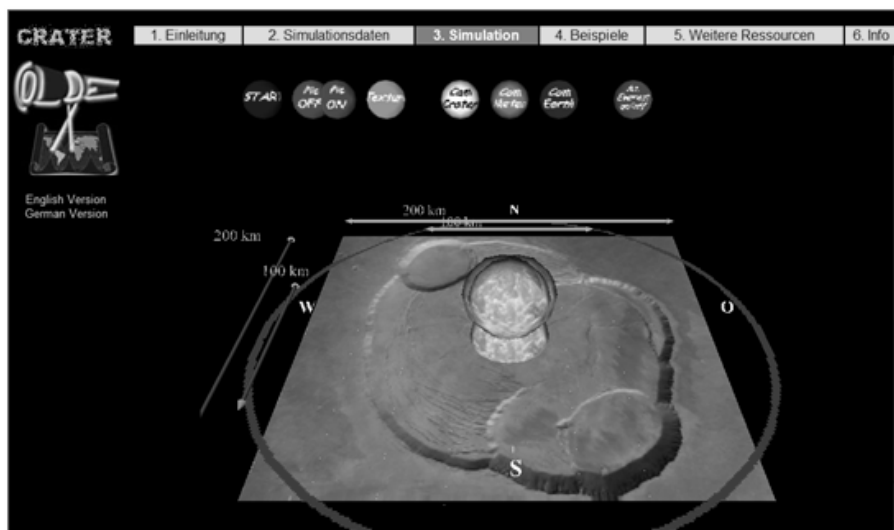


Abbildung 103: 3-D-Simulation eines Impakts mit CRATER 1.2³⁹²

Der untere Teil des Ergebnis-Fensters zeigt die 3-D-CRATER-Simulation. Diese ist mit dem blauen Start-Button anzustoßen. Nachdem der Meteorit eingeschlagen ist,

³⁹² Die Original-Simulation arbeitet mit der vollständigen Farbpalette

zeigt sich der entstandene Krater, ein roter Kreis zeigt das Gebiet vollständiger Zerstörung an, ein gelber Ring die Region schwerer Schäden (siehe Abbildung 103).

Die Schüler können somit neben der rein quantitativen Darstellung des Ergebnisses auch auf einen visuellen Eindruck zurückgreifen. Durch die Darstellung im dreidimensionalen Raum ergibt sich ein Eindruck von der möglichen Reichweite der Auswirkungen eines Einschlags.

Es gibt verschiedene Ansichten, die man durch anklicken der ‚Cam Crater‘-, ‚Cam Meteo‘- und ‚Cam Earth‘-Buttons erreicht. Mit dem ‚Cam Crater‘-Button wird an den Krater herangezoomt und durch erneutes Klicken wieder herausgezoomt. Der ‚Cam Meteo‘-Button erlaubt eine dynamische Kamerasicht auf dem Meteoriten während der Einschlagsphase. Und schließlich gelangt man über den ‚Cam Earth‘-Button zur Globalansicht, in der der Meteoriteneinschlag wie aus dem Weltraum sichtbar wird. Damit wird dem in der Pilotstudie geäußerten Wunsch der Schüler nach mehr Anschaulichkeit Rechnung getragen.

Weiterhin kann ein Größenvergleich helfen, die Dimensionen verschiedener Krater zu erfassen – hierzu kann man sich den Mount Everest über den braunen ‚Mt. Everest on/off‘-Button ein- und ausblenden lassen. Hier zeigen sich für die Schüler erst die Ausmaße, die ein großer Einschlag haben kann.

Die Simulation wird immer im gleichen Maßstab gestartet, so dass unterschiedliche Ausgangsparameter auch sofort in der Simulation sichtbar werden. Erst mit dem Wechsel zu verschiedenen Ansichten wird der Maßstab verändert.

Für folgende Krater sind bereits eingestellte Parameter verfügbar (über die Webseite ‚4.Beispiele‘):

1. Barringer Krater (Arizona, USA),
2. Chicxulub Krater (Halbinsel Yucatan, Mexiko),
3. Nördlinger Ries (Bayern, Deutschland).

Die Schüler können hier drei der berühmtesten Krater schnell simulieren und ihre unterschiedliche Größe und Auswirkungen darstellen. Mit dem Chicxulub-Krater wurde der für das Aussterben der Dinosaurier verantwortliche Einschlag ausgewählt – hier kann man im Unterricht an das Interesse der Schüler anknüpfen. Der Barringer-Krater ist vielen Schülern aus Abbildungen bekannt. Das Nördlinger Ries schließlich stellt durch die räumliche Nähe und der Möglichkeit einer Exkursion einen Bezug zur näheren Umwelt der Schüler her.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Meteoriteneinschläge haben als ‚Georisiko‘ eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Im Geographieunterricht werden sie jedoch kaum angemessen behandelt. Ziel dieser Arbeit war es, den Stand der fachwissenschaftlichen Forschung und die Lernerperspektiven zu Meteoriteneinschlägen zu erfassen, um daraus eine angemessene didaktische Strukturierung des Themenbereiches abzuleiten und entsprechende Schlussfolgerungen für die Behandlung des Themas im Geographieunterricht darzustellen.

Um alle Ebenen dieser didaktischen Arbeit in einen integrierenden Rahmen zu fassen, wurde das heute bereits etablierte Modell der ‚Didaktischen Rekonstruktion‘ herangezogen. Es verbindet die Analyse fachwissenschaftlicher Konzepte, die Erfassung und Auswertung von Schülerperspektiven und die praktische, unterrichtliche Gestaltung zu einem iterativen Prozess.

Die vorangestellte Analyse der Begründungszusammenhänge in den Erziehungswissenschaften, der Naturwissenschaftsdidaktik sowie in der Geographie und ihrer Didaktik zeigt, dass die Impakt-Thematik im Verknüpfungsbereich von naturwissenschaftlicher und gesellschaftswissenschaftlicher Forschung und Bildung angesiedelt ist. Auch im Rahmen der geographischen Kernkompetenzen und Bildungsstandards zeigen sich vielfache Anknüpfungspunkte, denn Meteoriteneinschläge können als globales und regionales Schlüsselproblemen verstanden werden.

Aus der Analyse der fachwissenschaftlichen Konzepte konnten wertvolle Schlüsse für Unterrichtspraxis und geographiedidaktische Forschung gezogen werden. Hierzu wurden einzelne Bereiche des Modells der Didaktischen Rekonstruktion den speziellen Eigenschaften des Themengebiets Meteoriteneinschläge angepasst. So wurde über den Rahmen der Analyse von Literatur zum Thema Meteoriteneinschläge aus Gründen der Aktualität hinausgegangen, indem Experten zum derzeitigen Kenntnisstand befragt wurden.

Die Fachliche Klärung des Thema Meteoriteneinschläge kommt durch Literaturanalyse und Experteninterviews zu folgenden Schlussfolgerungen:

- das Thema Meteoriteneinschläge nimmt im Rahmen von Rückversicherungen und Katastrophenvorsorge einen relevanten Teilbereich ein;
- Impakte sind ein Bestandteil der Erdgeschichte und haben immer wieder zu einschneidenden geologischen, biologischen und geographischen Veränderungen auch auf globaler Ebene geführt;
- das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß lässt Meteoriteneinschläge in der Statistik für Ereignisse mit Todesfolge gleichwertig mit anderen als relevant erachteten Katastrophen wie z.B. Flugzeugunglücken erscheinen;
- die Gefahr durch Meteoriteneinschläge ist durch die Möglichkeit eines Massensterbens, das auch den Menschen treffen könnte, als extremes Naturrisiko gekennzeichnet;
- ein Einschlag heute würde nicht nur klimatische, geologische, geomorphologische und biologische Konsequenzen haben, sondern auch wirtschaftliche, politische und soziale Folgen nach sich ziehen;
- aus den oben genannten Punkten kann die Notwendigkeit zu mehr Forschungs- und Aufklärungsarbeit abgeleitet werden – diese Aufgabe kann die Geographie als Zentrierungsfach der schulrelevanten Inhalte aller Geowissenschaften wie kein anderes Fach übernehmen.

Kernbestandteil der empirischen Studie waren daher die kognitiven und affektiven Vorstellungen zur Impakt-Thematik von Schülern der Sekundarstufe I und II. Dabei wurde auch auf die Abhängigkeit der Vorstellungen von Interesse, Alter und Geschlecht eingegangen. Ebenso waren die Quellen der Vorstellungen aus Medien und Unterricht Teil der Untersuchung.

Mit Hilfe von Fragebögen wurden Schüler bayerischer Gymnasien zu ihrem Interesse, ihren Vorstellungen und der subjektiven Gefahreinschätzung im Zusammenhang mit Meteoriteneinschlägen befragt. Zur Auswertung der kognitiven Schülervorstellungen wurde eine Matrix aus den Faktoren ‚Komplexität‘ und ‚Nähe zu wissenschaftlichen Vorstellungen‘ erstellt. Diese Vorstellungs-Matrix diente als Grundlage für eine Clusteranalyse, durch die zwei unterschiedliche Vorstellungs-Typen identifiziert werden konnten. Für die quantitative Erhebung teilen sich die Probanden in den Vorstellungs-Typ 1, der durch weniger komplexe und wissenschaftsfernere Vorstellungen gekennzeichnet ist, während Vorstellungs-Typ 2 komplexere Vorstellungen besitzt, die zudem näher an den wissenschaftlichen Konzepten angesiedelt sind.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass Vorstellungen zu Meteoriteneinschlägen bei der Mehrzahl der Schüler komplexe Strukturen sind, die sich jedoch – vor allem bei der Interpretation von Impakt-Wahrscheinlichkeit und Auswirkungen eines Einschlags – nicht mit den derzeitigen wissenschaftlichen Vorstellungen decken. Auf der Ebene der kognitiven Vorstellungen fehlt häufig ein geologisches Zeitbewusstsein, das jedoch in der geographiedidaktischen Forschung als ‚kritische Barriere‘ für ein tieferes Verständnis geologischer Prozesse angesehen wird. Es zeigt sich auch, dass kognitive Vorstellungen abhängig sind vom Alter der Probanden, von deren Geschlecht und von der Interessenslage der Schüler.

Als Quelle der Schülervorstellungen konnten Fernsehen und Kino ausgemacht werden, doch der Geographieunterricht spielt eine ebenso tragende Rolle.

Durch fünf Interviews wurden zudem Kernkonzepte über Meteoriteneinschläge auf der Erde identifiziert. Insgesamt wurde damit ein Forschungsdesign verwendet, das durch Methodentriangulation die Komplementarität von Ergebnissen quantitativer und qualitativer Verfahren prüft. Die destillierten Kernkonzepte zeigen, dass sich Schülervorstellungen in Bezug auf die Herkunft von Meteoriten („Meteorit in Erdnähe“ versus „Meteorit aus dem Sonnensystem“), den Ablauf („Hitze und Gewicht“ versus „Explosion und Druckwellen“) und die Auswirkungen eines Einschlags (lokale versus globale Auswirkungen), der Meteoritenabwehr („Resignation“ versus „Technikgläubigkeit“) sowie der geologischen Zeitskala („Shallow Time“ versus „Deep Time“) deutlich voneinander unterscheiden und in zwei Vorstellungs-Typen gliedern lassen. Die Ergebnisse der quantitativen und der qualitativen Teilstudien ergänzten und bestätigten sich gegenseitig.

Ein weiteres zentrales Ergebnis ist, dass das Thema Meteoriteneinschläge auf Schülerseite erhebliches Interesse hervorruft. Zudem konnte gezeigt werden, dass Interesse und Vorstellungen voneinander abhängig sind. Für die Unterrichtskonstruktion sollte daher als Konsequenz auch tatsächlich auf das Schülerinteresse und die Vorstellung als sich gegenseitig beeinflussende Faktoren geachtet werden.

Zur verwendeten Methodik ist hervorzuheben, dass es sich in dieser Arbeit als vorteilhaft erwiesen hat, dass die Ergebnisse mit Hilfe der Verbindung von qualitativen und quantitativen Methoden gewonnen wurden. Dadurch konnten mehrere Lernerperspektiven bei der Befragung berücksichtigt werden und es ergab sich ein angemessenes Gesamtbild in Bezug auf Vorstellungen, Interesse und subjektiver Gefahreinschätzung. Die Erhebung von Schülervorstellungen wurde damit in einen größeren Zusammenhang gebettet. Methodisch gelingt dies durch die Triangulation von

quantitativen und qualitativen Verfahrensweisen, wobei die Ergebnisse zeigen, dass beide Verfahren als gleichwertig und sich synergetisch ergänzend angesehen werden können.

Im Rahmen der Didaktischen Strukturierung wurden für die Unterrichtspraxis schließlich die aus der Pilotstudie bereits vorliegenden Entwürfe der CRATER-Simulation und der Unterrichtseinheit anhand der Ergebnisse zu fachlichen Inhalten und zu den Lernerperspektiven umgestaltet und inhaltlich erweitert – das faszinierende und bedeutsame Thema der Meteoriteneinschläge auf der Erde kann damit auf der Basis von theoretischen wie empirischen Befunden im Geographieunterricht näher beleuchtet werden.

Als Ausgangspunkt für eine anschließende Untersuchung könnten in einer vergleichenden Studie die Lernerperspektiven zur Impakt-Thematik dem Interesse und den Vorstellungen im umfassenderen Bereich der Naturkatastrophen gegenübergestellt werden. Ebenso sollte der Einfluss religiöser Konzepte auf die Schülervorstellungen zur geologischen Zeitskala untersucht werden, denn bereits in dieser Studie konnte eine Kompartimentalisierung von wissenschaftlichen und religiösen Vorstellungen beobachtet werden. Im Rahmen einer Interventionsstudie schließlich könnten die Unterrichtsreihe und die CRATER-Simulation auf ihre Wirksamkeit hin geprüft und einem neuen Überarbeitungsschritt weiter verbessert werden.

7. Summary – Zusammenfassung in Englisch

Meteorite impacts have been an ongoing phenomenon throughout Earth's history. This study is concerned with three aspects of the topic: the geographical assessment, the students' pre-concepts of the topic and the educational implementation of the subject with the help of a web/computer based simulation.

As for the geographical assessment the analysis of the scientific literature shows that meteorite impacts pose a high risk for our planet. Small meteorites occur most often and only cause local damage but can nevertheless be a danger for cities. Larger meteorites are considered a risk for coastal areas due to highly likely tsunami generation. Objects with more than 2km diameter require special supervision for they can cause a global 'impact winter' and lead to a mass extinction, including human-kind. Additional interviews with representatives of the MunichRe Group, the WBGU (scientific council of the German government) and the DKKV have also shown that meteorite impacts are dealt with as a high-risk potential and one of the most dangerous natural hazards – their most important characteristic is the combination of low probability and extremely high possible damage.

Further connections to geography on multiple scales and dimensions lead to the necessary examination of students' concepts about meteorite impacts. The model of 'Didaktische Rekonstruktion' (Model of Educational Reconstruction, MER) is used in order to help setting up the theoretical framework and interpret the collected data (results from 400 questionnaires and qualitative results from 5 interviews conducted in Bavaria). MER combines the scientific approach, the study of students' ideas and the practice to an iterative process. Results show that

- There is high interest in the subject both in lower Sek I grades and at the end of Sek II;
- Students gather their knowledge about meteorite impacts both from school lessons and TV documentaries/cinema movies;
- Students are aware of the threat of meteorite impacts to humanity but are unable to connect this cognitive knowledge to their individual perspective;
- Students' concepts highly differ between ages and gender;
- Most often pre-concepts include non-scientific interpretations of impact statistics and size relations and are highly different from student to student;
- The data from questionnaires clearly shows a lack of awareness of the geological timescale ('deep time').

The goal of combining scientific concepts and students' prerequisites in an educational context is achieved by setting up a geography course module on the impact topic. Core component of the 3-lesson module is the CRATER simulation. With the help of the 3D simulation (also available online via <http://www.geosim.org>) it is possible to calculate the size of a crater, its formation time and the energy released during the impact. The outcome is influenced by certain criteria which can all be freely adjusted in the simulation. Finally the additional material on the website can lead to an improved teaching of the phenomenon.

Therefore the central aim for the study is the educational implementation of the topic in geographical curricula – clearly supported by the conducted research on scientific and student's concepts.

8. Literaturverzeichnis

Die Zitierweise richtet sich – bis auf kleine Änderungen – nach der von BORTZ/DÖRING (2002) empfohlenen Form eines Literaturverzeichnisses.

Ahnert, F. (2003) *Einführung in die Geomorphologie*. Stuttgart.

Alvarez, L. et al. (1980) *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction*. In: Science 208, S. 1095-1108.

Alvarez, W. et al. (1982) *Iridium Anomaly Approximately Synchronous with Terminal Eocene Extinctions*. In: Science 216, S. 886.

Andersen, J. (2007) *Towards Rational International Policies on the NEO Hazard*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 521-526.

Anderson, L. (Hrsg.) (2003) *A taxonomy for learning, teaching and assessment*. New York.

Atkinson, H., Ticknell, C., und Williams, D. (Hrsg.) (2000) *Report of the Task Force on Potentially Hazardous Near Earth Objects*. UK Government, London.

Baalmann, W. et al. (2004) *Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 10, 2004, S. 7-28.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1996) *Geologische Karte von Bayern-Erläuterungen*. München.

Becker, L. et al. (2004) *Bedout: A Possible End-Permian Impact Crater Offshore Northwestern Australia*. In: Science, Vol. 304, Juni 2004, Issue 5676, 1469-1476.

Binzel, R. P. (2000) *The Torino Impact Hazard Scale*. In: Planetary & Space Science 48, S. 297-303.

Birkenhauer, J. (2008) *Geodidaktik: Stand und Systematik*. In: Geographie und ihre Didaktik 36, Heft 2, S. 90-95.

Birks, J.W., Crutzen, P.J. und Roble, R.G. (2007) *Frequent Ozone Depletion Resulting from Impacts of Asteroids and Comets*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 225-245.

Bischoff, A. (2001) *Fantastic new chondrites, achondrites, and Lunar meteorites as the result of recent meteorite search expeditions in hot and cold deserts*. In: Earth, Moon & Planets 85-86, S. 87-97.

- Bischoff, A.** (2001) *Meteorite classification and the definition of new chondrite classes as a result of successful meteorite search in hot and cold deserts*. In: Planetary and Space Sciences 49, S. 769-776.
- Bloom, B.S. et al.** (1972) *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Weinheim.
- Bobrowsky, P. und Rickman, H.** (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York.
- Bogun, R.** (2006) *Umwelt- und Risikobewusstsein als Voraussetzung für Verhaltensänderungen in Richtung Nachhaltigkeit*. (= artec-paper Nr. 133, artec - Forschungszentrum Nachhaltigkeit, Bremen).
- Bortz, J. und Döring, N.** (2002) *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg.
- Büchner, L.** (1902) *Kraft und Stoff. Oder die Grundzüge der natürlichen Weltordnung. Wohlfleile Ausgabe*. Leipzig.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)** (2006) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2006 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Berlin.
- Campbell, N.A.** (1997) *Spektrum Lehrbuch Biologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Carusi, A., Carusi, A. und Pozio, L.** (2007) *May Land Impacts Induce A Catastrophic Collapse of Civil Societies?* In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 419-447.
- Chapman, C.R.** (2002) *Impact lethality and risks in today's world: Lessons for interpreting Earth history*. In: Geological Society of America, Special Paper 256, S. 7-19.
- Chapman, C.R.** (2004) *The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth*. In: Earth and Planetary Science Letters 222. S. 1-15.
- Collins, G.S. et al.** (2005) *Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth*. In: Meteoritics & Planetary Science 40, Nr. 6, S. 817-840.
- Cube, Felix von** (1982) *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens*. Stuttgart.
- Deutsch, A. und Bischoff, A.** (1995) *Die Bedeutung von Einschlägen extraterrestrischer Projektile für die Entwicklung des Planeten Erde - Ein Paradigmenwechsel in den Geowissenschaften*. In: Berichte über die Gesellschaft zur Förderung der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster e.V., S. 15-18.
- Deutsche Gesellschaft für Geographie** (2007) *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen. 4., erweiterte und durchgesehene Ausgabe Dezember 2007*. Bonn.

Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.) (2001) *PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen.

DGfG (2008) *Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit*. Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth. Herausgegeben von Elmar Kulke und Herbert Popp. Bayreuth, Berlin.

Dickau, R. (2008) *Katastrophen – Risiken – Gefahren. Herausforderungen für das 21. Jahrhundert*. In: DGfG (2008) *Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit*. Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth. Herausgegeben von Elmar Kulke und Herbert Popp. Bayreuth, Berlin. S. 47-68.

Dickerson, D. et al. (2005) *Students' Conceptions of Scale Regarding Groundwater*. In: *Journal of Geoscience Education*, v. 53, n. 4, September, 2005, S. 374-380.

Diesbergen, C. (2000) *Radikal-konstruktivistische Pädagogik als problematische Konstruktion. Eine Studie zum radikalen Konstruktivismus und seiner Anwendung in der Pädagogik*. Bern, Berlin, Brüssel, Frankfurt/M., New York, Wien.

Die Zeit (2005) *Die Zeit – Politik : Gefahrenzone Erde*. In: *Die Zeit* 02/2005 (Internetquelle: http://www.zeit.de/2005/02/Titelei_Naturkatastrophen, Zugang August 2007).

Die Zeit (2005) *Die Zeit – Wissen : Rechnen mit der Katastrophe*. In: *Die Zeit* 02/2005. (Internetquelle: http://www.zeit.de/2005/02/N-Interview_Katastrophen, Zugang August 2007).

Duit, R. (2004) *Piko-Brief Nr.2 – Didaktische Rekonstruktion*. Kiel 2004.

Ehrlich, P.R. et al. (1984) *The Cold and the Dark. The World after Nuclear War*. London.

Emmermann, R., et al. (Hrsg.) (2003) *An den Fronten der Forschung. Kosmos, Erde, Leben. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (GDNÄ), 122. Versammlung 2002*. Stuttgart, Leipzig.

Engelhard, K. (1997) *Erziehungswissenschaftliche Grundlagen des Unterrichtsfaches*. In: Haubrich, H. et al. (1997) *Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 30-35.

Erikson, E. (1986) *Evolutionary and Developmental Considerations*. In: Grinspoon (Hrsg.) (1986) *The Long Darkness. Psychological and Moral Perspectives on Nuclear Winter*. New Haven, London.

Ernst, W.G. (2000) *Earth Systems. Processes and Issues*. Cambridge.

Erzberger, C. (1995) *Die Kombination von qualitativen und quantitativen Daten. Methodologie und Forschungspraxis von Verknüpfungsstrategien*. In: ZUMA-Nachrichten, Nr. 36, S. 35-60.

Falk, G. C. (2006) *Synthese geographischer Ansätze*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 44-45.

Franke, M.R. (2001) *Der Impakt eines Asteroiden in Mitteleuropa. Eine Analyse der Auswirkungen des Impakts eines Near-Earth-Objects auf Nuklearkraftwerke und Anlagen der Großchemie sowie die Folgen für Mensch und Umwelt*. Berlin.

Geopark Ries (2009) *Geopark Ries. Europas Riesiger Meteoritenkrater. Nationaler Geopark Ries*. Donauwörth.

Glaserfeld, E. von (2003) *Rezension von NÜSE, R. et al. (1991) Über die Erfindung des Radikalen Konstruktivismus*. In: *Soziologische Revue*, Bd. 16, S. 288-290.

Gould, S.J. (1986) *A Biological Comment on Erikson's Notion of Pseudospeciation*. In: Grinspoon, L. (Hrsg.) (1986) *The Long Darkness. Psychological and Moral Perspectives on Nuclear Winter*. New Haven, London.

Gould, S.J. (1990) *The golden rule – a proper scale for our environmental crisis*. In: *Natural History* Nr. 9, S. 24-30.

Grinspoon, L. (Hrsg.) (1986) *The Long Darkness. Psychological and Moral Perspectives on Nuclear Winter*. New Haven, London.

Gritzner, C. und Fasoulas, S. (2001) *Katastrophen durch Einschläge von Asteroiden und Kometen*. In: Tetzlaff, G., Trautmann, T. und Radtke, K.S. (2001) *DKKV - Zweites Forum Katastrophenvorsorge „Extreme Naturereignisse – Folgen, Vorsorge, Werkzeuge“*. Bonn, Leipzig. S.43-49.

Grollmann, T. (2003) *Cosmic Catastrophes – Science Fiction or Reality?* Köln.

Gropengießer, H. (1997) *Didaktische Rekonstruktion des Sehens*. Dissertation. Oldenburg.

Grunert, S. und Ullrich, B. (2000) *Das Zeitmaß der Erdgeschichte*. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 49, Heft 2. S. 45 – 50.

Gusiakov, V.K. (2007) *Tsunami as a Destructive Aftermath of Oceanic Impacts*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 247-263.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., und Komorek, M. (1997) *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Jg. 3, H. 3, S. 3-18.

Haggett, P. (1991) *Geographie. Eine moderne Synthese*. Stuttgart.

Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W., und Mayer, J. (Hrsg.) (1998) *Naturwissenschafts-didaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel.

Häußler, P. und Lauterbach, R. (1976) *Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts - Zur Begründung inhaltlicher Entscheidungen*. Weinheim.

- Hartwell, W.T.** (2007) *The Sky on the Ground: Celestial Objects and Events in Archaeology and Popular Culture*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 71-87.
- Haubrich, H. et al.** (1997) *Didaktik der Geographie konkret*. München.
- Haubrich, H. et al.** (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München.
- Haubrich, H.** (2006) *Taxonomie geographischer Lernziele*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 18-21.
- Heimann, P., Schulz, W. und Otto, G.** (1965) *Unterricht - Analyse und Planung*. Hannover.
- Hemmer, I. und Hemmer, M.** (1996) *Welche Themen interessieren Jungen und Mädchen am Geographieunterricht? – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung*. In: Praxis Geographie H. 12, S. 41-43.
- Hemmer, M.** (2000) *Westen ja bitte – Osten nein danke! Empirische Untersuchungen zum geographischen Interesse von Schülerinnen und Schülern an den USA und der GUS*. München.
- Hemmer, I. und Hemmer, M.** (2002a) *Wie kann ich die Interessen meiner Schüler ermitteln?* In: Geographie heute. Heft 202, 23. Jg. S. 10 - 11.
- Hemmer, I. und Hemmer, M.** (2002b) *Wie kann ich meinen Unterricht für Schüler interessanter gestalten? Bausteine eines interessenorientierten und interesseunterstützenden Unterrichts*. In: Geographie heute. Heft 202, 23. Jg. S. 8 - 9.
- Hemmer, I. und Hemmer, M.** (2002c) *Mit Interesse lernen. Schülerinteresse und Geographieunterricht*. In: Geographie heute. Heft 202, 23. Jg. S. 2 – 7.
- Hemmer, I., Hemmer, M., Bayrhuber, H., Häussler, P., Hlawatsch, S., Hoffmann, L. und Raffelsiefer, M.** (2005) *Interesse von Schülerinnen und Schülern an geowissenschaftlichen Themen*. In: Geographie und ihre Didaktik. Heft 2. S. 57 – 72.
- Hemmer, I. und M. Hemmer** (2006): *Kontinuität und Wandel im Schülerinteresse an einzelnen Themen des Geographieunterrichts - Ergebnisse zweier empirischer Untersuchungen aus den Jahren 1995 und 2005*. In: Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung - Tagungsband zum 30. Deutschen Schulgeographentag Bremen. Heft 42, S. 181 – 182.
- Hermelin, M.** (2007) *Communicating Impact Risk to the Public*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 495-504.

- Hewitt, K.** (2007) *Social Perspectives on Comet/Asteroid Impact (CAI) Hazards: Technocratic Authority and the Geography of Social Vulnerability*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 399-417.
- Hidi, S., Renninger, K. A., und Krapp, A.** (2004) *Interest, a motivational construct that combines affective and cognitive functioning*. In: Dai, D.Y. und Sternberg, R.J. (Hrsg.), *Motivation, emotion and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development*. S.89-115. Mahwah, New York.
- Hilge, C.** (1999) *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion*. Dissertation. Oldenburg.
- Hills, J.G.** (1981) *Comet Showers and the Steady-State Infall of Comets from the Oort Cloud*. In: *Astronomical Journal* 86, S. 1730-1740.
- Holloway, S.L., Rice, S.P., Valentine, G.** (Hrsg.) (2003) *Key Concepts in Geography*. London, Thousand Oaks, New Delhi.
- Holt-Jensen, A.** (1980) *Geography. Its History and Concepts*. London.
- Hutton, J.** (1785) *Theory of the Earth*. Edinburgh.
- Illner, R.** (2000) *Einfluß religiöser Schülervorstellungen auf die Akzeptanz der Evolutionstheorie*. Dissertation. Oldenburg.
- International Commission on Stratigraphy** (2008) *International Stratigraphic Chart 2008*. Paris (Internetquelle: <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2008.pdf>, Zugang August 2009).
- IUCN (2005)** *World Heritage Evaluation – IUCN Technical Evaluation - Vredefort Dome (South Africa)*. Gland (Switzerland).
- Janßen-Bartels, A. und Sander, E.** (2004) *Verallgemeinerung qualitativer Daten in der biologiedidaktischen Lehr-, Lernforschung*. In: Gropengießer, H., Janßen-Bartels, A. und Sander, E. (Hrsg.), *Lehren fürs Leben. Didaktische Rekonstruktion in der Biologie*. Köln. S.109 – 118.
- Kanwischer, D.** (2006) *Der Doppelcharakter der Geographie und andere Katastrophen nebst einigen Bemerkungen zur fachdidaktischen Umsetzung*. In: Horst, U., Kanwischer, D. und Stratenwerth, D. (Hrsg.) (2006) *Die Kunst sich einzumischen. Vom vielfältigen und kreativen Wirken des Geographen Tilman Rhode-Jüchtern. Von Freunden und Weggefährten zum 60. Geburtstag zugeeignet*. Berlin. S. 127-142. (Internetquelle: www.geographische-revue.de/archiv/kanwisch.pdf, Zugriff Mai 2008).
- Kattmann, U.** (2007) *Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie*. In: Krüger, D. und Vogt, H. (Hrsg.) (2007), S. 93-104.
- Kavasch, J.** (1987) *Meteoritenkrater Ries, ein geologischer Führer*. Donauwörth.

Kent, M. (2003) *Space: Making Room for Space in Physical Geography*. In: Holloway, S.L., Rice, S.P., Valentine, G. (Hrsg.) (2003) *Key Concepts in Geography*. London, Thousand Oaks, New Delhi. S. 109-127.

Keppler, E. (1997) *Die unruhige Erde*. Hamburg.

Klafki, W. (1964) *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim.

Klafki, W. (1985) *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim, Basel.

Koeberl, C. (2007) *Impakt und Massensterben – Ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand*. In: Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt Österreich, Band 147, Heft 1+2, S. 169–191. Wien (= Festschrift zum 65. Geburtstag von HR Univ.-Prof. Dr. Hans Peter Schönlaub, Direktor der Geologischen Bundesanstalt)

Köck, H. (1992) *Der Geographieunterricht – ein Schlüsselfach*. In: Schultze, A. (Hrsg.) (1996) *40 Texte zur Didaktik der Geographie*. Gotha. S. 331-339.

Krapp, A. (1992a). *Interesse, Lernen und Leistung*. Zeitschrift für Pädagogik, Ausgabe 38(5), S. 747-770.

Kratwohl, D.R. (1964) *Taxonomy of Educational Objectives*. New York.

Krüger, D. und Vogt, H. (Hrsg.) (2007) *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg, New York.

Kundt, W. (2007) *Tunguska (1908) and Its Relevance for Comet/Asteroid Impact Statistics*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 331-339.

Lacin Simsek, C. (2007) *Children's Ideas about Earthquakes*. In: Journal of Environmental & Science Education, 2007, 2 (1), S. 14-19.

Lange, D. (1996) *Impakte extraterrestrischer Körper, Vulkanausbrüche und Erdbeben: Energiebilanzen und Häufigkeitsverteilungen im Vergleich*. Dissertation. Kiel.

Laplace, P. S. (1809) *The System of the World*. London.
(Internetquelle: <http://books.google.com/books?id=yW3nd4DSgYYC>, Zugang Juli 2008).

Leser, H. und Schneider-Sliwa, R. (1999) *Geographie-eine Einführung. Aufbau, Aufgaben und Ziele eines integrativ-empirischen Faches*. Braunschweig (= Das Geographische Seminar).

Lessing, G.E. (1779) *Nathan der Weise. Ein Dramatisches Gedicht, in fünf Aufzügen*.

Libarkin, J.C. et al. (2005) *Qualitative Analysis of College Students' Ideas about the Earth: Interviews and Open-Ended Questionnaires*. In: Journal of Geoscience Education. V.53, Nr. 1, Februar 2005, S. 17-26.

Libarkin, J.C. (2005) *Conceptions, Cognition, and Change: Student Thinking about the Earth*. In: Journal of Geoscience Education. V.53, Nr .4, September 2005, Editorial.

Libarkin, J.C. (2007) *Analysis of student conceptions of global earthquake and volcano occurrence*. In: 2007 GSA Denver Annual Meeting. Paper No. 213-4. (Internetquelle: http://gsa.confex.com/gsa/2007AM/finalprogram/abstract_130123.htm, Zugang April 2008)

Lifton, R.J. (1986) *Imagining the Real: Beyond the Nuclear 'End'*. In: Grinspoon (Hrsg.) (1986) *The Long Darkness. Psychological and Moral Perspectives on Nuclear Winter*. New Haven, London.

Lunar and Planetary Institute (2000) *Geographic Distribution of Known Impact Structures*. (Internetquelle: http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/craters/images/02_DISTRIBUTION_MAP.JPG, Zugang: April 2008);

Lyell, C. (1830) *The Principles of Geology*. Harmondsworth.

Mandl, H., Gruber, H. und Renkl, A. (1993) *Lernen im Physikunterricht – Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlicher Erfahrung*. Forschungsbericht Nr. 19, Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie. München.

Marusek, J. A. (2007) *Comet and Asteroid Threat Impact Analysis*. In: 2007 Planetary Defense Conference Invited Presentations and Papers. (Internetquelle: <http://www.aero.org/conferences/planetarydefense/2007papers.html>, Zugang November 2007)

Maturana, H. und Varela, F. (1987) *Der Baum der Erkenntnis: Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Bern, München, Wien.

Mayring, P. (1990) *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. München.

McGuire, W. J. (2006) *Global risk from extreme geophysical events: threat identification and assessment*. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, Nr. 364, S. 1889–1909.

McGuire, W. J. (2007) *The GGE Threat: Facing and Coping with Global Geophysical Events*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 123-141.

Meyer, C. (2006) *Sozialformen – Gruppenarbeit*. In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 112-115.

Möller, C. (1975) *Techniken der Klassifizierung und Hierarchisierung von Lernzielen*. in: Frey, K. (Hrsg.) *Curriculumhandbuch Band 2*. München.

Morrison, D. (1997a) *Is the Sky Falling?* In: *Skeptical Inquirer Magazine*, Mai/Juni 1997. (Internetquelle: <http://www.csicop.org/si/9705/asteroid.html>, Zugang September 2007).

Morrison, D. (1997b) *Impacts and Live: Living in a risky planetary system*. In: Terzian, Y. und Bilson, E. (Hrsg.) (1997) *Carl Sagan's Universe*. Cambridge. S. 75-87.

Morrison, D., Harris, A.W., Sommer, G. and Chapman, C.R. (2003) *Dealing with the Impact Hazard*. In: Cellino, A., Paolicchi, P. and Binzel, R. (2003) *Asteroids III*. Tuscon. S.739-754. (Internetquelle: <http://www.lpi.usra.edu/books/AsteroidsIII/download.html>, Zugang April 2008)

Müller, M. (2006) *Students' Concepts about Meteorite Impacts on Earth – Geographical Assessment and Pedagogical Consequences*. In: *Geographie und ihre Didaktik* 35, Heft 4, S. 218-232.

Münchener Rück (2001) *Meteoriten – (auch) ein unterschätztes Kumulrisiko?* In: *Münchener Rück* (2001) *topics-Jahresrückblick 2001*. München. S. 36-41.

NEOMAP (2004) *Space Mission Priorities for Near-Earth Object Risk Assessment and Reduction*. Berlin.

Niglas, K. (2000) *Combining quantitative and qualitative approaches*. Paper presented at the European Conference on Educational Research, Edinburgh, 20-23 September 2000. (Internetquelle: <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001544.htm>, Zugang Mai 2008)

OECD (2003) *Workshop on Near Earth Objects: Risks, Policies and Actions – Final Report*. Frascati. (Internetquelle: <http://www.oecd.org/dataoecd/39/40/2503992.pdf>, Zugang April 2008).

OECD (2005) *Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen. Zusammenfassung*. (Internetquelle: <http://www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf>, Zugang August 2008).

OECD (2007) *PISA 2006 - Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen*. Bielefeld.

Obermaier, G. (1997) *Strukturen und Entwicklung des geographischen Interesses von Gymnasialschülern in der Unterstufe – eine bayernweite Untersuchung*. Dissertation. München. (=Münchner Studien zur Didaktik der Geographie Band 9)

Paine, M. und Peiser, B. (2002) *The frequency and consequence of cosmic impacts since the demise of the dinosaurs*. Hamilton Island.

Paine, M. und Peiser, B. (2004) *The frequency and predicted consequences of cosmic impacts in the last 65 million years*. Hamilton Island.

Planetary Defense Conference (2007) *Summary and Recommendations from the 2007 Planetary Defense Conference held on March 5 – 8, 2007 at the Cloyd Heck Marvin Center George Washington University Washington, D.C.* (Internetquelle: <http://www.aero.org/conferences/planetarydefense/2007papers/>, Zugang November 2007).

- Plapp, S.T. und Werner, U.** (2002) *Hochwasser, Stürme, Erdbeben und Vulkanausbrüche : Ergebnisse der Befragung zu Wahrnehmung von Risiken aus extremen Naturereignissen. Sommerakademie der Studienstiftung des Deutschen Volkes.* Rot an der Rot.
- Plapp, S.T.** (2003) *Wahrnehmung von Risiken aus Naturkatastrophen. Eine empirische Untersuchung in sechs gefährdeten Gebieten Süd- und Westdeutschlands.* Dissertation. Karlsruhe.
- Plöger, W.** (1999) *Allgemeine Didaktik und Fachdidaktik.* München.
- Pohl, J. und Geipel, R.** (2002) *Naturgefahren und Naturrisiken.* In: Geographische Rundschau 54, Heft 1, S. 4-8.
- Prein, G., Kelle, U. und Kluge, S.** (1993) *Strategien zur Integration quantitativer und qualitativer Auswertungsverfahren.* (= Arbeitspapiere des Sfb 186, Nr. 19) Bremen.
- Prenzel, M., Krapp, A. und Schiefele, H.** (1986) *Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie.* Zeitschrift für Pädagogik, 32, 163-173.
- Press, F. und Siever, R.** (1995) *Allgemeine Geologie.* Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Reiff, W.** (1988) *Keuperton in der „Primären Beckenbrekzie“ des Steinheimer Beckens - ein Neufund.* In: Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 30, S. 349 – 355. Freiburg i.Br.
- Reinfried, S.** (2005) *Wie kommt Grundwasser in der Natur vor? – Ein Beitrag zur Praxisforschung über physisch-geographische Alltagsvorstellung von Studierenden.* In: Geographie und ihre Didaktik 33, Heft 3, S. 133-156.
- Reinfried, S.** (2006) *Begriffsbildung und Wissenserwerb.* In: Haubrich, H. et al. (2006) *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret.* München. S. 62-67.
- Renn, O., Schweizer, P.-J., Dreyer, M. und Klinke, A.** (2007) *Risiko- über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit.* München.
- Roth, G.** (2000) *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen.* Frankfurt am Main.
- Sagan, C. und Druyan, A.** (1997) *Comet. Revised Edition.* London.
- Schätzing, F.** (2006) *Nachrichten aus einem unbekannten Universum.* Köln.
- Schmidt-Wulffen, W.** (1994) *„Schlüsselprobleme“ als Grundlage zukünftigen Geographieunterrichts.* In: Schultze, A. (Hrsg.) (1996) *40 Texte zur Didaktik der Geographie.* Gotha. S. 340-347.
- Schmitz, A.** (2006) *Interessen- und Wissensentwicklung bei Schülerinnen und Schülern der Sek II in außerschulischer Lernumgebung am Beispiel von NaT-Working „Meeresforschung“.* Dissertation. Kiel.

Schopenhauer, A. (1819) *Die Welt als Wille und Vorstellung, Erstes Buch*. Dresden.

Schuler, S. (2004a) *Alltagstheorien von Schülerinnen und Schülern zum globalen Klimawandel*. In: Kroß, E. (Hrsg.) *Globales Lernen im Geographieunterricht. Erziehung zu einer nachhaltigen Entwicklung*. 15. Symposium des Hochschulverbandes für Geographie und ihre Didaktik in Bochum vom 10.-12.06.03. Nürnberg. (=Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 38), S.123-145.

Schuler, S. (2004b) *Alltagstheorien über den globalen Klimawandel. Eine empirische Untersuchung von Schülervorstellungen*. In: *Praxis Geographie* 34.Jg., H.11, S. 42-43.

Schulz, W. (1980) *Unterrichtsplanung*. München.

Schultze, A. (Hrsg.) (1996) *40 Texte zur Didaktik der Geographie*. Gotha.

Schummer, J. (2001) *Zeitbewußtsein, Ökologie und Ethik*. In: *Antemnae* 3, 2001, S. 172-190. Rom.

Shoemaker, E. M. und Chao, E. C. T. (1961) *New evidence for the impact origin of the Ries basin, Bavaria, Germany*, in *Journal of Geophysical research*. no. 66(10), S. 3371-3378. Washington.

Shoemaker, E. M. (1988) *Guidebook to the geology of Meteor Crater, Arizona*. Tempe, Arizona.

Slovic, P. (2007) *Perception of Risk from Asteroid Impact*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 369-382.

Sommer, G.S. (2004) *Astronomical Odds: A Policy Framework for the Cosmic Impact Hazard*. Dissertation. Santa Monica, Arlington, Pittsburgh.

Stöffler, D. (2003) *Bedrohung aus dem All – Asteroiden und Kometen*. In: Emmermann, R. u.a. (Hrsg.) (2003), S. 81-98.

Summerfield, M.A. (2000) *Geomorphology and Global Tectonics*. Chichester/England.

Swiss Re (2005) *A dangerous world? Interview with Serge Troeber*. In: *Swiss Re Knowledge & Information Management (IF)*, 15. Januar 2005.

(Internetquelle:

http://www.swissre.com/resources/86d3d480455c3f9cabd0bb80a45d76a0-serge_troeber.pdf, Zugang September 2007)

Terzian, Y. und Bilson, E. (Hrsg.) (1997) *Carl Sagan's Universe*. Cambridge.

Tetzlaff, G., Trautmann, T. und Radtke, K.S. (2001) *DKKV - Zweites Forum Katastrophenvorsorge „Extreme Naturereignisse – Folgen, Vorsorge, Werkzeuge“*. Bonn, Leipzig.

Thrift, N. (2003) *Space: the fundamental stuff of geography*. In: Holloway, S.L., Rice, S.P., Valentine, G. (Hrsg.) (2003) *Key Concepts in Geography*. London, Thousand Oaks, New Delhi. S. 95-109.

Trend, R. (1998) *An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children*. In: *International Journal of Science Education*, n. 20(8), S. 973-988.

Trend, R. (2000). *Conceptions of geological time among primary teacher trainees, with reference to their engagement with geoscience, history, and science*. In: *International Journal of Science Education*, n. 22(5), S. 539-555.

Trend, R. D. (2001a). *Deep time framework: A preliminary study of U.K. primary teachers' conceptions of geological time and perceptions of geoscience*. In: *Journal of Research in Science Education*, n. 38(2), S. 191-221.

Trend, R. (2001b) *An investigation into the Understanding of Geological Time among 17-year-old Students, with implications for the Subject Matter Knowledge of Future Teachers*. In: *International Research in Geographical and Environmental Education*, n. 10(3), S. 298-321.

Turco, R.P. et al. (1983) *Global Consequences of Multiple Nuclear Explosions*. In: *Science* 222, S. 1283-1292.

Uhlig, H. (1970) *Organisationsplan und System der Geographie*. In: *Geoforum* 1, S.19-52.

Uphues, R. (2007) *Die Globalisierung aus der Perspektive Jugendlicher. Theoretische Grundlagen und empirische Untersuchungen*. In: *Geographiedidaktische Forschungen*. Band 41. Dissertation. Weingarten.

WBGU (1999) *Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung. Globale Umweltveränderungen. Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umwelttrisiken. Jahresgutachten 1998*. Berlin, Heidelberg, New York.

Wegener, A. (1920) *Die Entstehung der Mondkrater*. Braunschweig.

Wellenreuther, M. (2004) *Lehren und Lernen – aber wie? Empirisch-experimentelle Forschungen zum Lehren und Lernen im Unterricht (=Grundlagen der Schulpädagogik Band 50)*. Hohengehren.

Westerhoff, N. (2002) *Wir leben nach unserer persönlichen Risikoformel*. In: Freitag-Die Ost-West-Wochenzeitung; Nr. 37, 06.09.2002.

Wisner, B. (2007) *The Societal Implications of a Comet/Asteroid Impact on Earth: a Perspective from International Development Studies*. In: Bobrowsky, P. und Rickman, H. (Hrsg.) (2007) *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach*. Berlin, Heidelberg, New York. S. 437-447.

Wisner, B. (2008) *How Natural are "Natural" Disasters?* In: DGfG (2008) *Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit*. Deutscher Geographentag 2007 Bayreuth. Herausgegeben von Elmar Kulke und Herbert Popp. Bayreuth, Berlin. S.99-113.

Zimmermann, H. (1995) *ABC-Lexikon Astronomie. 8. überarbeitete Auflage.* Heidelberg, Berlin, Oxford.

Internetquellen

Die Zitate der Internetquellen orientieren sich weitestgehend an den Empfehlungen des folgenden Werks:

Harnack, A., Kleppinger, G. (1997) *Online: A reference guide to using internet sources.* New York.

ESA- ICDY (2008) *Impact Crater Discovery Project.*
<http://earth.esa.int/rtd/Projects/ICDY/> (Zugang April 2008)

Breitermann, C. (2000) *Considering the Earth as an Open System.*
<http://jesse.usra.edu/articles/breiterman/breiterman-paper.html> (Zugang August 2007).

NASA (2005) *Using NASA Imagery and Linking to NASA Web Sites.*
http://www.nasa.gov/audience/formedia/features/MP_Photo_Guidelines.html (**Zugang Oktober 2007**).

NASA (2007a) *Comet Shoemaker-Levy Collision with Jupiter.*
<http://www2.jpl.nasa.gov/sl9/> (Zugang August 2007).

NASA (2007b) *Near Earth Object Program.* <http://neo.jpl.nasa.gov/> (Zugang Dezember 2005 und August 2009).

NASA (2007c) *Asteroid and Comet Impact Hazard.* <http://impact.arc.nasa.gov/> (Zugang August 2007).

NASA (2007d) *Deep Impact. A smashing success.*
http://www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/main/index.html (Zugang August 2007).

NASA (2007e) *Near-Earth Object Survey and Deflection Analysis of Alternatives Report to Congress.* http://www.nasa.gov/pdf/171331main_NEO_report_march07.pdf (Zugang August 2007).

NASA (2007f) *2006 Near-Earth Object Survey and Deflection Study.*
http://www.hq.nasa.gov/office/pao/FOIA/NEO_Analysis_Doc.pdf (Zugang August 2007).

NASA (2008) *Predicting Apophis' Earth Encounters in 2029 and 2036.*
<http://neo.jpl.nasa.gov/apophis/> (Zugang April 2008).

NASA (2008) *NASA Statement on Student Asteroid Calculations.*
<http://neo.jpl.nasa.gov/news/news158.html> (Zugang April 2008).

Nelson, S.A. (2006) *Meteorites, Impacts, and Mass Extinctions*. Tulane.
<http://www.tulane.edu/~sanelson/geol204/impacts.pdf> (Zugang August 2007).

Paine, M. (2004) *Tsunami from Asteroid/Comet Impact*.
<http://www1.tpgi.com.au/users/tps-seti/spaceqd7.html> (Zugang August 2007).

Planetary and Space Science Centre University of New Brunswick (2008) *Earth Impact Database*. <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/> (Zugang April 2008).

Sandia National Laboratories (2007) *Sandia supercomputers offer new explanation of Tunguska disaster - Smaller asteroids may pose greater danger than previously believed*. <http://www.sandia.gov/news/resources/releases/2007/asteroid.html> (Zugang April 2008).

Schneidt, R. (2002) *Der Meteoriteneinschlagskrater Nördlinger Ries*. Internetquelle: <http://www.lehrer-online.de/283240.php> (Zugang Februar 2008). Hierzu die virtuelle Exkursion ins Nördlinger Ries: http://www.fvls.de/projekte/Intel/Ries/ue_ries/start.htm (Zugang Februar 2008).

Space.com (2003) *The Impact Debate Part 2: Media Hype*.
http://www.space.com/scienceastronomy/impact_debate_part2_030218.html (Zugang November 2007).

Stephens, S., und Greeley, R. (1993) *The Universe in the Classroom - Cosmic Collisions*. <http://204.202.243.94/education/publications/tnl/23/23.html> (Zugang August 2007).

Süddeutsche Zeitung (2007) *Gefahr aus dem Weltraum - Schüsse aus der Finsternis*. <http://www.sueddeutsche.de/wissen/artikel/783/103680/article.html> (Zugang August 2007).

The Economist (2007) *The Threat from Outer Space. The ultimate environmental catastrophe*.
http://www.economist.com/world/international/displaystory.cfm?story_id=9533468&CFID=14298340&CFTOKEN=93178126 (Zugang August 2007).

The New York Times (1985) *Dinosaur Experts resist meteor extinction idea*.
<http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?res=9F04E0DD1738F93AA15753C1A963948260&sec=health&spon=&partner=permalink&exprod=permalink> (Zugang Juni 2008).

Weiterhin sei auf die Verfügbarkeit des ‚Journal of Geoscience Education‘ verwiesen:

<http://www.nagt.org/nagt/jge/abstracts/sep05.html> (vollständige Online-Ausgabe des Sonderhefts 'Student Thinking about the Earth' des Journal of Geoscience Education)

Lehrpläne

FACHLEHRPLAN DES FACHES GEOGRAPHIE FÜR DAS GYMNASIUM IN BAYERN (1990/1992)

FACHLEHRPLAN DES FACHES PHYSIK FÜR DAS GYMNASIUM IN BAYERN
(1990/1992)

<http://www.isb.bayern.de/gym/lehrplaene/lehrpl..htm> (Mai 2008)

9. Anhang

- I. Fragebogen der Hauptstudie
- II. Interviewleitfaden der Hauptstudie
- III. Erklärungen laut Promotionsordnung

I. Fragebogen der Hauptstudie

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Ort-Schule-Stufe-Nr-04/2007

im Rahmen einer größeren Untersuchung an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt führen wir eine Befragung zum Thema „Meteoriteneinschläge auf der Erde“ durch. Bitte lies dir die Fragen gut durch und nimm dir für die Beantwortung Zeit! Bitte bedenke, dass wir auf deine genauen und ehrlichen Antworten angewiesen sind! Halte bitte auch die Reihenfolge der Fragen ein.

Es geht nicht darum, gut abzuschneiden, sondern deine Vorstellungen zum Thema zu erfassen (kreuze also auch wirklich „weiß nicht“ an, wenn du etwas nicht weißt!) – es ist also keine Klassenarbeit!

1. Persönliche Daten (für statistische Auswertungen)

- a. Kennwort _____
- b. Alter _____
- c. Geschlecht
männlich ☐ weiblich ☐

2. Die folgenden Aussagen befassen sich mit deinem Interesse für das Thema „Meteoriteneinschläge.

Bitte kreuze das, was für dich zutrifft, bei jeder Aussage an!

Mein Interesse daran, mehr darüber zu erfahren, ist ...

- G1K1 ... wie ich selbst Kometen oder Asteroiden beobachten kann.
- G1K2 ... wer für die Warnung vor Meteoriteneinschlägen zuständig ist.
- G1K3 ... wie die Forschung über Meteoriteneinschläge unterstützt wird.
- G1K4 ... was genau bei einem Meteoriteneinschlag abläuft.
- G1K5 ... wie sich Asteroiden und Kometen unterscheiden.
- G1K6 ... wie häufig Meteoriteneinschläge in der Erdgeschichte vorgekommen sind.
- G1K7 ... wo ich Meteoritenkrater in meiner Umgebung besuchen kann.
- G1K8 ... ob Meteoriten beim Einschlag Gesteine schmelzen können.
- G2K1 ... wie ich mich vor einem Meteoriteneinschlag schützen kann.
- G2K2 ... ob es Abwehrprogramme für Meteoriten gibt.
- G2K3 ... ob Versicherungen sich auf einen Meteoriteneinschlag vorbereiten.
- G2K4 ... welchen Einfluss große Meteoriteneinschläge auf die Erde haben.
- G2K5 ... welche Auswirkungen ein Einschlag in einen Ozean hat.
- G2K6 ... ob es auch heute noch zu einem Meteoriteneinschlag kommen kann.
- G2K7 ... wie sich ein Meteoriteneinschlag auf meine Heimat auswirken würde.
- G2K8 ... wie man die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags berechnen kann.

sehr groß	groß	mittel	gering	sehr gering

Die folgenden Aufgaben beziehen sich auf deine Vorstellungen zum Thema „Meteoriteneinschläge“. Bitte nimm dir für die einzelnen Antworten genügend Zeit!

3. Beschreibe, wie ein Meteoriteneinschlag deiner Meinung nach abläuft!

4. Beschreibe, welche Auswirkungen ein Meteoriteneinschlag auf Menschen und Umwelt deiner Meinung nach haben kann!

5. Welche der folgenden Aussagen treffen deiner Meinung nach zu und welche nicht. Wenn du nicht sicher bist kreuze "weiß nicht" an.

korrekt falsch weiß nicht

1	Es hat auf der Erde schon Meteoriteneinschläge gegeben.	☐	☐	☐
2	Bei einem Meteoriteneinschlag wurden schon einmal Menschen getötet.	☐	☐	☐
3	Ein Meteoriteneinschlag kann einen Tsunami (große Welle) auslösen.	☐	☐	☐
4	Meteoriten sind viel schneller als Düsenflugzeuge.	☐	☐	☐
5	Versicherungen sorgen auch für einen Meteoriteneinschlag vor.	☐	☐	☐
6	Bei einem Meteoriteneinschlag schmilzt das getroffene Gestein.	☐	☐	☐
7	Meteoriteneinschläge können zu Massensterben auf der Erde führen.	☐	☐	☐
8	Mit einem Teleskop kann man Meteoriten bereits lange vor ihrem Einschlag sehen.	☐	☐	☐
9	Ein Meteoriteneinschlag löst schwere Stürme und Tornados aus.	☐	☐	☐
10	Meteoriten sind ungefähr so schnell wie Autos, wenn sie auf die Erde treffen.	☐	☐	☐
11	Die Dinosaurier sind durch einen Meteoriteneinschlag ausgestorben.	☐	☐	☐
12	Der Einschlag eines Meteoriten könnte die ganze Menschheit gefährden.	☐	☐	☐
13	Forscher arbeiten an der Abwehr von Meteoriten.	☐	☐	☐

14	Meteoriteneinschläge sind in der Erdgeschichte nicht vorgekommen.	☐	☐	☐
15	Ein Meteoriteneinschlag kann einen Planeten vollständig zerstören.	☐	☐	☐
16	Gefährliche Meteoriten kann man heute bereits abschließen.	☐	☐	☐
17	Meteoriten kommen aus unserem Sonnensystem.	☐	☐	☐
18	Bei einem Meteoriteneinschlag entsteht eine starke Druckwelle.	☐	☐	☐
19	Es gibt Meteoritenkrater in Bayern.	☐	☐	☐
20	Einige Meteoritenkrater auf der Erde sind fast so groß wie das Bundesland Bayern.	☐	☐	☐
21	Beim Einschlag sind Meteoriten bis zu eintausend Mal schneller als Autos.	☐	☐	☐
22	Ein Meteoriteneinschlag kann schlimmere Folgen haben als eine Atombombe.	☐	☐	☐
23	Meteoriten sind Kometen und Asteroiden.	☐	☐	☐
24	Meteoriten können bis zum Erdmittelpunkt einschlagen.	☐	☐	☐
25	Meteoriteneinschläge können verheerender sein als Erdbeben.	☐	☐	☐
26	Bei einem Meteoriteneinschlag wird das Gestein so heiß, dass es schmilzt.	☐	☐	☐
27	Forscher arbeiten an der Abwehr von Meteoriten.	☐	☐	☐
28	Ein Vulkanausbruch ist zerstörerischer als der größte Meteoriteneinschlag.	☐	☐	☐
29	Ein Meteorit von 50 m Durchmesser kann eine ganze Stadt (z.B. München) zerstören.	☐	☐	☐
30	Wenn ein Komet auf die Erde trifft, dann nennt man ihn Meteorit.	☐	☐	☐
31	Ein Meteoriteneinschlag kann die Weltwirtschaft zusammenbrechen lassen.	☐	☐	☐
32	Ein Meteoriteneinschlag in Nürnberg kann auch München vollständig zerstören.	☐	☐	☐
33	Es gibt jedes Jahr kleinere Meteoriteneinschläge, die nur keiner wahrnimmt.	☐	☐	☐

6. Welche Meteoritenkrater auf der Erde kennst du?

7. Es gibt größere und kleinerer Meteoritenkrater.... was könnten die Gründe dafür sein?

8. Versuche, die Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags zu schätzen, indem du eine Lösungsmöglichkeit auswählst! Wenn du keinerlei Vorstellungen hast, kreuze „Weiß nicht“ an!

Information zum Einschlag	Auswirkungen
Meteorit mit 50 Metern Durchmesser , Einschlag auf Land.	Kein Krater, keine nennenswerten Auswirkungen
	Krater mit 60 km Durchmesser, weitreichende Schäden durch Hitze und Staub
	Krater mit 1 km Durchmesser, Zerstörung im Umkreis vom 20 km
	Krater 5000 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Zerstörung der Erde
	Krater 200 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Massensterben
	Weiß nicht

Information zum Einschlag	Auswirkungen
Meteorit mit 10 Kilo-metern Durchmesser , Einschlag auf Land.	Kein Krater, keine nennenswerten Auswirkungen
	Krater mit 60 km Durchmesser, weitreichende Schäden durch Hitze und Staub
	Krater mit 1 km Durchmesser, Zerstörung im Umkreis vom 20 km
	Krater 5000 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Zerstörung der Erde
	Krater 200 km, weltweite Katastrophe durch Hitze und Staub, Massensterben
	Weiß nicht

Die nächsten Aufgaben beschäftigen sich mit erdgeschichtlichen und geschichtlichen Ereignissen.

9. Versuche, die Ereignisse in die richtige Reihenfolge zu bringen, indem du sie nummerierst. Beginne bei der Entstehung des Universums mit der Zahl 1 (ist bereits eingetragen!). Wenn du dir nicht sicher bist, setze ein „?“ ein!

Nummer	Ereignis
	Ende der letzten Eiszeit
	Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries
	Entstehung der Erde
	Bau der Pyramiden in Ägypten
	Aussterben der Dinosaurier
1	Entstehung des Universums
	Beginn unseres Kalenders

10. Nun versuche, den Ereignissen eine Zeitangabe hinzuzufügen! Ein Beispiel ist bereits angegeben! Wenn du dir nicht sicher bist, setze ein „?“ ein!

Ereignis	Zeitangabe
Ende der letzten Eiszeit	
Entstehung des Meteoritenkraters Nördlinger Ries	
Entstehung der Erde	
Bau der Pyramiden in Ägypten	
Aussterben der Dinosaurier	
Entstehung des Universums	
Beginn unseres Kalenders	Vor 2007 Jahren

11. Jetzt kommen zwei Fragen zur Gefahr durch bestimmte Ereignisse und Vorkommnisse; erst geht es um die Gefahr für dich selbst, in der zweiten Frage geht es um die Gefahr für die Menschheit. Kreuze bitte jeweils an, inwieweit du den Aussagen zustimmst!

1. Aussagen zur möglichen Gefährdung für mich selbst

	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Teils/ Teils	Stimme eher nicht zu	Stimme gar nicht zu
¹ Ich sehe in Stürmen und Orkanen eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐
² Ich sehe in Flugzeugunglücken eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐
³ Ich sehe in Meteoriteneinschlägen eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐
⁴ Ich sehe in giftigen Tieren eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐

5 Ich sehe im Klimawandel eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐
6 Ich sehe in der Umweltzerstörung eine Gefahr für mich selbst.	☐	☐	☐	☐	☐

2. Aussagen zur möglichen Gefährdung der Menschheit

Stimme voll zu	Stimme eher zu	Teils/ Teils	Stimme eher nicht zu	Stimme gar nicht zu
----------------	----------------	--------------	----------------------	---------------------

1 Ich sehe in einem Atomkrieg eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐
2 Ich sehe in einem Meteoriteneinschlag eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐
3 Ich sehe in einem Vulkanausbruch eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐
4 Ich sehe im Terrorismus eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐
5 Ich sehe im Klimawandel eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐
6 Ich sehe in der Umweltzerstörung eine Gefahr für die Menschheit.	☐	☐	☐	☐	☐

12. Bitte gib an, woher du deine Vorstellungen zum Thema „Meteoriteneinschläge“ hast. Du darfst mehrere Kreuze machen; wenn du noch keine Vorstellungen hast, kreuze bitte „KEINE“ an!

KEINE	Falls ja, welche genau?
Dokumentationen im Fernsehen	☐
Fachbücher	☐
Schule und Unterricht	☐
Kino- und Fernsehfilme	☐
Zeitschriften	☐
Tages- und Wochenzeitungen	☐
Internet	☐
Sonstige Quellen	☐

13. Hier kannst du noch hinschreiben, was dir an dem Fragebogen gefallen hat, was dir nicht gefallen hat, oder ob wir etwas Wichtiges vergessen haben.

Das war die letzte Frage!

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

II. Interviewleitfaden der Hauptstudie

Im Rahmen der Studie werden neben Fragebögen auch fünf Interviews zur qualitativen Auswertung geführt. Der Interview-Leitfaden dient zur Strukturierung der geführten Befragungen. Dabei werden nach dem Modell der „Didaktischen Rekonstruktion“ die Vorstellungen der Schüler zum Thema Meteoriteneinschläge erhoben.

Intervention		Erwartete Reaktion
EINLEITUNG/ Hat seit der Befragung mit dem Fragebogen eine Auseinandersetzung (Informationsmaterial oder Überlegungen) mit dem Thema stattgefunden?		Hinweis auf bereits erfolgte Auseinandersetzung mit dem Thema seit Austeilung des Fragebogens; Hinweis auf andere Informationsquellen
1. a) Was denkst du, passiert hier genau?	[vorgelegtes Material: Bild eines Einschlags]	Beschreibung des Ablaufs eines Meteoriteneinschlags
	b) Was schlägt denn ein?	Begriffe Asteroid, Komet, Meteorit
	c) Was denkst du, wie schnell ein Meteorit ist?	Entweder Geschwindigkeitsschätzung oder Vergleichsangabe (Auto, Flugzeug)
	d) Welche Energie kann bei einem solchen Einschlag frei werden?	Vergleich mit Atombomben, Vulkanausbrüchen,...
	e) Welchen Einfluss hat die Ozonschicht auf den Meteoriten?	Ozonschicht kann die Größe des Meteoriten reduzieren
	f) Gibt es unterschiedlich große Einschläge?	Verschieden große Meteoriten haben unterschiedliche Auswirkungen
	g) Welche Unterschiede gibt es zwischen Einschlägen auf Land oder im Meer?	Einschlag auf Land: Gesteins-Trümmer, Staubinduktion Einschlag im Meer: Tsunami, Wasserdampfinduktion
1. h) Kannst du mir bitte noch einmal deine Vorstellungen zum Ablauf eines Einschlags zusammenfassen?		Zusammenfassende Beschreibung des Ablaufs eines Meteoriteneinschlags
2. a) Welche Auswirkungen kann denn ein Meteoriteneinschlag heute haben?	[vorgelegtes Material: DVD-Cover: Deep Impact]	Beschreibung der Vorstellungen zu den Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags
	b) Welche Auswirkungen spüren Menschen, die unmittelbar vom Einschlag betroffen sind?	Druck- und Hitzewelle, Ascheregen: Zerstörung von Gebäuden und Infrastruktur, Brände
	c) Wenn du weiter weg vom Einschlagsort lebst, kannst du dann auch Folgen bemerken/spüren?	Druck- und Hitzewelle: Brände Injektion von Staub und Gas in die Atmosphäre: Klimaänderung, Nahrungsmittelknappheit, Massensterben
	d) Was könnten die Folgen für Pflanzen und Tiere sein?	Hitzetod, Stopp der Photosynthese, Schäden durch UV-Strahlung aufgrund der Zerstörung der Ozonschicht

	e) Kann ein Meteorit die ganze Menschheit auslöschen?	Ja, denn Impakte sind das einzige derzeit bekannte Naturrisiko, dass zu globalen Massensterben führen kann – dazu muss der Meteorit aber groß genug sein
	f) Glaubst du, dass es sinnvoll ist, dass sich Politiker, Versicherungen und Katastrophenschutz sich mit dem Thema beschäftigen?	Entweder zustimmende Haltung (hauptsächlich aufgrund des Schadenspotenzials oder ablehnende Haltung (hauptsächlich aufgrund der Unwahrscheinlichkeit)
	g) Kannst du dir vorstellen, wie man sich vor einem Einschlag schützen könnte?	Vorstellungen zur Abwehr eines Meteoriten
2. g) Kannst du mir bitte noch einmal deine Vorstellungen zu den Auswirkungen eines Einschlags zusammenfassen?		Beschreibung der Auswirkungen eines Meteoriteneinschlags
3. a) Ist auf der Erde ein solch großer Einschlag schon einmal geschehen?		Hinweis auf Dinosaurier, Ries
	b) Kannst du mir sagen, wann die Dinosaurier ausgestorben sind?	Zeitangabe
	c) Was denkst du, wie groß die Gefahr heute ist, durch einen Meteoriteneinschlag zu sterben?	Abschätzung der Wahrscheinlichkeit
	d) Kann man die Gefahr mit Gefahren des alltäglichen Lebens vergleichen?	Vergleich mit anderen Gefahren
3. e) Fasse mir bitte noch einmal zusammen, welche Gefahr Meteoriteneinschläge deiner Meinung nach darstellen.		
3. FRAGEN DES SCHÜLERS	Bisher habe ich sehr viel gefragt, nun kannst du mir in Ruhe Fragen zum Thema stellen, die dich interessieren.	
ABSCHLUSS/DANK		

III. Erklärungen laut Promotionsordnung

Erklärungen nach §5, Absatz 2 der Promotionsordnung für die Mathematisch-Geographische Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt (KWMBI II 2004, S. 2274)

Hiermit erkläre ich, dass ich mich zu keinem früheren Zeitpunkt und an keiner anderen Hochschule bereits einem Promotionsverfahren unterzogen habe. Die Dissertation hat in gleicher oder anderer Form in keinem anderen Versuch oder in einem anderen Prüfungsverfahren vorgelegen.

Weiterhin erkläre ich, dass ich die Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, keine anderen als die angegebenen Schriften und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen kenntlich gemacht habe.

Eingereicht am: 12. Januar 2009

1. Gutachter: Prof. Dr. Ingrid Hemmer (Eichstätt)

2. Gutachter: Prof. Dr. Sibylle Reinfried (Luzern)

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Mai 2009