

Universität zu Köln
Geographisches Institut

Diplomarbeit

Höhlensedimente archäologischer Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel –
Stand der Forschung und Konzeption einer sedimentologischen Datenbank

Vorgelegt von:

Julia Dierl
Severinstraße 181
50678 Köln

julia.dierl@googlemail.com
0179 9031372

Semester: 13
Matrikelnummer: 4074190

Betreuer:
PD Dr. Martin Kehl

Abgabetermin: 16. November 2011

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Julia Dierl: Köln, November 2006

Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer, PD Dr. Martin Kehl, für die gute Zusammenarbeit und die zahlreichen Anregungen zur Datenbank.

Darüber hinaus möchte ich Dipl.-Geogr. Christian Willmes für die Unterstützung in fachlichen Fragestellungen zu Datenbanken danken.

Marcel Bradtmöller M.A. danke ich für die Bereitstellung von Daten aus aus und Informationen über die archäologische Datenbank.

Schließlich möchte ich meinen Eltern, Karin Remmert und Johann Dierl, sowie meinen Freunden für ihre große Unterstützung danken.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	2
2. Grundlagen und Stand der Forschung	3
2.1 Geographische und geologische Gliederung der Iberischen Halbinsel.....	3
2.2 Klimatische Bedingungen auf der Iberischen Halbinsel im Ober-Pleistozän.....	5
2.3 Höhlen – Besondere Sedimentationsräume und Archive von paläoökologischen Ereignissen	8
2.4 Klassifizierung von Höhlen und Abris.....	9
2.4.1 Höhlen und Abris	9
2.4.2 Karst und Pseudokarst	11
2.4.3 Aktive und passive Karsthöhlensysteme.....	12
2.5 Klassifizierung von Sedimenten in Höhlen und Abris	13
2.5.1 Korngrößenklassen.....	14
2.5.2 Genetische Sedimenttypen.....	15
2.5.3 Sedimentherkunft	15
2.5.4 Klastische Sedimente	16
2.5.5 Chemische Sedimente.....	18
2.6 Prozesse der Sedimentbildung in Höhlen und ihre klimatische Interpretation.....	19
2.6.1 Gravitative Prozesse.....	19
2.6.2 Erosion, Transport und Sedimentation durch Strömungen.....	22
2.6.3 Chemische Deposition.....	25
2.6.4 Modifizierung von Sedimenten nach der Ablagerung	25
2.7 Analyse von Höhlensedimenten im Feld und im Labor.....	26
3. Konzeption einer Datenbank über Sedimente archäologischer Fundstellen	27
3.1 Projektrahmen: SFB 806 „Our Way To Europe“, Cluster C1	27
3.2 Anforderungen an Datenbanksysteme	28
3.3 Von der Datenanalyse zum Datenbankschema	30
3.3.1 Datenanalyse.....	30
3.3.2 Erstellen eines Entitäten-Beziehungsmodells	34
3.3.3 Implementierung des relationalen Datenbankschemas.....	36
3.4 Entitätsmengen und Attribute der sedimentologischen Datenbank.....	38

3.4.1 Sites	39
3.4.2 Lit_Info.....	42
3.4.3 Literature	45
3.4.4 Profiles	46
3.4.5 Lyr_Info	47
3.4.6 Lyr_Properties	48
3.4.7 Sed_Properties.....	51
3.4.8 Sed_Interpretation	60
3.5. Beziehungsmengen der sedimentologischen Datenbank.....	66
3.5.1 Beziehungsmenge Verfügbarkeit.....	66
3.5.2 Beziehungsmenge Zuordnung I/II.....	66
3.5.3 Beziehungsmenge Befindet sich in I/II	68
4. Anwendung der Datenbank	69
4.1 Operatoren zur Erstellung von Abfragen und theoretische Grundlagen	69
4.2 Die relationale Sprache SQL.....	70
4.3. Abfragen mit MS Access.....	71
4.4 Beispiele möglicher Abfragen mit der Datenbank.....	72
4.4.1 Abfragen für die Literaturrecherche mit der Datenbank.....	73
4.4.2 Abfragen für großräumige Analysen	75
4.4.3 Abfragen für schichtbezogene Analysen einer Site.....	78
5. Präsentation der Ergebnisse	81
5.1 Ergebnisse der Datenbankkonzeption	81
5.1.1 Literaturanalyse und -recherche	81
5.1.2 Erstellen des Datenbankkonzepts.....	82
5.2 Ergebnisse der Datenbankanwendung	83
5.2.1 Ergebnisse für Abfragen zur Literaturrecherche mit der Datenbank.....	83
5.2.2 Ergebnisse für Abfragen großräumiger Analysen	86
5.2.3 Ergebnisse der Abfragen für schichtbezogene Analysen einzelner Sites	89
5.3 Ergebnisse der Datenbankanwendung auf Fundstellen der Iberischen Halbinsel ..	91
5.3.1 Analyse der klimatischen Veränderungen an einzelnen Fundstellen unter Einbeziehung des kulturellen Wandels	91
5.3.2 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der erläuterten Sequenzen	102
6. Schlussfolgerungen und Ausblick.....	104
6.1 Zum Stand der Forschung	104

6.2 Zur Datenbank	105
6.2.1 Anwendung der Datenbank	105
6.2.2 Funktionsfähigkeit der Datenbank.....	105
7. Zusammenfassung.....	107
Abbildungsverzeichnis	
Tabellenverzeichnis	
Abkürzungsverzeichnis	
Quellenverzeichnis	
Anhang	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Geologische Karte Spaniens VERA (2004)	4
Abbildung 2 Chronostratigraphie des Oberpleistozäns (Eigene Abbildung nach MARTIN et al. 2002, SANCHEZ GONI ET AL 2008, GONZALEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010).....	6
Abbildung 3 Entstehung und Entwicklung von Halbhöhlen (BORDES 1972: 30).....	9
Abbildung 4 Höhlensystem mit potenziellen Typen der Materialzufuhr und –entfernung (GILLIESON 1996: 7)	12
Abbildung 5 Klassifizierung von Sedimenten nach WHITE (2007)	16
Abbildung 6 Höhlensedimenttypen (GOLDBERG & MACPHAIL 2006).....	17
Abbildung 7 Sedimentquellen in Höhleneingängen und Abris und damit assoziierte geomorphologische Prozesse (WOODWARD & BAILEY 2000)	20
Abbildung 8 Höhlensediment-beeinflussende Prozesse im Verhältnis zur Zeit (GILLIESON 1996: 149)	23
Abbildung 9 Fluviale Ablagerungsformen im Verhältnis zur Ablagerungsenergie und Strömungsbettmorphologie (GILLIESON 1996: 159)	24
Abbildung 10 Travertinablagerungen in Höhlen (WHITE 1976: 279 nach HOLLAND et al. 1964)	25
Abbildung 11 Zugriff auf Daten durch ein DBMS (Eigene Abbildung nach KLEINSCHMIDT & RANK 2005).....	29
Abbildung 12 Liste der relevanten Informationssachverhalte und Anwendungen als Ergebnis der Datenanalyse (Eigene Abbildung).....	30
Abbildung 13 Räumliche Verteilung und Höhe über NN der ausgewählten Sites (Eigene Abbildung)	32
Abbildung 14 Entitätsmengen als Ergebnis der Datenanalyse (Eigene Abbildung).....	34
Abbildung 15 Entitäten-Beziehungsmodell (Eigene Abbildung nach MEIER 2010)	35
Abbildung 16 Tabellengerüst der Entitätsmenge „Sites“ (Eigene Abbildung nach MEIER 2010)	36
Abbildung 18 Texturklassen nach dem United States Department of Agriculture (USDA)	54
Abbildung 19 Beziehungsmenge ‚Verfügbarkeit‘ (Eigene Abbildung)	66
Abbildung 20 Beziehungsmenge ‚Zuordnung I‘ (Eigene Abbildung)	67
Abbildung 21 Beziehung zwischen den Tabellen Sites, Lit_Info und Literature (Eigene Abbildung)	67
Abbildung 22 Beziehungsmenge ‚Zuordnung II‘ (Eigene Abbildung)	67
Abbildung 23 Beziehungsmenge ‚Befindet sich in I‘ (Eigene Abbildung).....	68
Abbildung 24 Beziehungsmenge ‚Befindet sich in II‘ (Eigene Abbildung).....	68
Abbildung 25 Beziehung zwischen Sites und layerbezogenen Tabellen (Eigene Abbildung)	68
Abbildung 26 Screenshot des Abrageentwurfs im Menu „Erstellen“ aus MS Access (Eigene Abbildung)	71
Abbildung 27 Screenshot der Funktion „Filtern“ in MS Access (Eigene Abbildung)	72
Abbildung 28 Abfrage „Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für eine bestimmte Site vor?“ (Eigene Abbildung)	73
Abbildung 29 Abfrage „Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten die den Technokomplex Mousterian abdecken?“ (Eigene Abbildung)	74

Abbildung 30 „Für welche Sites liegen Abfragen mit klimatischer Interpretation vor?“ (Eigene Abbildung)	75
Abbildung 31 „Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“ (Eigene Abbildung)	76
Abbildung 32 „Wann hat der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in den verschiedenen Regionen der IH stattgefunden?“ (Eigene Abbildung)	76
Abbildung 33 „An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“ (Eigene Abbildung)	77
Abbildung 34 „Welche Eigenschaften haben die Sedimente der einzelnen Layer?“ (Eigene Abbildung)	78
Abbildung 35 „Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“ (Eigene Abbildung) .	79
Abbildung 36 „Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?“	80
Abbildung 37 Sedimentdatierungen aus verschiedenen Schichten des späten Mittelpaläolithikums (Eigene Abbildung)	87
Abbildung 38 Sedimentdatierungen aus verschiedenen Schichten des frühen Jungpaläolithikums (Eigene Abbildung)	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Prozesse bei der Karbonatlösung (nach GILLIESON 1996: 69).....	11
Tabelle 2 Einige Eigenschaften aktiver und passiver Karsthöhlensysteme für Abris und Höhleneingangsbereiche in Kalksteinregionen (WOODWARD & GOLDBERG 2001).....	13
Tabelle 3 Gängige Skalen der Korngrößenklassen aus Geologie und Pedologie (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 12)	14
Tabelle 4 Auszug aus der Datenbank Tabelle 'Sites' (Auszug aus Datenbank)	31
Tabelle 5 Liste der Attribute für die eine Taxonomie erarbeitet wurde (Eigener Entwurf)	38
Tabelle 6 Attributliste der Tabelle 'Sites' (Eigener Entwurf).....	40
Tabelle 7 Taxonomie Site Type (Eigener Entwurf)	41
Tabelle 8 Taxonomie Geomorphological Setting (WOODWARD & GOLDBERG 2001).....	41
Tabelle 9 Attributliste der Tabelle ‚Lit_Info‘ (Eigener Entwurf).....	43
Tabelle 10 Taxonomie Dat_Meth (MARTIN ET AL. 2002, WHITE 2007)	43
Tabelle 11 Taxonomie Tech_com (PEARSALL 2008, www.freebase.com)	44
Tabelle 12 Attributliste für die Tabelle 'Literature' (Eigener Entwurf)	46
Tabelle 13 Attributliste für die Tabelle 'Profiles' (Eigener Entwurf)	46
Tabelle 14 Attributliste für die Tabelle 'Lyr_Info' (Eigener Entwurf)	47
Tabelle 15 Attributliste für die Tabelle 'Lyr_Properties' (Eigener Entwurf)	49
Tabelle 16 Taxonomie Boundary (FAO 2006a)	49
Tabelle 17 Taxonomie Bed geometry (STOW 2007)	50
Tabelle 18 Taxonomie Bedding (COURTY 1989, SELLEY 1992).....	51
Tabelle 19 Attributliste für die Tabelle 'Sed_Properties' (Eigener Entwurf)	52
Tabelle 20 Taxonomie Size_Fine (FAO 2006a, WOODWARD & GOLDBERG 2001, *ZEPP 2002)	53
Tabelle 21 Taxonomie Appl_Scale_Fine (Eigener Entwurf).....	54

Tabelle 22 Taxonomie Size_Coarse1/Size_Coarse2 (WOODWARD & GOLDBERG 2001,	55
Tabelle 23 Taxonomie Roundness_Coarse (POWERS 1953, ABBILDUNGEN: MACLEOD 2002)	56
.....	56
Tabelle 24 Taxonomie Form_Coarse (MARTIN 2002).....	56
Tabelle 25 Taxonomie Abundance_Coarse (FAO 2006a)	57
Tabelle 26 Taxonomie Condition_Coarse (FAO 2006a)	57
Tabelle 27 Taxonomie Soilstructure (FAO 2006a, Abbildungen: FAO 2006b)	58
Tabelle 28 Taxonomie Reducing/Oxidizing (Eigener Entwurf).....	59
Tabelle 29 Taxonomie Organic Matter Content (SPONAGEL 2005).....	59
Tabelle 30 Taxonomie Carbonate Content (FAO 2006B).....	60
Tabelle 31 Attributliste für die Tabelle 'Sed_Interpretation' (Eigener Entwurf).....	61
Tabelle 32 Taxonomie Sed_Major/Sed_Minor (FARRAND 2001, COURTY 1989).....	62
Tabelle 33 Taxonomie Temperature (Eigener Entwurf)	65
Tabelle 34 Taxonomie Humidity (Eigener Entwurf).....	65
Tabelle 35 Ergebnis für die Abfrage: „Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für die Site Nerja vor?“ (Auszug aus Datenbank)	84
Tabelle 36 Ergebnis für die Abfrage: „Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten, die den Technokomplex Mousterian abdecken?“ (Auszug aus Datenbank)..	84
Tabelle 37 Ergebnis für die Abfrage: „Für welche Sites liegen Abfragen mit klimatischer Interpretation vor?“ (Auszug aus Datenbank)	85
Tabelle 38 Ergebnis für die Abfrage: „Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“ (Auszug aus Datenbank).....	86
Tabelle 39 Ergebnis für die Abfrage: „An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“ (Auszug aus Datenbank).....	89
Tabelle 40 Ergebnis für die Abfrage: „Welche Eigenschaften haben die Sedimente der Grobfraktion der einzelnen Layer in Cueva Beneito?“	90
Tabelle 41 Ergebnis für die Abfrage: „Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“	91
Tabelle 42 Techokomplexe mit zugeordneten paläoklimatischen Interpretationen nach BUTZER (1981) für die Site El Castillo (Auszug aus Datenbank)	92
Tabelle 43 Techokomplexe mit zugeordneten paläoklimatischen Interpretationen nach BUTZER (1981) für die Site Cueva Morin(Auszug aus der Datenbank).....	94
Tabelle 44 Abfrage Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic interpretation of author für Abschnitt QR57 (Auszug aus Datenbank).....	96
Tabelle 45 Abfrage Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic interpretation of author für Abschnitt P41 (Auszug aus Datenbank).....	96
Tabelle 46 Techokomplexe mit zugeordneten Sedimentdatierungen nach BISCHOFF et al. (1989) für die Site Cueva de l'Arbreda (Auszug aus der Datenbank)	97
Tabelle 47 Abfrage Tech_com, Sed_major, palaeoclimatic interpretation of Author und yr bp 1 für El Bajondillo.... Profil Oeste nach BERGADÁ et al. 2005 (Auszug aus Datenbank)	98
Tabelle 48 Abfrage tech_com und palaeoclimatic interpretation of author für Cueva de la Carigüela nach CARRIÓN 1992b (Auszug aus Datenbank)	99
Tabelle 49 Abfrage Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1 für Cueva Beneito nach FUMANAL & CARRIÓN (1992) (Auszug aus Datenbank)	100

Tabelle 50 Abfrage Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author für Letzexiki nach ARRIZABALGA 2005 (Auszug aus Datenbank)	101
Tabelle 51 Abfrage Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1 für die Site Nerja nach AURA TORTOSA et al. 2002 (Auszug aus Datenbank)	102

1. Einleitung

1.1 Ziel der Arbeit

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 806 „Our Way To Europe“ erforscht mit einem interdisziplinären Ansatz den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Dispersion des anatomisch modernen Menschen von Afrika nach Europa. Eine Schlüsselrolle spielt in diesem Zusammenhang die Iberische Halbinsel (IH). Das C1-Cluster, eine Forschungsgruppe des SFB, arbeitet mit diesem regionalen Fokus an der Beantwortung von Fragen zur menschlichen Entwicklung im Zeitraum von 45.000 bis 25.000 Jahren vor Heute. Dieser Zeitraum korreliert mit dem Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum und der Verdrängung des Neanderthalers durch den anatomisch modernen Menschen (WENIGER et al. 2009).

Auf der IH befinden sich circa 120 Fundstellen, deren archäologische Stratigraphie den besagten Zeitraum abdeckt. An einigen dieser Fundstellen werden im Rahmen des SFB derzeit neue, umfassende Untersuchungen an Sedimenten und Artefakten durchgeführt. Parallel dazu wird existierende Literatur verschiedener Fachrichtungen zu allen Fundstellen auf der IH archiviert und ausgewertet. Im Laufe der Zeit ist ein beträchtliches Maß an Arbeiten zusammengekommen, für das von Seiten der Archäologen eine Datenbank entwickelt wurde. Diese wurde zunächst für den internen Gebrauch auf MS Access angelegt. Sie soll nun um einen sedimentologischen Teil erweitert werden, um neben der Erfassung von Artefakten auch diejenige von Sedimenteigenschaften zu ermöglichen.

Höhlsedimente erweisen sich als nützliche Klimaarchive, da sie im Schutz des Höhlendaches vor Erosion oder Denudation geschützt sind. Ihre Analyse und Interpretation, vor allem im Hinblick auf paläoklimatische Bedingungen, soll somit zur Beantwortung einiger Forschungsfragen beitragen. Ein besonderer Vorteil von Höhlsedimenten liegt in der Präsenz von Artefakten. Die Umweltbedingungen zur Zeit der Ablagerung dieser Artefakte können durch die Interpretation der Sedimente, in denen sie sich befinden, rekonstruiert werden. Eine intensive Studie der besonderen Sedimentationsbedingungen in Höhlen ist Voraussetzung, um die Entstehung der Sedimente interpretieren zu können.

Für die Entwicklung der Datenbank wurde Literatur zu 13 Fundstellen ausgewählt, anhand derer das Gerüst für die Datenbank entwickelt wurde. Zusätzlich zu der bereits verfügbaren Literatur wurde nach weiteren Arbeiten zu den ausgewählten Fundstellen recherchiert.

Nach Gesprächen mit den Mitgliedern des C1-Clusters und der Auswertung der oben erwähnten Arbeiten wurde ein Entitäten-Beziehungsmodell erstellt. Dieses wurde dann in ein relationales Datenbankschema überführt. Die sedimentologische Erweiterung der Datenbank wurde zunächst als eigenständige Datenbank entwickelt, die später in die bestehende archäologische Datenbank integriert werden kann.

Ziel ist es, eine einheitliche Datengrundlage für alle Mitglieder des C1-Clusters zu schaffen. Darüber hinaus soll eine quellenunabhängige Vergleichbarkeit zwischen den gesammelten Daten ermöglicht werden. Die Erstellung kartographischer Abbildungen, Anwendungen mit GIS sowie die Analyse der Literatur sollen durch das Datenbankschema vereinfacht werden.

Darüber hinaus kann die sedimentologische Datenbank in Zukunft in eine projektübergreifende Datenbank des SFB 806 integriert werden. Diese befindet sich gerade in der Entwicklung und wird es zudem ermöglichen Web-GIS-Anwendungen durchzuführen.

Inhaltlich erfasst die sedimentologische Datenbank allgemeine Angaben zu den Sites (Name, geographische Lage und Höhe), Informationen zur verwendeten Literatur sowie Sedimenteigenschaften, die Hinweise auf klimatische Bedingungen zur Zeit ihrer Entstehung geben.

Das Konzept und die erarbeiteten Anwendungen der Datenbank wurden auf die Forschungsfragen des C1-Clusters zugeschnitten.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gibt, nach der geographischen und geologischen Abgrenzung des Forschungsgebiets, zunächst eine Einführung in die klimatischen Verhältnisse im untersuchten Zeitraum, um einen Rahmen für die in diesem Kontext möglichen Prozesse der Sedimentgenese zu geben.

Im Anschluss daran wird der besondere Sedimentationsraum ‚Höhle‘ im Hinblick auf seine Nutzbarkeit als paläoökologisches Archiv näher beleuchtet. Auf die Besonderheit der Sedimenttypen in Höhlen sowie die Faktoren und Interpretation ihrer Bildung wird ebenfalls eingegangen.

Im nächsten Schritt wird die Konzeption der Datenbank von der Literaturanalyse bis zur Implementierung des Datenbankschemas erläutert. Die einzelnen Entitäts- und Beziehungsmengen werden ausführlich erklärt. Ebenso die Attribute der einzelnen Tabellen.

Kapitel 4 widmet sich dann der Anwendung der Datenbank und zeigt Beispiele bestimmter Abfragemöglichkeiten. Dazu werden die theoretischen Grundlagen von relationalen Datenbanksprachen erläutert. Die Durchführung der Abfragen wird sowohl als SQL-Befehl dargestellt, als auch mit der benutzerfreundlichen Entwurfsansicht von MS Access.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Arbeit präsentiert. Die Anwendung der Datenbank auf eine Auswahl von Sites und ihre Funktionalität soll veranschaulicht werden.

2. Grundlagen und Stand der Forschung

Die in den folgenden Unterkapiteln dargestellten Grundlagen schaffen die wissenschaftliche Basis, auf der das in Kapitel 3 vorgestellte Datenbankkonzept erstellt wurde. Zunächst werden die geographische Lage und die geologische Gliederung der Iberischen Halbinsel abgegrenzt. Es folgen die allgemeine Darstellung der klimatischen Bedingungen im Untersuchungszeitraum und eine detaillierte Erläuterung der Sedimenttypen und Sedimentationsprozesse in Höhlen und Halbhöhlen. Abschließend wird auf die Analyse von Höhlensedimenten in Feld und Labor eingegangen.

2.1 Geographische und geologische Gliederung der Iberischen Halbinsel

Geographie

Die Iberische Halbinsel erstreckt sich von Norden nach Süden vom 41. bis zum 36. Breitengrad und von Westen nach Osten vom 9. bis zum 3. Längengrad. Von der 581.680 km² großen Festlandfläche liegen rund 65% auf über 500 Höhenmetern. Das wird im europäischen Vergleich nur noch von der Schweiz übertroffen (BREUER 2008).

Die Hauptstreichrichtung der Gebirgsketten verläuft von Osten nach Westen (CAPEL MOLINA 1981: 31), mit den Pyrenäen (Aneto 3.408m), der Kantabrischen Kordillere und den Galaico-Leones Bergen sowie dem nordost-südwest streichenden Katalonischen Küstengebirge im Norden.

Im Zentrum befindet sich das Kastilische Hochland (Meseta) und das Iberische Randgebirge. Die Meseta wird vom Iberischen bzw. Kastilischen Scheidegebirge, der Sierra de Gredos (Pico Almanzor 2.592m) in eine Nord- und eine Südmeseta unterteilt. Das Iberische Randgebirge streicht Nordwest-Südost und bildet die Wasserscheide zwischen dem Atlantik- und dem Mittelmeerraum (MORENO ET AL. in press, BREUER 2008, GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010).

Im Süden wird der Spanische Teil der IH von der Betischen Kordillere, der Sierra Nevada (Mulhacén 3.479m) zum Mittelmeer abgegrenzt. Im Gegensatz dazu ist Portugal in seiner gesamten Erstreckung zum Atlantik hin offen (BREUER 2008).

Entsprechend der Neigung der Mesetas, die einen Großteil der zentralen Landfläche einnehmen, von 3° in Richtung Westen und der östlichen Lage des Iberischen Randgebirges, das die Hauptwasserscheide bildet, entwässern rund 69% der Flusseinzugsgebiete zum Atlantik (BREUER 2008). Von den wenigen Flüssen, die im Mittelmeer münden, ist der Ebro mit 614 m³/sec mittleren jährlichen Abflusses der mit Abstand Bedeutendste. Aufgrund der relativ kurzen Distanz der mediterranen Flüsse von der Quelle bis zur Mündung (ca. 100-200 km) im Vergleich zu den in den Atlantik entwässernden Flüssen (ca. 1.000 km) und der gleichbleibenden Höhendistanz beider Einzugsgebiete zu den Erosionsbasen, unterscheidet sich das Abflussverhalten der atlantischen Flüsse von dem der mediterranen Flüsse. Die nach Norden entwässernden Flüsse zeigen ein ähnliches Abflussverhalten wie die Mittelmeer-Flüsse (BREUER 2010).

2.2 Klimatische Bedingungen auf der Iberischen Halbinsel im Ober-Pleistozän

Die geographische Lage zwischen subpolaren und subtropischen Breiten sowie unterschiedliche atmosphärische Einflüsse - Westwinde treffen auf den subtropischen Passat - machen die IH zu einer klimatisch sensiblen Region (MORENO et al. 2010, CAPEL MOLINA 1981). Aufgrund ihrer geringen geographischen Breite blieb sie während des Pleistozäns jedoch weitgehend frei von Vergletscherung (GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010).

Die klimatische Entwicklung der IH im Ober-Pleistozän korreliert weitgehend mit den Rekonstruktionen, die auf Basis von Daten aus Grönland-Eisbohrkernen gewonnen wurden. Marine Bohrkerne und Pollenanalysen zeigen abrupte Veränderungen der thermischen und hygri-schen Verhältnisse im tausendjährigen Zyklus. Zu besonderen Kälteeinbrüchen kam es auf der IH während der Heinrich Ereignisse (HE) und der Dansgaard-Oeschger Ereignisse (D-O) (GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010, Moreno et al. in press).

MIS 5 und 4

Die Datenlage zu Beginn des letzten Kaltzeitzyklus auf der IH ist bislang noch recht lückenhaft (MORENO et al. in press, GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010). Die Pollen-Sequenz von Area Longa gibt Aufschluss über die Abschnitte MIS 5c bis 3 (GÓMEZ-ORELLANA ET AL. 2007), die Sequenzen von Fuentillejo maar (VEGAS et al. 2010) und Villarquemado palaeolake (VALERO-GARCÉS et al. 2007) decken mindestens den Zeitraum des MIS 5 und 4 ab.

Die globalen klimatischen Bedingungen im MIS 5 spiegeln sich tendenziell auch auf der IH wieder. SST-Werte und Pollenanalysen zeigen klimatische Schwankungen in Zyklen von 1.500 Jahren und einen langfristigen Trend hin zu kalten und ariden Verhältnissen. (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2008, MARTRAT et al. 2004). Mit Beginn des MIS 4 verschlechtert sich das Klima hinsichtlich der Temperaturen mit zunächst weiterhin humiden Verhältnissen im Nordosten (Abric Romaní: BURJACHS & JULIÁ 1994) sowie im Norden und Nordwesten der IH (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2008), die sich über das MIS 4 mit abwechselnder Heide- und gemäßigter Grasland-Vegetation fortsetzen (Area Longa: GÓMEZ-ORELLANA et al. 2007). Im Gegensatz dazu zeigen die Daten der Bohrkerne MD95-2042 und ODP 976 für den Süden die Ausbreitung von Halbwüsten-Vegetation, was trockene Verhältnisse impliziert (FLETCHER et al. 2010). Im weiteren Verlauf des MIS 4 breiten sich die ariden Verhältnisse über die gesamte IH aus (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2008).

Im Gegensatz zum globalen LGM (20.000 bis 18.000 cal. years BP) fand die maximale Ausbreitung der Gletscher in mediterranen Gebirgszügen bereits um 80.000 bis 50.000 Jahre vor Heute statt (GARCÍA-RUIZ et al. 2010, MORENO et al. 2010, HUGHES & WOODWARD 2008).

		ka	MIS	GIS/GS		
Holozän			1			
Ober-Pleistozän	Ober-Weichsel	Spätglazial	10	GS 1	Jüngere Dryas	
			14	GIS 1 GS 2a	Allerød HE 1 (Mystery Interval)	
	Mittel-Weichsel	Pleniglazial (Hochglazial)	23	2	GIS 3 GIS 8	HE 2/LGM D-O 8 HE 4
			70	3	GIS 17	
	Unter-Weichsel	Frühglazial		4		
				5a		
				5b		
				5c		
				5d		
	Eem		115	5e		

Abbildung 2 Chronostratigraphie des Oberpleistozäns (Eigene Abbildung nach MARTIN et al. 2002, SANCHEZ GONI ET AL 2008, GONZALEZ-SAMPÉRIZ et al. 2010)

MIS: Marine Oxygen Isotope Stage; GIS: Greenland Interstiaial; GS: Greenland Stadial; HE: Heinrich Event; LGM: Last Glacial Maximum; D-O: Dansgaard-Oeschger Event

MIS 3

CACHO (1999) zeigte anhand des marinen Bohrkerns MD 95-2043 aus dem Alborán-Meer, dass während des MIS 3 abrupte Klimaschwankungen auf der IH einsetzten, die mit HE's und D-O's korrelieren. Aus pollenanalytischen Arbeiten geht hervor, dass diese Ereignisse auch an Land Auswirkungen auf das thermische und hygri sche System hatten, die sich in der Veränderung der Vegetationsbedeckung widerspiegelten (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2000, SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2008, FLETCHER & SÁNCHEZ-GOÑI 2008, NAUGHTON 2007). In den Interstadialen entstanden Mischwälder und während der Stadiale und HE's kam es zur Ausbreitung von Halbwüsten-Vegetation (FLETCHER & SÁNCHEZ-GOÑI 2008).

In marinen Bohrkernen des Alborán Meeres gehen die HE's 1-5 einher mit einer Abnahme der SST und einem Anstieg der Werte für *Neogloboquadrina pachyderma*, einer polaren planktischen Foraminifere, die in diesem Gebiet sonst untypisch ist (CACHO et al. 1999). Für die Heinrich Ereignisse 4, 2 und 1 im Norden und Nordwesten der IH wird eine Gliederung in zwei Phasen vorgeschlagen. Zu Beginn erfolgen eine Abnahme der Pinus-Arten und die Ausbreitung von Ericaceae. Zeitgleich stellen sich maximale Werte von *Neogloboquadrina pachyderma* und hohe Werte planktischen $\delta^{18}\text{O}$'s ein. Demnach wurden die HE's mit einer kalten humiden Phase eingeleitet. Die Ausbreitung von Pinus-Wäldern in der zweiten Phase impliziert weniger kalte, jedoch aridere Umweltbedingungen mit Entwicklung von Halbwüsten-Vegetation (NAUGHTON et al. 2007, 2009). Im südlichen Teil der IH wird eine Dreiteilung der Heinrich Ereignisse 4, 2 und 1 vorgeschlagen. Die erste und letzte Phase ist durch jeweils milde und humide Verhältnisse gekennzeichnet. Die mittlere Phase zeigt kalte und trockene Umweltbedingungen an (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2000).

Nach geochemischen Analysen der Sedimente des Fuentillejo Maar zeigen die HE's 4, 2 und 1 kalte und trockene Signale, während die HE's 5 und 3 verhältnismäßig wärmer und trockener gewesen sein müssen (VEGAS et al. 2010, CACHO et al. 1999). Die Abwesenheit von *Neogloboquadrina pachyderma* in Sedimenten des Alborán-Meer Bohrkerns während der D-O deutet daraufhin, dass es während dieser Kaltzyklen im Mittelmeerraum der IH zu einer geringeren Abnahme der SST kam als während der HE's (CACHO et al. 1999). Eine pollenbasierte Rekonstruktion der Niederschlagsverhältnisse zeigt weiterhin, dass die HE's weitaus trockener und D-O's im Gegensatz dazu mit den heutigen hygri schen Verhältnissen Vergleichbar gewesen sein müssen (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2002). Der MD95-2042 Bohrkern vor der portugiesischen Küste zeigt, dass die Temperatur- und Niederschlags-Unterschiede zwischen D-O's und HE's im Westen der IH nicht nachgewiesen werden können. Für die HE's 4 und 5 im Atlantik wird eine 200 mm höhere Niederschlagsrate vermutet als für den mediterranen Raum (SÁNCHEZ-GOÑI et al. 2002).

MIS 2

Klimaschwankungen und Kälteeinbrüche während des MIS 2 werden mit den HE's 2 und 1 assoziiert, die in Bohrkernen der galicischen Küste durch eine Zunahme von Krautgewächsen und eine Abnahme von Pinus gekennzeichnet sind (NAUGHTON 2007). Auch die Pollen-Analyse des Alborán Meer Bohrkerns MD 95-2043 zeigt für die HE's 2 und 1 eine starke Abnahme von baumartigen Pollen und die Ausbreitung von Halbwüsten-Vegetation. Im Gegensatz dazu deutet die Entwicklung von Staudengewächsen während des globalen LGM, das zeitlich zwischen HE 2 und 1 einzuordnen ist, auf etwas humidere Verhältnisse

hin (FLETCHER & SÁNCHEZ-GOÑI 2008). Wie bereits erwähnt, war die Gletscherbedeckung auf der IH zu Zeiten des globalen LGM nicht so stark ausgeprägt wie in anderen Gebieten der nördlichen Hemisphäre (GARCÍA-RUIZ et al. 2010). In Galicien sind Krautgewächse während des LGM dominant. Parallel dazu findet die Ausbreitung von Pinus und - vereinzelt - sommergrünen Bäumen statt. Dies ist ein weiterer Hinweis auf humidere Bedingungen während des LGM im Vergleich zu den HE's 1 und 2, wobei das HE 1 von besonders trockenen Verhältnissen gekennzeichnet war (NAUGHTON et al. 2007).

Eine Reihe von Ereignissen im Interval vom Beginn des HE 1 bis zum Anfang des Bølling-Allerød (17.5 und 14.5 cal kyr BP), deren Auftreten bisher nicht zur Gänze geklärt sind, wird das Mystery Interval (MI) genannt (DENTON et al. 2006). Es kam zu erneuten Kälteeinbrüchen mit niedrigeren Temperaturen als zum LGM (DENTON et al. 2005). Im Widerspruch dazu setzte ungefähr zeitgleich die erste Phase des letzten Abschmelzens der Gletscher (LGT, Last Glacial Termination) ein (MORENO et al. in press, DENTON et al. 2005). Eine Erklärung für dieses Phänomen wird im starken Einfluss der thermohalinen Strömung auf das Europäische Klima gesehen (DENTON et al. 2005, 2006). Während des LGM hat diese demnach für mildere Temperaturen gesorgt. Zu Beginn des LGT ist die Zirkulation aufgrund des ins Meerwasser eingespeisten Schmelzwassers der Gletscher im Zusammenhang mit HE 1 stark beeinträchtigt worden beziehungsweise ganz abgerissen und hat so zu dem besagten Kälteeinbruch geführt (MCMANUS 2004).

2.3 Höhlen – Besondere Sedimentationsräume und Archive von paläoökologischen Ereignissen

Da Höhlen und Halbhöhlen vor äußeren Einflüssen wie Wind und Wasser geschützte Sedimentationsräume darstellen (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169) und somit Deposition und Präservierung in der Regel die Erosion überwiegen (STRAUS 1990, COURTY & VALLVERDU 2001), bieten sie besonders gut erhaltene Umweltarchive für Naturwissenschaftler verschiedener Disziplinen. Ablagerungen von Sedimenten, Pollen sowie Knochenresten von dort verendeten Tieren in unterschiedlichen Abschnitten der stratigraphischen Abfolge geben wichtige Hinweise auf die Paläoumwelt und klimatische Bedingungen. Da anthropogene Relikte wie Feuerstellen, Malereien und Werkzeuge in Höhlen lebender Menschen und Ur-Menschen hier gehäuft zu finden sind, ist die Erforschung von in der Vergangenheit bewohnten Höhlen und Abris für Archäologen und Wissenschaftler der Ur- und Frühgeschichte von großem Interesse (siehe Kapitel 2.4.1) (STRAUS 1990, GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169). Dabei ergänzen sich die verschiedenen Forschungszweige aus Natur- und Humanwissenschaften und geben sich gegenseitig neue Hinweise zur Rekonstruktion der Menschheits- und Umweltgeschichte (STRAUS 1990).

Idiosynkratische chemische und physikalische Prozesse in Höhlen und Halbhöhlen während und nach der Ablagerung von Sedimenten, Pollen und Artefakten erfordern eine eingehende Auseinandersetzung mit den dortigen Gegebenheiten (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169).

Zusätzlich muss hier berücksichtigt werden, dass nicht nur natürliche Prozesse zur Anhäufung, Umlagerung oder Veränderung der Materialien geführt haben können, sondern auch menschliche Tätigkeiten (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169). Anthropogene oder sedimen-

täre Hiatus, stratigraphische Umlagerungen, durch Mensch oder Tier, hohe Raten anthropogener Ablagerungen und Rückstände, sowie Schwierigkeiten bei der Übertragung von Umweltprozessen in freier Natur auf das spezielle Ablagerungsmilieu in Höhlen müssen bei der Interpretation einbezogen werden (STRAUS 1990).

2.4 Klassifizierung von Höhlen und Abris

Die vielfältigen Erscheinungsformen von Höhlen hinsichtlich Architektur, Gestein, Bildungsprozesse und sonstiger konstituierender Eigenschaften macht eine Klassifizierung zur besseren Übersicht sinnvoll:

2.4.1 Höhlen und Abris

Eine Unterscheidung zwischen Höhlen und Abris (auch Halbhöhlen oder Rockshelter genannt) ist elementar, da die gegebene Architektur Bedingungen, wie Temperatur und Feuchtigkeit, maßgeblich beeinflusst und folglich unterschiedliche Prozesse der Sedimentbildung und Abtragung stattfinden (STRAUS 1990: 256, GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169).

Abris, Halbhöhlen oder **Rockshelter** sind Felsvorsprünge die in ihrer Geometrie länger als breit sind (Goldberg & Macphail 2006) und deren Tiefe in den Berg oder das Kliff so gering ist, dass jeder Teil des Bodens vom Sonnenlicht erreicht

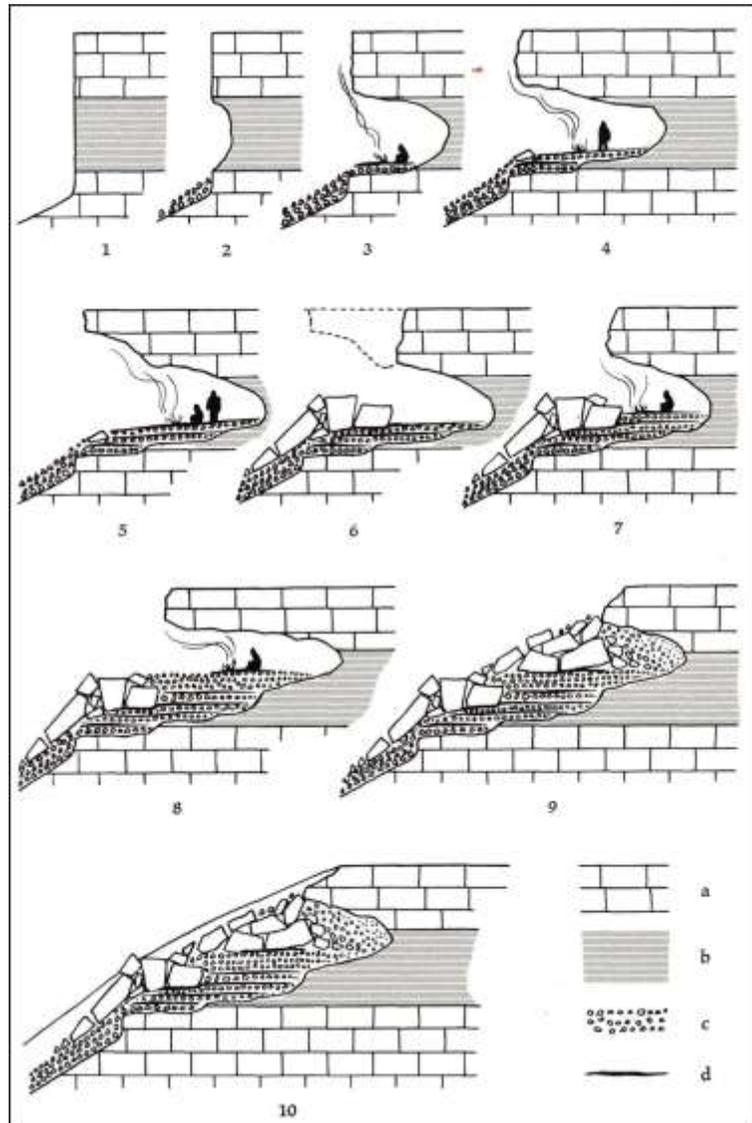


Abbildung 3 Entstehung und Entwicklung von Halbhöhlen (BORDES 1972: 30)

a) massiver Kalkstein. b) Verwitterungsanfälliger Kalkstein. c) Eboulis (Frostschutt). d) Archäologische Schichten.

Das weichere Gestein (b) wird durch Lösung und Korrosion abgetragen (1 und 2). Wenn der Felsvorsprung groß genug ist wird er als Behausung genutzt und anthropogene Ablagerungen werden gebildet (3). Bei anhaltender rückschreitender Erosion wird die Halbhöhle immer größer (4 und 5), bis schließlich ein Teil des Felsvorsprungs kollabiert (6) und die Behausung durch Menschen unterbrocht. Die fortdauernde Erosion führt zu einer erneuten Eintiefung des Kliffs und zur Rückkehr von Menschen (7 und 8), bis das Felsdach erneut kollabiert (9) und der Schutt den Eingang zur Höhle bedeckt (10). Unter Umständen verbleibt ein Teil der Halbhöhle offen und zugäng-

werden kann GILLIESON 1996 Aufgrund dessen sind sie Prozessen wie Erosion, aber auch Akkumulation, durch äolische oder fluviale Prozesse stärker ausgesetzt als geschlossene Höhlen. Ihre Entstehung ist sowohl in chemischen Sedimenten, wie z.B. Kalksteinen, als auch in klastischen Sedimentgesteinen möglich (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 169). Aufgrund der offenen Architektur und des somit größeren Einflusses pedogenetischer Faktoren ist es in Profilen von Halbhöhlen wahrscheinlicher Bodenhorizonte zu finden, als das in Höhlen der Fall ist (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 174).

Die Entstehung von Halbhöhlen erfolgt auf unterschiedliche Weise. Bei einer Felsformation mit unterschiedlich harten Gesteinsschichten wird die petrographisch weichere Schicht durch Lösungs- bzw. Korrosionsprozesse (Verkarstung; s.u.) schneller gelockert und erodiert als das darüber liegende härtere Gestein. Ein Felsvorsprung entsteht, der mit der Zeit durch fortschreitende Verwitterungs- und Erosionsprozesse immer größer wird. Mit der Zeit können Teile des Daches einstürzen, wodurch sich die geschützte Fläche verkleinert oder ganz verschwindet. Durch erneute Erosion wird der Schutzraum wieder vergrößert. So variiert die Gestalt der Abris über die Zeit (Abbildung. 3). Abris unterschiedlich harten Gesteins können durch äolische, fluviale, glaziale oder marine Abtragungsmechanismen entstehen (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 173, LAVILLE 1980: 46).

Durch fluviale oder marine Abtragung können auch bei petrographisch einheitlichen Gesteinsformationen Halbhöhlen entstehen, sogenannte Brandungshöhlen an Kliffs (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 173, RIEDEL 2002). Durch Meeresregression findet man diese Art der Halbhöhle rezent auch in größerer Entfernung zur heutigen Küstenlinie (WARWICK 1976).

Ein weiterer bedeutender Prozess, der die Bildung von Halbhöhlen zur Folge hat, ist die Frostsprengung (Kapitel 2.6.4). Diese Form der Verwitterung dürfte im Pleistozän von besonderer Bedeutung gewesen sein und hat zur Bildung vieler Abris, unter anderem in Südfrankreich, geführt (LAVILLE 1980:46).

Eine **Höhle** ist per definitionem eine „durch Naturvorgänge gebildete unterirdische Hohlform, die ganz oder teilweise von Gestein umschlossen ist“ (KRAUTHAUSEN 2002). Diese Definition umfasst auch kleinste Hohlräume, deshalb wird zur Vereinfachung der Zusatz „und vom Menschen begehbar“ angehängt (KRAUTHAUSEN 2002). Ihre verzweigten unterirdischen Gänge können sich über bis zu 100 km erstrecken (GILLIESON 1996). Die Mehrheit der Höhlen sind Karsthohlformen, die durch Korrosion entstanden sind. Durch die speziellen Bedingungen in Höhlen, wie Lichtlosigkeit und relativ stabile Temperatur- und Feuchtebedingungen, entsteht hier eine höhlenspezifische Fauna und Flora (GILLIESON 1996, KRAUTHAUSEN 2002). Auch die sedimentbildenden Faktoren sind von denen unter freiem Himmel zu differenzieren. Die häufig sehr humiden Bedingungen fördern biologische und chemische Verwitterung sowie die Entstehung chemischer Sedimente (WOODWARD & GOLDBERG 2001). Eingänge können im Verlauf eines Menschenlebens einstürzen und die Höhlen komplett verschließen, während an anderer Stelle neue entstehen (STRAUS 1990).

2.4.2 Karst und Pseudokarst

Der Begriff Karst im Allgemeinen bezeichnet durch Korrosion entstandene Landschaftsformen. Für die vorliegende Arbeit sind nur die unterirdischen Hohlformen von Interesse, die Höhlen und Abris.

Tabelle 1 Prozesse bei der Karbonatlösung (nach GILLIESON 1996: 69)

Prozessgleichung	Beschreibung
CO_2 CO_2 Luft Gelöst	Lösung von CO_2 in Wasser
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ H_2CO_3	Hydratation des gelösten Kohlendioxids unter Bildung von Kohlensäure
H_2CO_3 $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	Dissoziation von Kohlensäure in Wasserstoff und Hydrogencarbonat-ionen
CaCO_3 $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	Zerfall von Kalziumkarbonat in Ionen
$\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ HCO_3^-	Verbindung von Wasserstoffionen und Karbonationen zu Hydrogencarbonat

Gesteine die besonders zur Verkarstung neigen, sind Karbonate wie Kalk und Dolomit, sowie Evaporite (Gips, Halit, Anhydrit). Aber auch in Silikaten, wie Sandstein oder Basalt, können durch Korrosion Höhlensysteme entstehen (GILLIESON 1996). Für Höhlen, deren Entstehung nicht im Zusammenhang mit Korrosion steht, wird der Begriff Pseudokarst verwendet (GILLIESON 1996). Die Abgrenzung von Pseudokarst und Karst ist jedoch nicht einheitlich geregelt. So können Silikatkarstformen sowohl den Karstformen (GILLIESON 1996), als auch den Pseudokarstformen (MARTIN et al. 2002) zugeordnet werden.

Kalkstein und Dolomit werden in der Regel durch Kohlensäureverwitterung (Tabelle 1) gelöst. Durch Dissoziation von Kohlendioxid [CO_2] in Wasser [H_2O] entsteht Kohlensäure [H_2CO_3]. Diese kommt als Sickerwasser oder in Form unterirdischer Wasserläufe mit dem kalkhaltigen Gestein in Kontakt und reagiert mit dem Kalziumkarbonat [CaCO_3] zu Kalziumionen [Ca^{2+}] und Hydrogencarbonat [HCO_3^-] (GILLIESON 1996: 68f.)

So entstehen zunächst kleine Hohlformen, vorwiegend an Schichtgrenzen oder Störungen, die mit fortschreitender Verwitterung immer größer werden. Dabei können weitverzweigte unterirdische Höhlensysteme entstehen. Durch Menschen bewohnt wurden jedoch in der Regel nur die Eingangsbereiche (STRAUS 1990).

Die Entstehung von Karsthöhlen dauert, je nach Verwitterungsintensität, unterschiedlich lang. Mit steigender Temperatur und abnehmendem CO_2 -Partialdruck nimmt die Löslichkeit von CO_2 in H_2O ab, dennoch ist die Verwitterungsintensität von Karbonatgesteinen in den warmen Tropen höher als in kühlen bis kalten Gebieten (GILLIESON 1996: 69).

Da Salzgesteine in reinem Wasser löslich sind, finden sich diese in humiden Regionen nicht an der Erdoberfläche. Evaporit-Karstformen sind auf aride und semi-aride Regionen begrenzt (GILLIESON 1996: 77).

Silikatische Gesteine sind zwar bereits in purem Wasser hinlänglich löslich, ihre Löslichkeit steigt jedoch mit zunehmender Alkalinität. Bei der Silikatverwitterung entstehen Kieselsäure und Tonminerale, wie z.B. Kaolinit. Die Intensität der Silikatverwitterung ist abhängig

von der Temperatur (zunehmende Intensität bei steigender Temperatur) und der Verfügbarkeit von Wasser (GILLIESON 1996, YOUNG & YOUNG 1992).

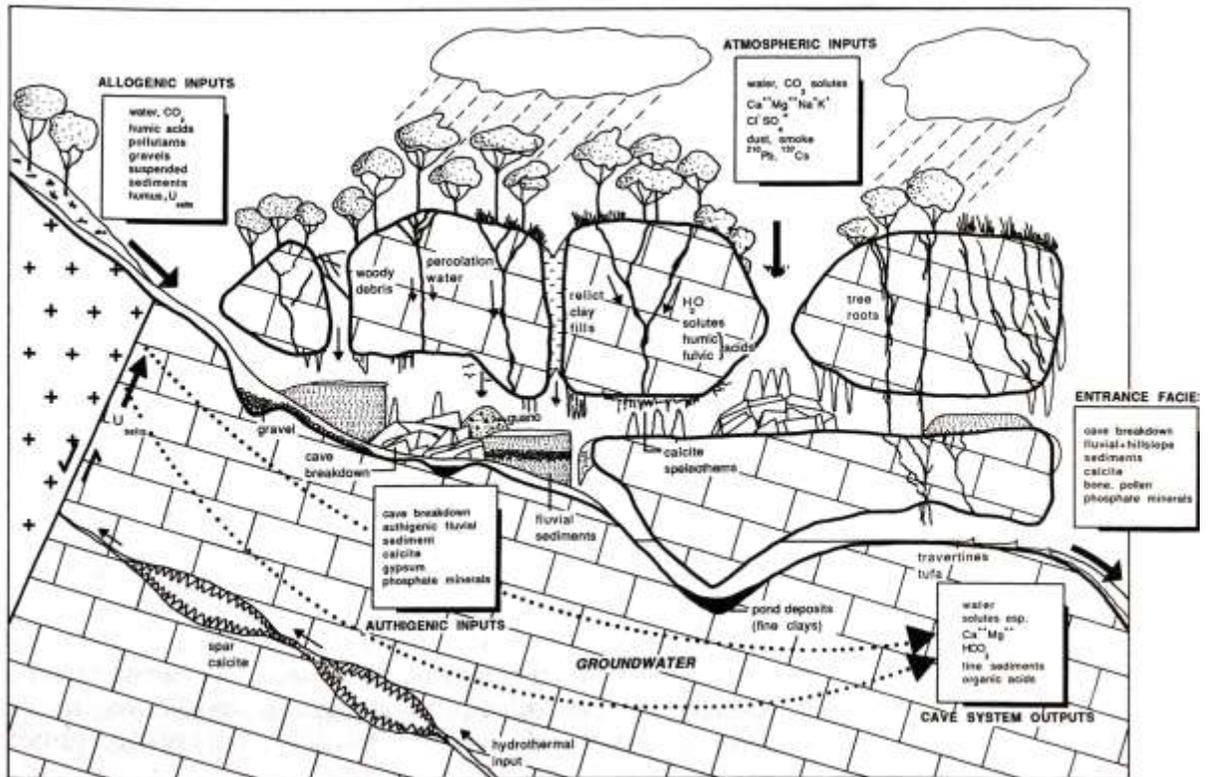


Abbildung 4 Höhlensystem mit potenziellen Typen der Materialzufuhr und -entfernung (GILLIESON 1996: 7)

Karsthöhlen sind zahlenmäßig die bedeutendsten Höhlen, aber es gibt auch eine Vielzahl von Höhlen, die durch andere Prozesse entstehen (Pseudokarst) (GILLIESON 1996).

Der Begriff Pseudokarst wird hier im weitesten Sinne für alle Hohlformen verwendet, die nicht durch Korrosions- oder Lösungsprozesse entstanden sind. Dazu zählen unter anderem Lavahöhlen, die oben genannten Halbhöhlen, die durch physikalische Verwitterung, wie Frostsprengung, oder Abrasion entstanden sind, sowie auch Höhlen in Sandsteingebieten (GILLIESON 1996).

2.4.3 Aktive und passive Karsthöhlensysteme

Eine wichtige Klassifizierung von Höhlentypen erfolgt anhand der Vernetzung des höhleninternen Drainagesystems mit der Oberflächenhydrologie (WARWICK 1976, WOODWARD & GOLDBERG 2001). Ist diese aktiv, werden die unterirdischen Hohlräume von fließendem Wasser durchströmt, wohingegen passive Karsthöhlensysteme nur von Sickerwasser erreicht werden (WARWICK 1976).

Bei aktiven Höhlen kann das Wasser durch Ponore in die Höhle gelangen und allochthone Sedimente und andere gelöste Stoffe eintragen (influent). Bei anderen aktiven Karstsystemen gelangt das Grundwasser an Karstquellen an die Erdoberfläche (effluent). Es gibt nur wenige Karstsysteme, bei denen Wasser durch einen Ponor eintritt und an anderer Stelle wieder zu Tage kommt (WARWICK 1976).

Tabelle 2 Einige Eigenschaften aktiver und passiver Karsthöhlensysteme für Abris und Höhleneingangsbereiche in Kalksteinregionen (WOODWARD & GOLDBERG 2001)

Active (Humid) Karst Setting	Passive (Dry) Karst Setting
<ul style="list-style-type: none"> • Linked to an internal cavern or conduit system • Dripping vadose waters • Seasonal water flows and ponding • Range of hydrological pathways • Precipitation of calcite and other minerals • Inwashing of fine sediments via conduits in the host bedrock • Development of vegetation within the site • Mineralization of macroscopic plant remains • Strong chemical diagenesis and mineral alteration • Humidity may encourage host rock breakdown by frost action • Evidence of erosion and sediment removal by invasive karst waters 	<ul style="list-style-type: none"> • No significant links with an internal conduit system • Dry site without flowing or dripping water • Limited or no inwashing of sediments via karstic cavities • Highly localized or no chemical precipitation • Limited vegetation growth within the site • Desiccation of macroscopic plant remains • Limited chemical diagenesis and mineral alteration • Import of fine sediments through the shelter opening may be dominant • Limited host rock weathering by solution • Subaerial processes are dominant

Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Obere Donau, die beim Durchqueren der Schwäbischen Alb bei Immendingen vollständig versickert und am Aachquelltopf wieder zu Tage tritt.

Die Aktivität oder Passivität einer Höhle wirkt sich auf ihre Anfälligkeit auf Änderungen der klimatischen Bedingungen aus (COURTY & VALLVERDU 2001). Sie beeinflusst Sedimentquellen, Ablagerungsmechanismen sowie Umlagerungen und Modifizierungen der Sedimente nach der Ablagerung. Selbst die Häufigkeit von herabstürzenden Felsblöcken und Kiesen kann durch die jeweiligen hydrogeologischen und geochemischen Gegebenheiten variieren (WOODWARD & GOLDBERG 2001).

WOODWARD & GOLDBERG (2001) liefern eine Zusammenfassung der Eigenschaften aktiver bzw. passiver Karsthöhlensysteme und stellen heraus, dass eine klare Abgrenzung der beiden Typen nicht möglich ist, sondern vielmehr Zwischenstufen aller Art existieren können (Tabelle 2).

2.5 Klassifizierung von Sedimenten in Höhlen und Abris

Wie bereits erwähnt, sind Höhlen wichtige Archive der Paläoumwelt und der Menschheitsgeschichte (STRAUS 1990, GOLDBERG & MACPHAIL 2006), deren Daten in den sie konstituierenden Sedimenten verborgen liegen (FARRAND 2001). Eine intensive Auseinandersetzung mit den Sedimenten und den sedimentbildenden Prozessen in Höhlen ist Voraussetzung, um diese Informationen verstehen und interpretieren zu können. Zur Klassifizierung von Höhlensedimenten können verschiedene Ansätze herangezogen werden. Neben den

speleologischen Ansätzen, welche die physischen Gegebenheiten in Höhlen zum Fokus haben, bildeten sich in den letzten dreißig Jahren auch geoarchäologische Ansätze heraus. Diese berücksichtigen sowohl natürliche als auch anthropogene Prozesse in Höhlen.

Im Folgenden werden Klassifizierungen beider Ansätze erläutert.

2.5.1 Korngrößenklassen

Höhlensedimente können, wie alle Sedimente, ihrer Größe nach gegliedert werden (FORD 2001). Dazu können unterschiedliche Skalen zu Grunde liegen (s. Tabelle 3). Größe und Form der Sedimente geben wichtige Hinweise auf die Prozesse, die zu ihrer Entstehung geführt haben und damit indirekt auch zum jeweils herrschenden Umweltregime.

Die Korngröße wird beeinflusst durch das Ausgangsgestein, die Verwitterungsart, –intensität und –dauer und über die Transportart und –distanz. Die Faktoren beeinflussen sich auch gegenseitig.

Je weiter der Transportweg ist, desto feiner wird das Sediment, da größere Partikel bei abnehmender Kapazität schon früher abgelagert werden und die Zerkleinerung des Sediments auf dem Weg wahrscheinlich ist (siehe Kapitel 2.6.2).

Bei einer hohen Verwitterungsintensität werden die Gesteinsfragmente in immer kleinere Teile zerlegt. Chemische und Physikalische Verwitterung haben unterschiedliche Auswirkungen auf das Gestein und wirken unter verschiedenen Voraussetzungen (siehe Kapitel 2.5.1).

Tabelle 3 Gängige Skalen der Korngrößenklassen aus Geologie und Pedologie (GOLDBERG & MACPHAIL 2006: 12)

Wentworth Class	Size range	Phi (Φ) Units	UK Soil Science Class Equivalent	Size Range	USA Soil Science Class Equivalent
Boulders	>256 mm	-8	Boulders	> 600 mm	
Cobbles	64-256 mm	-6 to -8	Very Large Stones	200-600 mm	
Pebbles	4-64 mm	-2 to -6	Large Stones	60- 200 mm	
Granules	2-4 mm	-1 to -2	Medium Stones	20-60 mm	
			Small Stones	6-20 mm	
			Very Small Stones	2-6 mm	
Very Coarse Sand	1-2 mm	0 -1			1-2 mm
Coarse Sand	0.5-2 mm	1-0	Coarse Sand	0.6-2 mm	0.5-1 mm
Medium Sand	250-500 μ m	2-1	Medium Sand	212-600 μ m	250-500 μ m
Fine Sand	125-250 μ m	3-2	Fine Sand	63-212 μ m	100-250 μ m
Very Fine Sand	63-125 μ m	4-3			50-100 μ m
Coarse Silt	31-63 μ m	5-4	Coarse Silt	20-63 μ m	Silt= 2-50 μ m
Medium Silt	16-31 μ m	6-5	Medium Silt	6-20 μ m	
Fine Silt	8-16 μ m	7-6	Fine Silt	2-6 μ m	
Very Fine Silt	4-8 μ m	8-7			
Clay	<4 μ m	>8	Clay	<2 μ m	<2 μ m

2.5.2 Genetische Sedimenttypen

FARRAND (2001) schlägt eine Kategorisierung vor, der die Genese der Sedimente zugrunde liegt. Dabei unterscheidet er zwischen geogenen, biogenen und anthropogenen Sedimenten, die in einem Mischungsverhältnis von 0% bis 100% jeder Komponente enthalten sein können.

Geogene Sedimente entstehen aus dem Zerfall des höhlenbildenden Gesteins, durch chemische Ausfällung oder durch äolischen, fluvialen oder gravitativen Eintrag von außen. Eine detailliertere Beschreibung der geogenen Sedimente folgt weiter unten (siehe Kapitel 2.5.4 und 2.5.5) (FARRAND 2001, GOLDBERG & MACPHAIL 2006, WHITE 2007, FORD 2001).

Biogene Sedimente entstehen durch Ablagerungen von Tieren, wie z.B. Knochen, Zähne oder Eulengewölle, Guano von Vögeln und Fledermäusen und Koprolithe von Säugetieren, sowie pflanzlichen Ablagerungen, wie Holz und Gras (FARRAND 2001, GOLDBERG & MACPHAIL 2006). Koprolithe können Aufschluss geben über das Nahrungsspektrum der Tiere und somit, im weiteren Kontext, über die herrschenden Umweltbedingungen (FARRAND 2001). Die Menge des vorhandenen biogenen Sediments ist abhängig von der Größe der Population, welche die Höhle bewohnt hat. In der Regel liegt eine Mischung biogener und geogener Sedimente vor (FARRAND 2001). Biogene Sedimente können sowohl autochthon in der Höhle entstanden, als auch allochthon eingetragen worden sein (Abbildung 5) (GOLDBERG & MACPHAIL 2006).

Anthropogene Sedimente können sowohl gewollt, als auch unabsichtlich durch Menschen in die Höhle eingetragen worden sein. Sand oder Erde zum Nivellieren des Höhlenbodens oder Holz und Gesteine zum Bau, beispielsweise von Feuerstellen, sind bewusst eingetragene Materialien. Die Asche-Rückstände der Feuerstellen sind häufig mit den Sedimenten vermischt zu finden. Andere anthropogene Ablagerungen können aus Rückständen von Nahrungsmitteln entstehen, z.B. Tierknochen und Fischgräten, oder Schalen von Schnecken oder marinen Krustentieren. Diese Rückstände, wie auch die Asche der Feuerstellen, finden sich entweder über die Höhle verteilt und mit geogenem und biogenem Sediment vermischt oder aber separat in Form eines Abfallhaufens bzw. einer Feuerstelle. Weitere Ablagerungen werden eingetragen, wenn Lehm an den Füßen und der Kleidung der Bewohner haften bleibt. Auf diese Art kann sich die Sedimentationsrate der Höhlen in Zeiten menschlicher Besiedlung drastisch erhöhen. Umgekehrt entstehen jedoch auch Hiatus, wenn Menschen Gruben (zum Beispiel für Feuerstellen) anlegen. Wird das abgetragene Sediment an anderer Stelle innerhalb der Höhle abgelagert, entstehen Reversionen in der Stratigraphie. Das bedeutet, dass altes Sediment über jungem Sediment abgelagert wird (FARRAND 2001, GOLDBERG & MACPHAIL 2006).

2.5.3 Sedimentherkunft

Eine weitere Kategorisierung von Höhlensedimenten kann anhand ihrer Herkunft erfolgen. Unterschieden wird zwischen autochthonen Sedimenten, die innerhalb der Höhle entstehen und allochthonen Sedimenten, die durch unterschiedliche Prozesse in die Höhle eingetragen werden (WHITE 2007; GOLDBERG & MACPHAIL 2006; FORD 2001). Die meisten autochthonen Sedimente sind der Grobfraktion zuzuordnen, die Feinfraktion wird in der Regel von exogenen Sedimenten beherrscht (WOODWARD & BAILEY 2001).

GOLDBERG & MACPHAIL (2006) und WHITE (2007) ziehen zur Typisierung von Höhlensedimenten die klassische Einteilung in klastische und chemische Sedimente heran (Abbildung 5 und Abbildung 6) und berücksichtigen gleichzeitig deren Provenienz. WHITES (2007) Klassifizierung ist speleologischer Natur und klammert anthropogen entstandene Sedimenttypen aus, während GOLDBERG & MACPHAIL (2006) eine geoarchäologische Typisierung, unter Berücksichtigung menschlicher Aktivitäten und biologischer Prozesse vorlegen.

I. Klastische Sedimente

- A. Autochthone Sedimente
 - 1. Verwitterungsdetritus
 - 2. „Breakdown“
 - 3. Guano
- B. Allochthone Sedimente
 - 1. Eingangsschutt
 - 2. Infiltrate
 - a. Bodenauswaschungen
 - b. Gravitativer Schutt
 - 3. Fluviale Sedimente
 - a. Organische Einwaschungen
 - b. Alluviale Sedimente
 - c. Glaziale Einwaschungen
 - d. Vulkanische Einwaschungen
 - 4. Murenablagerungen
 - 5. Äolische Ablagerungen

II. Chemical Sediments

- A. Travertine
 - 1. Flowstone
 - 2. Dripstone
- B. Evaporite
 - 1. Krusten
 - 2. Lose Ablagerungen
- C. Phosphate
- D. Resistate
- E. Eis

Abbildung 5 Klassifizierung von Sedimenten nach WHITE (2007)

2.5.4 Klastische Sedimente

Klastische Sedimente sind Bruchstücke größerer Gesteinsformationen, die durch physikalische und chemische Verwitterung zerkleinert werden. Nach ihrer Zerkleinerung sind die Sedimente Prozessen weiterer Verwitterung sowie Transport durch Wasser, Eis und Wind, aber auch der Verlagerung durch gravitative Prozesse ausgesetzt. Während des Transports werden die Sedimente, je nach Transportart, sortiert und gerundet. Bei der Sedimentation entstehen charakteristische Lagerungsformen, die zur Interpretation ihrer Genese beitragen (Kapitel 2.6).

Die Quelle für geogene autochthone Sedimente ist das höhlenbildende Gestein selbst. Die bei der Entstehung wirkenden Prozesse sowie vorhandene Risse und Klüfte im Gestein beeinflussen Größe und Form des Sediments. Durch physikalische Verwitterung können Blö-

cke aus der Höhlendecke oder -wand gelöst werden und herabfallen. Dieser Sedimenttyp wird in der englischsprachigen Literatur treffend als „Block Breakdown“ (GOLDBERG & MACPHAIL 2006), „Breakdown“ (FORD 2001) oder „Roof fall“ (FARRAND 2001) bezeichnet. Da keine entsprechende deutsche Übersetzung gefunden wurde, werden diese Begriffe im Folgenden in englischer Sprache übernommen.

Durch physikalische Verwitterung entstehen auch feinkörnige Sedimente der Kies- und Steinfraktion (BUTZER 1981, LAVILLE 1980).

Auch chemische Lösungsprozesse greifen das höhlenbildende Gestein an. Dabei entstehen nichtlösliche Verwitterungsresiduen, wie Tonminerale, Sande, Fragmente silifizierter Fossilien und Chert (WOODWARD & BAILEY 2001, WHITE 2007, FORD 2001). GOLDBERG &

MACPHAIL (2006) bezeichnen dieses Sediment analog zum „Block Breakdown“ als „Grain Breakdown“. Die Palette der Korngrößen, die bei chemischen Lösungsprozessen entstehen, reicht bis zur Kiesfraktion. Am häufigsten entstehen jedoch die für Höhlen charakteristischen Tone (FORD 2001). Chemische Lösungsprozesse sind in Europa von geringerer Bedeutung als physikalische (GOLDBERG & MACPHAIL 2006).

Die auf den Höhlenboden gefallenen Bruchstücke werden im Laufe der Zeit durch Lösung und Abrasion zerkleinert und abgetragen, sodass ihr Zustand den Zeitpunkt des Einsturzes anzeigt. Je weiter fortgeschritten die Verwitterung, desto mehr Zeit ist seit dem Einsturz vergangen (Ford 2001).

Sediment type	Autochthonous (endogenous)	Allochthonous (exogenous)
<i>Clastic Sediment</i>		
<i>Weathering Detritus</i>	•	
<i>Block Breakdown (éboulis)</i>	•	
<i>Grain Breakdown by dissolution, abrasion of rock walls by humans</i>	•	
<i>Entrance talus</i>	•	•
<i>Infiltrates (drip)</i>	•	•
<i>Fluvial deposits</i>		•
<i>Glacial deposits</i>		•
<i>Aeolian deposits</i>		•
<i>Biogenic debris</i>		
<i>bird and bat guano</i>	•	◦
<i>gastroliths</i>	•	◦
<i>carnivore coprolites</i>	•	•
<i>wood, grass</i>	◦	•
<i>humus</i>	◦	•
<i>Anthropogenic deposits</i>	◦	•
<i>Micro-artifacts (bone, shell, lithics, etc.)</i>		•
<i>transported soil/sediment</i>		
<i>wood/charcoal</i>		
<i>ash</i>		
<i>Chemical Sediments</i>		
<i>Travertines</i>	•	
<i>Evaporites</i>	•	
<i>Guano, phosphate, and nitrate minerals</i>	•	
<i>Resistates</i>	•	
<i>Ice</i>	•	

Locale: Likelihood • = high; ◦ = low

Im Eingangsbereich von Höhlen ist das Gestein Einflüssen, wie Temperaturschwankungen und Regen, stärker ausgesetzt. Dementsprechend hoch ist dort die Sedimentbildung durch Verwitterung. Allochthone Sedimente, die in die Höhle eingetragen werden, vermischen sich hier mit den autochthonen Sedimenten und bilden den Eingangsschutt („Entrance Talus“). Blöcke und Kiese, die vom Höhleneingang abgebrochen sind, gravitativ transportiertes Material von höher gelegenen Stellen aus der Umgebung, Pflanzenreste, usw. sind charakteristisch für die Zusammensetzung dieser Sedimente (WHITE 2007).

Relief, Gestein, und Vegetation der Höhlenumgebung beeinflussen in hohem Maß die Zusammensetzung des allochthonen Sediments. Infiltrate gelangen in die Höhle durch Risse und Frakturen im Gestein des Höhlendaches, die durch Lösung geweitet wurden. Dabei werden feinere Bodenpartikel mit dem Bodenwasser in die Höhle gewaschen (Soil Washdown). Größere Fragmente gelangen durch weite Schäfte in die Höhle (Gravitational Debris).

Abbildung 6 Höhlensedimenttypen (GOLDBERG & MACPHAIL 2006)

Kolluvien und Murengänge können durch den Eingang in die Höhlen gelangen. Ihre mineralische Zusammensetzung ist abhängig vom umliegend vorhandenen Material (FORD 2001, WHITE 2007, FARRAND 2001, WOODWARD & BAILEY 2000).

Durch Flüsse, die in Ponoren oder Schwinden des Höhlensystems versickern, wird Material vielfältiger Art in die Höhle eingetragen. Darunter alluviale Sedimente, vulkanische Aschen, glaziales Geschiebe, organische Substanzen, etc. Externe Flüsse erreichen möglicherweise temporär den Eingang der Höhlen und lagern ebenfalls vielfältiges Material ab (WHITE, 2007, FARRAND 2001).

Materialien im Korngrößenbereich von Sand und Schluff/Silt werden durch Wind in die Höhlen geblasen (WHITE 2007, FARRAND 2001, GOLDBERG & MACPHAIL 2006). Sie erreichen für gewöhnlich nur die Eingangsbereiche der Höhlen wo sie häufig mit anderen Sedimenten vermischt werden (FORD 2001). Häufig werden äolische Sedimente als Löss interpretiert (BUTZER 1981), wobei nicht klar ist, ob dabei die genetische-interpretative Bedeutung des Begriffs berücksichtigt wird.

Marine und lakustrine Sedimente im Sand- oder Kiesbereich können ebenfalls in Höhlen gelangen, wenn diese in der Nähe eines Sees oder Meeres liegen oder im Verlauf ihrer Evolution lagen (FARRAND 2001). Sie sind in der Regel anhand von Schalenbruchstücken von Muscheln und anderen Mollusken leicht zu identifizieren. Aufgrund von Meeresspiegelschwankungen können selbst in Höhlen, die heute über 100 m über dem Meeresspiegel liegen, marine Sedimente gefunden werden (FORD 2001).

2.5.5 Chemische Sedimente

Chemische Sedimente entstehen durch Ausfällung von Ionen aus wässrigen Lösungen. Sie werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung klassifiziert. Voraussetzung für die Präzipitation ist die chemische Sättigung der Lösung. Diese tritt ein, wenn die Ionenkonzentration steigt (durch äußere Zufuhr, Mischung unterschiedlicher Lösungen oder durch Verdunstung - Evaporite) oder wenn die physikalischen Gegebenheiten der Umgebung sich verändern (Temperatur- oder Druckveränderungen). Chemische Depositionen können in unterschiedlicher Gestalt vorkommen, z.B. als feinkristalline Matrix (Mikrit, Sparit), als Aggregate, oder als Coatings (Pisolithe) (VÖLKER 2002, HAAß 2002, GILLIESON 1996).

Da die meisten Höhlen aus Kalkstein bestehen, ist Kalzit mit 95% das am stärksten repräsentierte Mineral in Höhlensedimenten (GILLIESON 1996). Das am häufigsten vorkommende chemische Sediment in Höhlen ist Travertin, ein Karbonatgestein, das aus Grund- oder Oberflächenwasser ausfällt. Typische Erscheinungsformen des Travertins sind die kegelförmigen Stalagmiten und Stalaktiten (Dripstone), die auf dem Höhlenboden bzw. an der Höhlendecke „wachsen“, sowie Sinterkrusten (Flowstone). Kristalline Ausfällungen in den Porenräumen der Sedimente sind auch möglich (FORD 2001, WHITE 2006). Wenn diese Ausfällungen das klastische Sediment zementieren, entstehen bei kantigen Klasten Brekzien. Bei gerundeten Klasten entstehen Konglomerate. Das häufigste Bindemittel für Brekzien in Höhlen ist Kalzit, selten findet man in ariden Regionen Gips und gelegentlich fungieren Mangan- und Eisenoxide als Bindemittel (FORD 2001, WHITE 2007).

Evaporite entstehen, wenn die wässrige Lösung, in der sich die Ionen befinden, verdunstet. Ein häufig zu findender Evaporit in Höhlen ist Gips, aber auch andere Sulfate sowie Halite kommen vor. Sie sind sehr stark wasserlöslich und existieren deshalb nur in ariden Regionen oder in den trockenen Teilen einer Höhle. Das Sulfat des Gips' entstammt zum Beispiel sulfathaltigen Einlagerungen oder Verunreinigungen des höhlenbildenden Kalksteins (GILLIESON 1996, WHITE 2007).

Phosphate und Nitrate werden in der Regel den organischen Sedimenten zugeordnet. Die Hauptquelle für Phosphate sind Exkremente von in Höhlen lebenden Tieren, wie Vögeln und Fledermäusen. Nitrate werden meist aus über der Höhle liegenden Materialien (z.B. Böden) durch Fissuren in die Höhle eingewaschen. Diese extern eingetragenen Substanzen reagieren mit dem Kalkstein oder anderen chemischen oder klastischen Sedimenten in der Höhle und bilden neue Minerale, die als autochthon kategorisiert werden. Sie formen meistens Krusten, Knollen oder Anreicherungshorizonte in den Höhlensedimenten (WHITE 1976, GILLIESON 1996, FORD 2001).

Eisen- und Manganoxide und -hydroxide sind nur schwer in pH-neutralem Wasser löslich und werden deshalb als Resistate bezeichnet. Diese Konkretionen liegen in Form von Coatings, als Knollen oder als massive Ablagerungen vor. Typische eisenhaltige Minerale in Höhlen sind Limonit und Goethit (WHITE 1976, WHITE 2007, FORD 2001).

Ganzjähriges Eis findet man in Höhlen der Europäischen Alpen, saisonales Eis hingegen in Höhlen, in denen die Wintertemperaturen unter den Gefrierpunkt sinken (WHITE 1976, WHITE 2007).

2.6 Prozesse der Sedimentbildung in Höhlen und ihre klimatische Interpretation

Die vorliegende Arbeit fokussiert die Entstehung geogener Sedimente. Ihre Lagerungsstrukturen, Herkunft, Korngrößenverteilung, Form, Rundung und Zusammensetzung geben Auskunft über die Prozesse, die zu ihrer Entstehung geführt haben, und klimatische Einflussfaktore (FORD 2001, COURTY & VALLVERDU 2001). Die Sedimentationsprozesse werden untergliedert nach

- gravitativen Prozessen, die hauptsächlich zur Bildung autochthonen Materials führen,
- Prozessen in Verbindung mit äolischen und fluvialen Strömungen, die sowohl endogenes als auch exogenes Sediment transportieren und ablagern,
- chemischen Depositionen, (siehe Kapitel 2.5.5) und
- der Modifizierung der Sedimente nach der Ablagerung, die zwar nicht zu den sedimentbildenden Prozessen zählt, aber ebenso wichtige Hinweise auf klimatische Prozesse geben.

2.6.1 Gravitative Prozesse

Durch gravitative Kräfte können zahlreiche Sedimenttypen entstehen. Dazu zählen Block Breakdown, Grain Breakdown, Ablagerungen von Hangrutschungen und Infiltrate (GILLIESON 1996, WOODWARD & BAILEY 2000, WHITE 2007).

Für das Einstürzen und Herabfallen von Teilen der Höhlendecke oder Wand müssen Prozesse der Gesteinslockerung vorangehen. Ein in Europa bedeutender Prozess, der zur Disintegration des Gesteins führt, ist die Kryoklastik. Bei Temperaturen unter dem Nullpunkt gefriert das in den Klüften und Rissen des Gesteins perkolierende Wasser und sprengt durch die damit einhergehende Volumenvergrößerung den Gesteinsverband (GOLDBERG & MACPHAIL 2006, LAVILLE 1980). Voraussetzung für diese Art der Verwitterung

ung sind humide Verhältnisse sowie ein häufiger Wechsel von Gefrieren und Tauen. Durch rasche Abkühlung auf unter $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ verstärkt sich der Effekt der Frostsprengung (ZEPP 2004). Das entstehende Sediment ist in der Regel scharfkantig. Die Größe des Frostschutts ist ein Indiz für die Frequenz des Wechsels von Tauen und Frieren. Je kleiner das Sediment, desto häufiger fanden Frostwechsel statt und haben die heruntergefallenen Blöcke weiter zerkleinert (FARRAND 2001).

Die Lockerung des höhlenbildenden Gesteins erfolgt auch bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt (FARRAND 2001). Bei der Hydratation führt ein häufiger Wechsel von Adsorption und Desorption zur Auflösung des Gesteinsverbands. Dieser Prozess wirkt besonders in ariden Gebieten an Gesteinsflächen, die tagsüber von der Sonne vollkommen getrocknet werden, und wo nachts bei steigender Luftfeuchtigkeit die Oberflächen von Wasser benetzt werden (ZEPP 2004).

Einen ähnlichen Effekt wie bei der Kryoklastik hat die Salzsprengung zur Folge. Enthält das perkolierende Wasser gelöste Salzionen, kann es bei Temperaturschwankungen oder durch Veränderungen der Luftfeuchte zur Kristallisation von Salzen kommen, die durch einen erhöhten Volumenanspruch das Gestein lockern. Dieser Prozess findet vor allem in semiariden und ariden Regionen statt (ZEPP 2004). Tektonische Aktivität kann ebenfalls zum Herausbrechen des Gesteins führen, ist aber unabhängig von klimatischen Bedingungen.

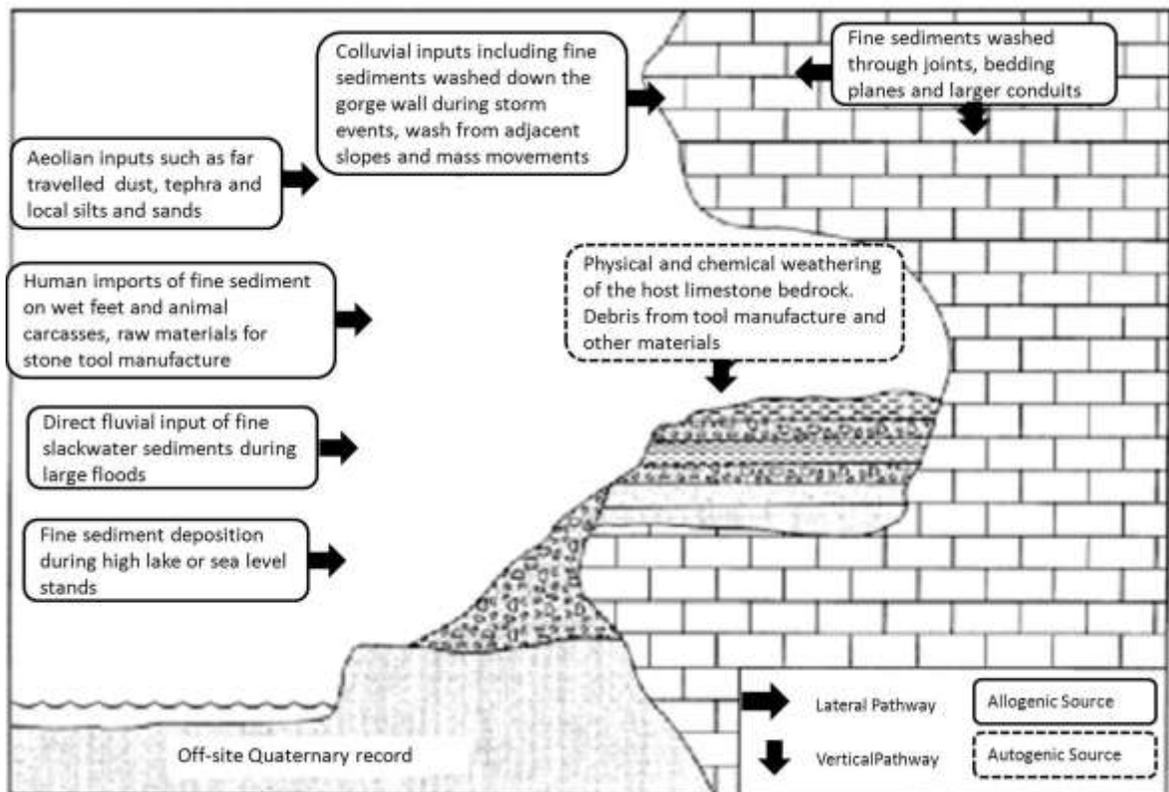


Abbildung 7 Sedimentquellen in Höhleneingängen und Abriss und damit assoziierte geomorphologische Prozesse (WOODWARD & BAILEY 2000)

Schon hier wird deutlich, dass eine eindeutige Zuordnung eines Sedimenttyps zu einem Entstehungsprozess nicht möglich ist, wodurch die klimatische Rekonstruktion erschwert wird. Detailliertere Untersuchungen zur Form und Rundung einzelner herabgefallener Fragmente sowie deren Verwitterungs- bzw. Korrosionsgrad oder eventuelle Patinierungen oder Mineralüberzüge sind deshalb notwendig, um weitere klimatische Eingrenzungen zu ermöglichen (siehe Kapitel 2.6.4, BUTZER 1981, ARTEAGA et al. 2001, BERGADÁ et al. 2005, CARRIÓN 1992a). Aber auch die Form und Größe herabgefallener Gesteinsbruchstücke werden nicht allein durch die Verwitterungsart und -intensität beeinflusst. Kryoklastik und Hydratation wirken entlang bereits bestehender Klüfte und Risse im Gestein, die von der Gesteinsstruktur und -zusammensetzung abhängig sind.

Wird das höhlenbildende Gestein durch chemische Lösungsprozesse zerkleinert, bleiben nichtlösliche Verwitterungsresiduen im Ton- bis Kiesbereich zurück. Sie sind gekennzeichnet durch eine subangulare Oberfläche und schlechte Sortierung. Der charakteristische Höhlenschlamm entsteht unter anderem durch Neubildungen von Tonmineralen. Dabei können auch Unreinheiten des höhlenbildenden Gesteins, die nicht aus Kalkstein sind, herausgelöst werden (FORD 2001). Voraussetzung für chemische Verwitterung sind moderate Temperaturen und humide Verhältnisse.

Die Produktion von autochthonen Feinsedimenten in Höhleneingängen und Abris ist laut WOODWARD & BAILEY (2000) von untergeordneter Bedeutung. Da es sich in der Regel um reinen Kalkstein handelt, ist das Potenzial an nichtlöslichen Verwitterungsresiduen gering und die Feinfraktion wird zum Großteil von außen eingetragen. Abbildung 7 veranschaulicht die unterschiedlichen Quellen von Feinsedimenten und die geomorphologischen Prozesse, durch die sie eingetragen werden.

Infiltrate bestehen aus feinen Sanden, Schluff und Ton, die durch Risse und Klüfte im Höhlendach eingewaschen werden. Sie entstammen den Böden und Sedimenten, die auf dem Höhlendach lagern. Löss und Terra Rossa können ebenso Bestandteile sein wie Nitrate oder andere organische und anorganische Minerale der Böden. Sie werden als Fracht des Regenwassers in die Höhlen eingewaschen. Die Bildung von Infiltraten ist abhängig von der Niederschlagsmenge und -intensität und der Temperatur (WOODWARD & BAILEY 2001, FORD 2001, COURTY & VALLVERDU 2001).

Materialien, die an Hängen oberhalb des Höhleneingangs lagern, können unter Einfluss der Gravitation in den Eingangsbereich von Höhlen gelangen (WHITE 2007). Voraussetzung für die Massenbewegung ist, dass der Wassergehalt der Poren hoch genug ist, um die Kohäsion des Materials herabzusetzen. Materialgemenge aus Grobschutt, Feinmaterial und Wasser fließen hangabwärts und akkumulieren am Hangfuß bzw. in den Höhleneingängen (ZEPP 2004, WILHELMY 1974, WEISE 1983). Im Akkumulationsbereich entstehen Bodenwülste und Schluffhalbmonde und, ab einer Hangneigung von 6°, Steinstreifen (WILHELMY 1974). Man unterscheidet nach der Fließgeschwindigkeit zwischen der sehr langsam ablaufenden Solifluktion und den schnelleren Murgängen. Je höher der Wassergehalt, desto schneller fließt der Schutt. Häufig treten Murgänge und Solifluktion nach heftigen Regenfällen auf, aber auch Erdbeben können als Auslöser in Betracht gezogen werden (ZEPP 2004). Der Unterschied zwischen gebundener und ungebundener Solifluktion ist auch für die klimatische Interpretation von Bedeutung. Gebundene Solifluktion findet in Tundren-Gebieten statt, in denen eine Vegetationsbedeckung die Massenbewegung be-

hindert und Stufen und Loben entstehen. Ungebundene oder freie Solifluktion findet man in der Frostschuttzone, die frei von Vegetation ist (MARTIN et al 2002, WEISE 1983).

Solifluktion wird häufig synonym mit dem Begriff Gelifluktion bzw. Kongelifluktion für Massenbewegungen in periglazialen Gebieten verwendet. Bei der Gelifluktion gleitet der wassergesättigte, aufgetaute Boden in Periglazialgebieten auf dem noch gefrorenen Untergrund bergab (MARTIN et al. 2002, ZEPP 2004, WHITE 2007, WEISE 1983).

Kammeissolifluktion oder Frostkriechen ist ebenfalls ein Prozess periglazialer Klimate. Infolge von Frosthub bzw. Kammeis werden Sediment- und Bodenpartikel auf Hängen senkrecht zur Oberfläche angehoben und senkrecht zur Horizontalen wieder abgesetzt. Die Effektivität von Frostkriechen ist besonders hoch bei häufigen Frostwechseln, tiefem Eindringen des Frostes in den Boden, hohem Hanggefälle, hoher Bodenfeuchte und hoher Frostanfälligkeit des Bodens (WEISE 1983).

2.6.2 Erosion, Transport und Sedimentation durch Strömungen

Durch Wind in die Höhle eingeblasene Sedimente sind durch ihre charakteristische Struktur diagnostizierbar. Die maximal transportierte Korngröße ist abhängig von der Windgeschwindigkeit. Je nach Distanz sind die so entstehenden Sedimente sehr gut nach Korngrößen sortiert. Bei hohen Windgeschwindigkeiten werden Sandpartikel durch Saltation transportiert. Sand- und Kiespartikel werden bei mäßigen Strömungen als Bedload rollend und kriechend fortbewegt und Tone sind schon bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten als Suspensionsfracht in Bewegung.

Bei einem trockenen Klimaregime kommt es zur Dezimierung der schützenden Vegetationsbedeckung und die Sedimente und Bodenpartikel können durch Wind abgetragen werden. Häufig geht damit auch eine Veränderung des Windregimes einher. Auch durch Feuer kann die Vegetationsbedeckung ganz oder teilweise vernichtet werden. Äolische Sedimente können unter Umständen sehr weite Distanzen zurückgelegt haben (MARTIN et al. 2002, WOODWARD & BAILEY 2000, COURTY & VALLVERDU 2001). Aber auch in Höhlen sind Windströme messbar. Sie können zum Beispiel durch Druckschwankungen außerhalb der Höhle, durch den Antrieb fließenden Wassers, durch den Rückstoß von Luft aus großen Kammern, durch den Einfluss exogener Witterungsverhältnisse oder durch einen Luftvolumenunterschied, bei Flutung einer Höhle entstehen (Wigley & Brown 1976).

Fluviale Akkumulationen können durch endogene Karstströme entstehen oder durch exogene Flüsse, zum Beispiel bei Abris die durch die unterschneidende Wirkung von Flüssen entstanden sind. Bei endogenen Karstflüssen muss unterschieden werden zwischen effluenten und influenten Flüssen. Bei influenten Flüssen gerät das Wasser durch Schlucklöcher in die Höhle und enthält allochthone Sedimentfracht (WARWICK 1976). Die mineralische Zusammensetzung der Sedimentfracht exogener Flüsse ist abhängig von der Geologie der Höhlenumgebung. Die Verwitterungsart, die maßgeblich von klimatischen Bedingungen bestimmt wird, sowie die Stärke der Strömung beeinflussen die resultierende Form und Größe der Partikel (FORD 2001).

Wie die äolischen Prozesse ist auch der Transport mit Wasser korngößenselektiv in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit. Änderungen des Flussregimes spiegeln sich in einer veränderten Korngrößenverteilung wider. Das Flussregime kann zum einen durch

Änderungen der Flussbettgeometrie variieren, wodurch keine klimatischen Fluktuationen indiziert werden. Zum anderen kann die durchströmende Wassermenge schwanken, was eine Veränderung des hygrischen Regimes implizieren würde. Die Fließgeschwindigkeit ist auch maßgebend für die zurückbleibende Schichtstruktur. Bei langsamen Geschwindigkeiten bilden sich parallele, gut sortierte Schichten mit groben Sedimenten im unteren Bereich, die sich als erstes bei langsamer werdenden Strömungen absetzen. Feine Sedimente, die auch bei geringen Fließgeschwindigkeiten noch in Suspension verweilen, bilden die obere abschließende Schicht (FORD 2001). Bei höheren Geschwindigkeiten bilden sich Rippel und Dünen. Sie sind später im Aufschluss gut an der charakteristischen Kreuzschichtung zu erkennen.

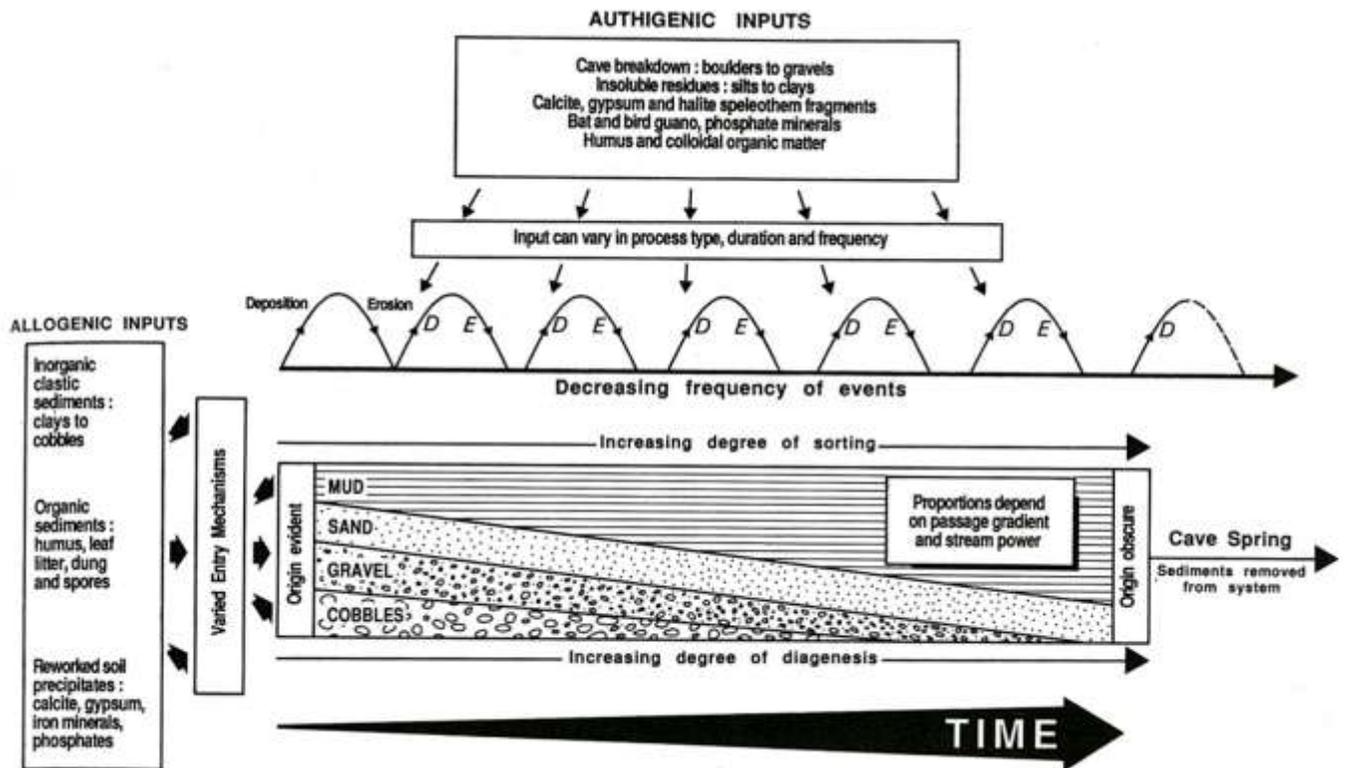


Abbildung 8 Höhlensediment-beeinflussende Prozesse im Verhältnis zur Zeit (GILLIESON 1996: 149)

Strömungen können sowohl erosive als auch akkumulierende Wirkung haben. Fluvial akkumulierte feine Sedimente werden immer wieder von der Strömung aufgenommen und andernorts abgelagert. Große Blöcke bleiben in der Regel, einmal abgelagert, an Ort und Stelle liegen und werden nur bei Flutereignissen wieder erodiert. Sie können als natürliche Barriere die Fließgeschwindigkeit der Strömung herabsetzen. In Folge dessen setzen sich um sie herum feinere Sedimente ab (FORD 2001).

Bei ihrem Transport verlieren die Partikel durch mechanische Zerkleinerung und Sortierung in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit immer weiter an Volumen, sodass am Ende einer Strömung schließlich nur noch feine Tone übrigbleiben. Abbildung 8 veranschaulicht diesen Prozess (GILLIESON 1996).

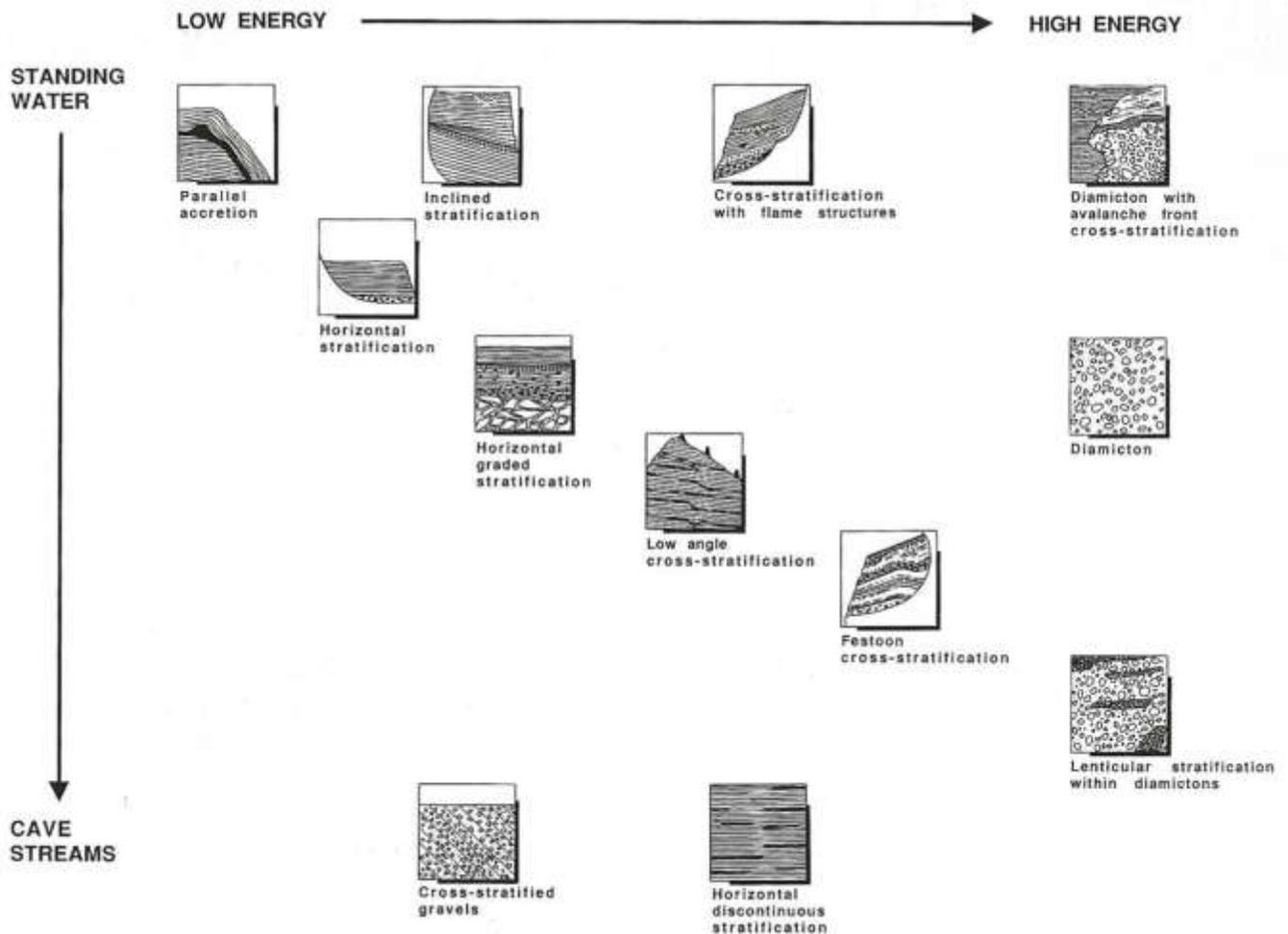


Abbildung 9 Fluviale Ablagerungsformen im Verhältnis zur Ablagerungsenergie und Strömungsbettmorphologie (GILLIESON 1996: 159)

In Höhlen, die sich in direkter Nähe zur Küste oder zu Seen befinden, können litorale Sedimente der Sand- und Kiesfraktion gefunden werden. Sie implizieren klimatisch bedingte Schwankungen des Wasserspiegels, wobei der Wasserkörper den Höhleneingang erreicht haben muss. Litorale Sedimente können jedoch auch nach dem Trockenfallen des Gewässerbetts äolisch in die Höhle eingetragen werden. In diesem Fall muss der Wasserspiegel das Niveau des Höhleneingangs nicht erreichen. Sedimente dieses Ursprungs sind sehr gut gerundet und weisen eine polymodale Korngrößenverteilung auf (WOODWARD & BAILEY 2000).

2.6.3 Chemische Deposition

Die Entstehung von Travertin erfolgt durch Ausfällung von Calciumcarbonat aus calciumgesättigten, wässrigen Lösungen in Folge von Druckverlust. Wie bereits in Kapitel 2.4.2 beschrieben, wird die Löslichkeit von Calciumkarbonat mit steigendem CO_2 -Gehalt erhöht (GILLIESON 1996). Die in Tabelle 1 abgebildete Prozessgleichung führt in umgekehrter Reihenfolge zur Ausfällung von Karbonat. Beim Austreten aus der Höhlendecke gibt die CaCO_3 -reiche Lösung CO_2 an die Atmosphäre ab und kann weniger Calcium in Lösung

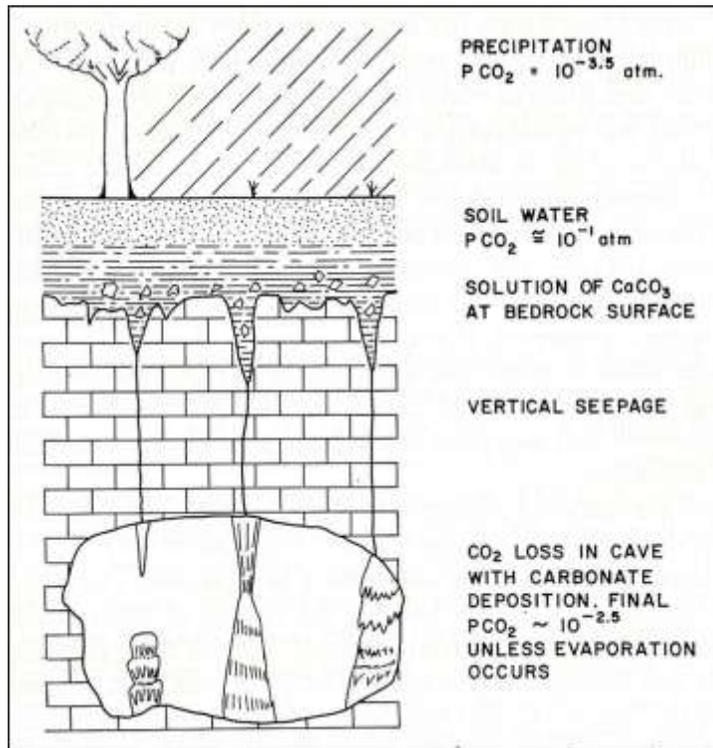


Abbildung 10 Travertinablagerungen in Höhlen (WHITE 1976: 279 nach HOLLAND et al. 1964)

greift wie oben schon angedeutet nicht nur die Höhlenwände und -decke an, sondern wirkt auch auf bereits abgelagerte Sedimente. Große Blöcke werden durch Kryoklastik oder Hydratation weiter zerkleinert. Dies kann auch zu einem späteren Zeitpunkt nach dem Herabfallen geschehen und muss nicht zwangsläufig dem gleichen Prozess zugrunde liegen, der zur Lösung aus der Decke geführt hat. Da der Unterschied zwischen Sedimenten, die durch Kryoklastik entstanden sind, zu Sedimenten, welche durch Hydratation entstanden sind, nicht ohne weiteres sichtbar ist, müssen weitere Parameter herangezogen werden, um klimainterpretative Aussagen machen zu können. Hierzu kann die Architektur der Schicht hilfreich sein. Häufige Frostwechsel führen auch zum wiederholten Auf- und Abtauen der abgelagerten Sedimente. Dadurch kommt es zu charakteristischen Verformungen, die im Profil als stark deformierte, verwürgte Schichten zu erkennen sind.

Das Maß der chemischen Verwitterung wird stark beeinflusst durch die klimatischen Bedingungen. Das Klima in Höhlen ist im Hinblick auf Feuchtigkeit und Temperaturen nahezu konstant. Klimaänderungen außerhalb der Höhle spiegeln sich im Inneren in schwächerem Maß und über einen längeren Zeitraum. Dieser Effekt nimmt zu, je weiter man in die Höhle

halten. Dabei bilden sich Stalaktiten. Trifft ein Tropfen der Lösung auf dem Boden auf, wird beim Aufprall erneut CO_2 abgegeben und Stalagmiten bilden sich. Voraussetzung für die Bildung von Travertin ist die Verfügbarkeit von Wasser (COURTY & VALLVERDU 2001). Mit zunehmender Temperatur steigt die Ausfällungsrate der Calciumionen, da der CO_2 -Gehalt des Wassers dadurch gesenkt wird (WHITE 1976).

2.6.4 Modifizierung von Sedimenten nach der Ablagerung

Auch Prozesse, die nach der Ablagerung auf das Sediment wirken, hinterlassen sichtbare Spuren mit klimatischer Indikation. Physikalische Verwitterung

vordringt (WIGLEY & BROWN 1976). Die Eingangsbereiche der Höhle, die für diese Arbeit von besonderem Interesse sind, bilden Übergangsräume, die sowohl unter dem Einfluss von äußeren, als auch von höhleninternen Faktoren stehen. Chemische Verwitterung führt bei hoher Intensität zum Abbau der Minerale, zur Neubildung von Tonmineralen und geht fließend über in die Bildung von Bodenhorizonten. GOLDBERG & MACPHAIL (2006) schließen zwar die Bildung von Böden in Höhlen aus, dennoch werden in der Literatur häufig pedologische Termini zur Beschreibung von Höhlensedimenten genutzt (BUTZER 1981, COURTY & VALLVERDU 2001). Streng genommen bedarf es zur Bildung von Bodenhorizonten dem Einfluss von Flora und Fauna sowie atmosphärischer Faktoren, wie Sonnenenergie und Niederschlag, die in Höhlen nicht in der Form wirken können wie unter freiem Himmel (MARTIN et al. 2002). Im Eingangsbereich von Höhlen und in Abris kann es aber, unterstützt durch den Eintrag allochthonen organischen Materials (Infiltration oder Kolluvien) und milder klimatischer Bedingungen, durchaus ansatzweise zur Bodengenese kommen.

2.7 Analyse von Höhlensedimenten im Feld und im Labor

Eine umfassende Sedimentanalyse beginnt bereits vor Ort. Hier werden die Anordnung der Sedimente in Schichten, deren Mächtigkeit, Form und Grenzen und ihre Eigenschaften in Relation zu angrenzenden Sedimentschichten und zur Höhlenumgebung detailliert beobachtet und aufgezeichnet (FARRAND 2001, FAO 2006a). Die sorgfältige Erfassung dieser Eigenschaften vor Ort ist elementar, um eine umfassende Analyse des Ablagerungsmilieus zu gewährleisten (COLLCUTT 1979). Jede Höhle ist einzigartig in ihrer geologischen Struktur und Größe, im Kontext der Umgebung, bezüglich der internen Karstaktivität, in ihrer geographischen Ausrichtung und Lage. Dementsprechend einzigartig ist auch die Art der Sedimentakkumulation und der Prozesse jeder Höhle, die nach der Ablagerung stattfinden (FARRAND 2001). Diesen Gesamtkontext zu erfassen ist deshalb so wichtig, weil er für die Interpretation der Sedimentgenese unerlässlich ist. Eigenschaften der Schichtung, Laminierung und die Schärfe der Schichtgrenzen lassen sich nur im Aufschluss erfassen und sind für die Rekonstruktion der Transportart von größter Bedeutung (FARRAND 2001).

Die Arbeit im Labor beginnt mit einer makroskopischen Annäherung an das Sediment. Farbe, Korngröße, Sortierung sowie Form und Rundung der Kies- und Steinfraktion werden zunächst erfasst (FARRAND 2001). Die mineralische Zusammensetzung wird im Hinblick auf den Kalziumkarbonat- und Phosphatgehalt sowie auf organische Substanzen untersucht (FARRAND 2001). Unter dem Mikroskop kann der Schwermineralgehalt nachgewiesen und die Form und Rundung von Sandkörnern bestimmt werden (FARRAND 2001).

Von nicht geringer Bedeutung sind mikromorphologische Untersuchungen. Dabei werden in Kunstharz gehärtete Sedimente in mikrometerdünne Platten geschnitten und anschließend unter dem Mikroskop untersucht. Die natürliche Anordnung der Partikel bleibt so erhalten (FARRAND 2001, COURTY et al. 1989).

3. Konzeption einer Datenbank über Sedimente archäologischer Fundstellen

Im Rahmen dieser Arbeit ist für die Mitglieder des SFB 806 eine Datenbank entwickelt worden, mit deren Hilfe die großen Mengen an Literatur verwaltet werden können, die im Laufe der Zeit über archäologische Fundstellen auf der IH angesammelt wurden. Durch die Datenbank wird eine einheitliche Datenbasis für die Mitglieder des SFB 806 geschaffen. Außerdem werden die Daten so aufbereitet, dass eine Vergleichbarkeit - auch quellenübergreifend - möglich wird. Durch statistische Analysen und die Integration der Datenbank in ein GIS, kann so die Forschungsarbeit des SFB 806 unterstützt werden.

3.1 Projektrahmen: SFB 806 „Our Way To Europe“, Cluster C1

Der Sonderforschungsbereich 806 „Our Way To Europe“ hat zum Ziel, die Geschichte der Menschheit mit einem interdisziplinären Ansatz zu erforschen. Ein Forschungsteam aus Geowissenschaftlern und Archäologen soll es ermöglichen, Populationsbewegungen und Dispersionsprozesse im Hinblick auf Wissen, Techniken, Kulturen und gesellschaftliches Verhalten zu durchleuchten. Die Mobilität der Ur- und Frühmenschen wurde maßgeblich durch Klima- und Umweltveränderungen angetrieben. Neue Daten sollen zur Rekonstruktion der äußeren Umstände und des Wanderungsverhaltens der Menschen beitragen, insbesondere zur Migration des anatomisch modernen Menschen von Afrika nach Europa. Zeitlich umfasst der SFB die letzten 190.000 Jahre vom Ende der Saale-Kaltzeit über das Eem-Interglazial und das Weichsel-Glazial bis zum Holozän (WENIGER & REICHERTER 2009).

Das C1-Cluster als Teil des SFB 806 fokussiert räumlich die Iberische Halbinsel, die über eine herausragende Anzahl archäologischer Fundstellen verfügt. Den zeitlichen Rahmen bildet der Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum. Dieser Übergang ist durch die Verdrängung des Neandertalers durch den anatomisch modernen Menschen gekennzeichnet, die in Europa zwischen 45.000 und 25.000 Jahren vor Heute, also im Hochglazial (siehe Abb.2) stattgefunden hat. Gründe für regionale Unterschiede im Zeitpunkt der Ausbreitung des anatomisch modernen Menschen werden in der Wissenschaft scharf diskutiert. Von zunehmender Bedeutung in dieser Debatte ist der Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Umwelt und die Menschen. Im Rahmen des SFB 806 führen die Mitglieder des C1-Clusters neue Analysen an Artefakten und Sedimenten von bedeutenden Fundstellen auf der IH durch und stellen Daten zu den Umweltbedingungen aus einem reichhaltigen Literaturfundus zusammen (WENIGER & REICHERTER 2009). Dieses große Literaturangebot stellt zugleich die Datengrundlage für das hier vorgestellte Datenbankkonzept dar.

Einbettung in die archäologische Datenbank des C1-Clusters

Während der Projektlaufzeit des SFB 806 ist die Notwendigkeit einer Datenbank deutlich geworden, mit der die Verwaltung und Analyse der angesammelten Literatur vereinfacht werden kann. Von Promovenden des C1-Clusters wurde bereits eine Datenbank mit archäologischem Schwerpunkt in MS Access erstellt. Diese ermöglicht die Erfassung archä-

ologischer Fundstellen, deren Fundschichten und diverse Informationen zu den jeweiligen Artefaktgruppen. Diese Daten erlauben verschiedene, weitreichende Analysemethoden; darunter sowohl großräumige GIS-Analysen zur Fundstellenverteilung, als auch die statistische Auswertung der Fundplatz-internen Inventarzusammensetzung

Wie oben bereits erwähnt wurde, ist für die archäologische Forschung von wachsendem Interesse, unter welchen klimatischen Bedingungen die menschliche Entwicklung im Paläolithikum stattgefunden hat. Zu diesem Zweck sollte die archäologische Datenbank um einen sedimentologischen Teil erweitert werden. Denn durch die Interpretation der Sedimentationsprozesse an den verschiedenen Fundstellen ist es möglich die Umweltbedingungen zu rekonstruieren. Dazu müssen selbstverständlich die speziellen Sedimentationsbedingungen in Höhlen und Abris berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3 und 2.6).

In Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des C1-Clusters wurde deshalb eine Datenbank entwickelt, welche die Erfassung und Verwaltung der vorhandenen Literatur über Sedimente archäologischer Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel (siehe Anhang I) ermöglicht. Durch die Aufbereitung der Daten wird zudem ein Vergleich zwischen den Analysen der verschiedenen Autoren möglich. Die übersichtliche tabellarische Darstellung der Werte vereinfacht die Analyse und ermöglicht statistische Auswertungen und die Übertragung der Daten in ein GIS. Das vorgestellte Datenbankkonzept wurde nicht nur für bereits bestehende Sedimentauswertungen entwickelt, sondern soll auch den Ergebnissen zukünftiger Forschungskampagnen gerecht werden.

Eine clusterübergreifende Datenbank für den SFB 806 wird derzeit entwickelt. Diese wird auch über das Internet abzurufen sein und Web-GIS Anwendungen ermöglichen. Eine Integration der sedimentologischen Datenbank in diese SFB-Datenbank ist für die Zukunft möglich und wünschenswert.

3.2 Anforderungen an Datenbanksysteme

Ein Datenbanksystem oder Database Management System (DBMS) dient der Verwaltung und Speicherung von Daten. Es besteht aus einer Sammlung von Daten - einer Datenbank – und einer Reihe von Programmen, die der Herstellung und Verwaltung der Daten dienen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005, KEMPER & EICKLER 2009).

Datenbanksysteme stellen sicher, dass keine redundanten Daten gespeichert werden. Das heißt, dass Daten nicht doppelt gespeichert werden, sondern nur einmal in einer zentralen Datenbank vorliegen (siehe Abbildung 11). Dadurch wird das Datenvolumen gering gehalten. Gleichzeitig kann gewährleistet werden, dass Änderungen an Daten konsistent und ohne großen Aufwand für alle Anwender übernommen werden, da sie nur an einer Stelle in der Datenbank geändert werden müssen. So wird sichergestellt, dass alle Anwender auf eine einheitliche Datenbasis zugreifen können (KLEINSCHMIDT & RANK 2005).

Unterschiedlichen Anwendern können spezifische Rechte zugeteilt werden. Bestimmte Nutzergruppen können dann mit Programmen ausgewählte Daten gar nicht abrufen, Daten nur lesen oder lesen und modifizieren. Dadurch wird auch dem Datenschutz Rechnung getragen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005, KEMPER & EICKLER 2009).

Da die Anwenderseite und die Verwaltungskomponente nicht miteinander gekoppelt sind, ist der Programmieraufwand bei Benutzung eines DBMS geringer und die Datensicherheit höher (MEIER 2010, KLEINSCHMIDT & RANK 2005, KEMPER & EICKLER 2009).

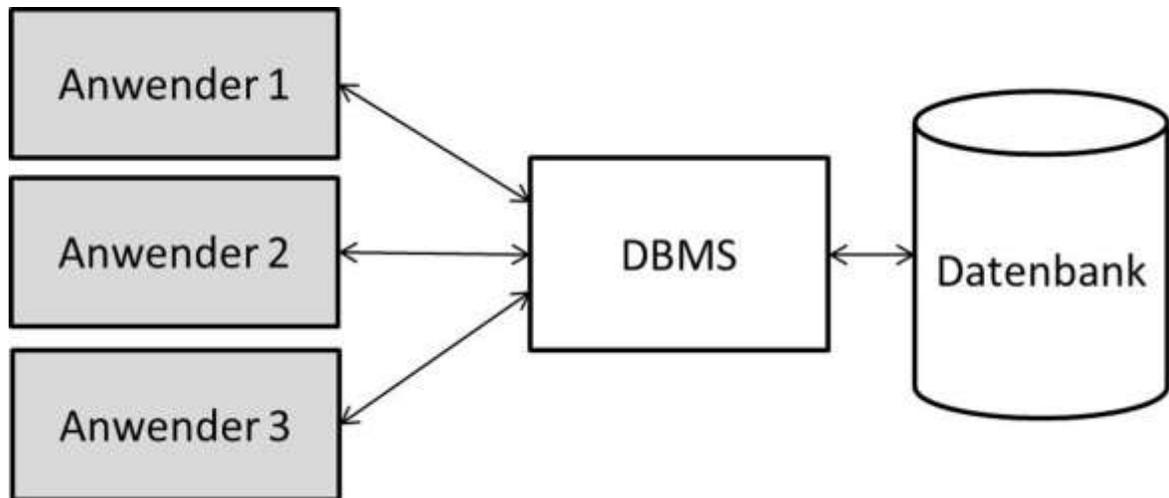


Abbildung 11 Zugriff auf Daten durch ein DBMS (Eigene Abbildung nach KLEINSCHMIDT & RANK 2005)

Um die oben genannten Vorteile eines DBMS sicherzustellen, ist die Einhaltung einiger Bedingungen erforderlich. Daten müssen erstellt, verändert und gelöscht werden können (Manipulierbarkeit) und sollen nicht doppelt vorliegen (Redundanzfreiheit). Eine kontrollierte Redundanz ist jedoch manchmal notwendig, um die logische Beziehung zwischen den Daten deutlich zu machen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005).

Die Daten sollen für verschiedene Bereiche angewendet werden können (universelle Verwendbarkeit). Die inhaltliche Bedeutung der Daten und ihrer Zusammenhänge sollen in ihrer Darstellung transparent und nutzbar sein (funktionale Integration), um die Benutzerfreundlichkeit sicherzustellen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005).

Die Funktionsfähigkeit der Datenbank wird durch vollständige und semantisch korrekte Daten gewährleistet (Datenintegrität) (KLEINSCHMIDT & RANK 2005, KEMPER & EICKLER 2009). Um die Integrität der Daten herzustellen und zu wahren, können Datentypen und Wertebereiche definiert werden (siehe Kapitel 3.6). So kann zum Beispiel für das Merkmal *Altitude (m)* der Datentyp *„Zahl“* mit einem Wertebereich von 0 bis 4.000 festgelegt werden. Der höchste Punkt der Iberischen Halbinsel ist der *Mulhacén* mit 3.479m (Breuer 2008). Bei Eingabe eines Werts außerhalb des Wertebereichs würde eine Fehlermeldung angezeigt werden.

Die Struktur der Daten sollte später noch für den Fall verändert werden können, dass sich der Datentyp oder der Wertebereich verändert (Strukturflexibilität) (KLEINSCHMIDT & RANK 2005). So könnte zum Beispiel durch den Einbezug anderer Cluster des SFB die Forschungsregion von der IH auf weitere Teile Europas und Nordafrikas ausgeweitet werden. Dadurch würde ein größerer Wertebereich für das Merkmal *Altitude* erforderlich. Außerdem sollte die Erweiterung einer Entitätsmenge um ein neues Merkmal möglich sein sowie das Hinzufügen neuer Entitätsmengen.

Um einen effektiven Ablauf zu gewährleisten, soll die Datenbank von mehreren Anwendern gleichzeitig genutzt werden können (Mehrbenutzerbetrieb). Dazu muss sichergestellt sein, dass im Falle der gleichzeitigen Änderung einer Eingabe durch zwei Benutzer die Änderungen nicht verloren gehen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005).

Die hier aufgeführten Forderungen an Datenbanken sind nicht vollständig und müssen nicht in Gänze auf jedes DBMS zutreffen (KLEINSCHMIDT & RANK 2005).

3.3 Von der Datenanalyse zum Datenbankschema

Bei der Konstruktion einer relationalen Datenbank sind drei Schritte notwendig:

1. Die Analyse der Daten, auch Anforderungsanalyse genannt,
2. die Bildung von Entitäts- (Datenklassen, Objekten) und Beziehungsmengen und deren Darstellung in einem Entitäten-Beziehungsmodell
3. und die Überführung des Entitäten-Beziehungsmodells in ein relationales Datenbankschema.

Diese Schritte werden in den folgenden Unterkapiteln detailliert behandelt (MEIER 2010, KEMPER & EICKLER 2009).

3.3.1 Datenanalyse

Zur Datenanalyse zählen die klare Formulierung eines Ziels sowie die Erfassung aller wichtigen Informationssachverhalte, die in enger Zusammenarbeit mit dem Anwender erarbeitet werden (MEIER 2010, KEMPER & EICKLER 2009).

Bedarfsanalyse mit den Mitgliedern des C1-Clusters

<p>Relevante Informationssachverhalte:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sitebezogene Angaben: Informationen über die Sites• Schichtbezogene Angaben: Informationen über die Sedimente der geologischen/pedologischen Schichten• Informationen zur klimatischen Interpretation der Sedimentgenese• Literatur• Informationen zum Inhalt der Literatur <p>Anwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Kartographische Darstellung• GIS-Anwendungen• Allgemeine/Statistische Datenanalysen
--

In Gesprächen mit den Mitgliedern des C1-Clusters wurden die relevanten Informationssachverhalte herausgearbeitet, die in der Datenbank enthalten sein sollten. Gewünscht waren die Aufnahme sowohl sitebezogener Angaben, also Informationen zu den einzelnen Höhlenfundstellen, als auch schichtbezogener Angaben, wie die Beschreibung der Sedimente jeder einzelnen Schicht und Hinweise zur klimatischen Interpretation der Sedimentgenese. Ergänzend musste die Literatur aufgeführt werden, der die jeweiligen Informationen

Abbildung 12 Liste der relevanten Informationssachverhalte und Anwendungen als Ergebnis der Datenanalyse (Eigene Abbildung)

entnommen wurden. Das erfordert das deutsche Urheberrecht und vereinfacht darüber hinaus vertiefende Recherchen. Zusätzlich wurden Informationen zum Inhalt der jeweiligen Literatur gefordert. Dadurch sollte eine Recherche nach speziellen Informationen erleichtert werden (Abbildung 12).

Die Datenbank soll es ermöglichen, Anwendungen zur räumlichen Analyse mit GIS durchzuführen, kartographische Darstellungen anzufertigen und allgemeine bzw. statistische Datenanalysen auszuführen (siehe dazu auch Kapitel 4 und Abbildung 12).

Um auch nicht-deutschsprachigen Wissenschaftlern die Benutzung der Datenbank zu ermöglichen, wurde die Datenbank in englischer Sprache erfasst.

Auswahl der Sites

Tabelle 4 Auszug aus der Datenbank Tabelle 'Sites' (Auszug aus Datenbank)

Ausgewählte Sites			
Name	Altitude(m)	Site Type	Geology
Abric Romani	310	ROC	Travertine
Arbreda, Cueva de L'	200	CAV	Pleistocene Limestone
Bajondillo, El	20	CAV	Travertine
Beneito, Cueva	680	CAV	dolomías grises
Boquete de Zafarraya, Cueva	1022	CAV	calcaire
Carigüela, Cueva de la	1020	CAV	lower jurassic limestones
Castillo, El	190	CAV	white compact and massive-bedded Liassic Limestones
Gorham's cave	14	CAV	manifestación karstica sobre sustrato liásico
Jarama VI	25	CAV	upper cretaceous dolomite and limestone
Lezetxiki	345	CAV	Weald Calizas Arrezcifales (= Riffkalk)
Nerja, Cueva de	158	CAV	triassic recrystallised dolomitic marbles
Morín, Cueva	65	CAV	folded Aptian (Cretaceous) Limestone
Vale Boi	280	ROC	
CAV = Cave, ROC = Rockshelter			

Die Struktur der Datenbank wurde sukzessive anhand der Literatur von 13 ausgewählten Sites erstellt (Literaturliste in Anhang I). Cueva Morin und El Castillo in Kantabrien, Letztxiki im Baskenland, Abric Romani und Cueva de l'Arbreda in Katalonien, Cueva Beneito in der Comunidad Valenciana, Jarama VI in der Comunidad Madrid, Cueva de Nerja, Cueva de la Carigüela, Cueva Boquete de Zafarraya und El Bajondillo in Andalusien, Gorham's Cave in Gibraltar und Vale Boi in Portugal.

Abbildung 13 veranschaulicht die räumliche Verteilung und die Höhenlage der ausgewählten Fundstellen. Elf der bearbeiteten Fundstellen sind Höhlen und zwei sind Abris. Alle 13 Sites befinden sich in Gebieten mit kalkhaltigem geologischem Untergrund (Tabelle 4).

Bei der Auswahl der Sites wurde Wert auf eine ausgeglichene räumliche Verteilung gelegt. Fundstellen, sowohl nördlich als auch südlich des Ebro Beckens, an der Ost- bzw. Westküste sowie eine im Zentrum der IH, sind vertreten. Das Ebro-Becken gilt als natürliche Grenze im Diskurs um die Dispersion des anatomisch modernen Menschen (WENIGER et al. 2009).

Von besonderer Bedeutung war, dass es sich um Sites handelt, die über möglichst umfassende archäologische Sequenzen verfügen. Insbesondere die Marinen Isotopen Stadien 3 und 2 (Abbildung 2) sollten in der Sedimentabfolge enthalten sein, da in diesem Zeitfenster der Übergang vom Neandertaler zum anatomisch modernen Menschen stattgefunden hat (Weniger et al 2009).

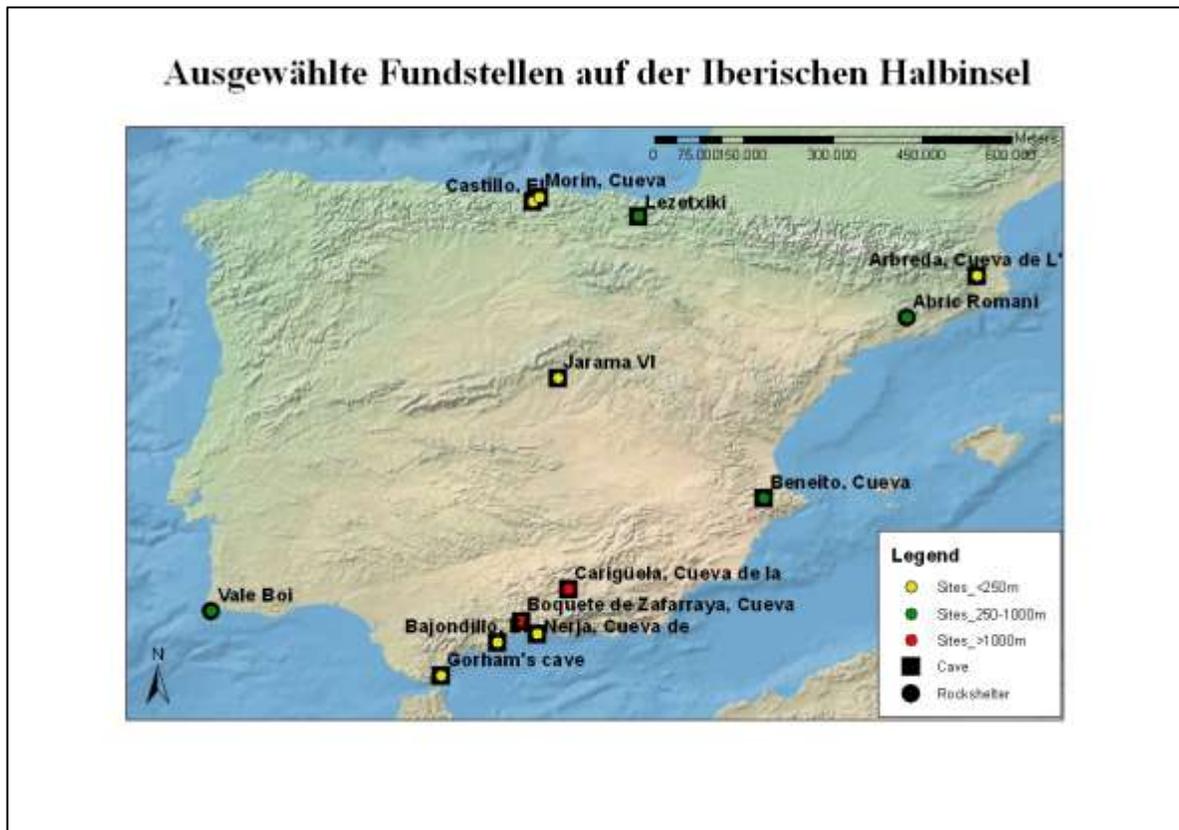


Abbildung 13 Räumliche Verteilung und Höhe über NN der ausgewählten Sites (Eigene Abbildung)

Analyse der Literatur

Die in Anhang I aufgelistete Literatur wurde zum Teil von den Mitgliedern des C1-Clusters zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden weitere Arbeiten über das Bibliotheksnetzwerk der Universitäts- und Stadtbibliothek Köln (USB) und in der Bibliothek des Neanderthaler-museums in Mettmann gesammelt. Recherchiert wurde nach wissenschaftlichen Arbeiten zu den 13 ausgewählten Fundstellen, die eine Beschreibung und Analyse der Höhlensedimente beinhalten. Die Darstellung der Sedimentbeschreibung und-interpretation in den Arbeiten sollte für jede Sedimentschicht einzeln enthalten sein.

Bei einem Großteil der vorliegenden Arbeiten (Anhang I) liegt der Fokus auf der Analyse der in den Sedimenten enthaltenen Pollen, insbesondere deren Datierung und klimatische Korrelation (CARRIÓN 1992a, 1992b, CARRIÓN et al. 1997, 1998, 1999, 2008, FERNANDÉZ et al. 2007, FINALYSON et al. 2008, AURA TORTOSA et al 2002). Das Sediment selbst wird in diesen Arbeiten meist nur rudimentär behandelt.

Sedimentologen liefern Arbeiten zur Sedimentanalyse in sehr unterschiedlichem Umfang und mit differierenden Methoden. BUTZER (1981) beschreibt die Sedimente der Höhlen Kantabriens beispielsweise sehr detailliert. Seine Analyse beinhaltet Parameter zur Struktur, wie Schichtmächtigkeit, -geometrie und -untergrenze sowie zur Textur der Feinsedimente (Korngröße, Sortierung, Skewness und Kurtosis). Darüber hinaus werden die Farbe der Feinfraktion sowie die Form, Rundung, Größe und der Zustand der Grobfraktion ermittelt. Mineralablagerungen und Konkretionen werden ebenso erfasst wie Besonderheiten jeder Schicht, ergänzt durch eine Profilzeichnung. Eine klimatische Interpretation und sporadische Datierungen der Sedimentschichten bzw. Zuordnung zu einem Technokomplex komplettieren seine Arbeit.

Im Kontrast dazu halten viele andere Autoren die Sedimentbeschreibung kurz und beschränken sich dabei auf die Angabe der Korngröße und -farbe sowie eine kurze Beschreibung der Grobfraktion.

Einige wenige Autoren greifen bei der Analyse auf mikromorphologische Methoden zurück, wodurch ihre Arbeiten nicht ohne weiteres vergleichbar mit herkömmlichen Sedimentbeschreibungen sind (ARTEAGA et al. 2001, BERGADÁ et al 2005, CORTÉZ-SÁNCHEZ et al 2008). Ihre Integration in eine sedimentologische Datenbank ist daher schwierig, aufgrund der enthaltenen klimatischen Interpretationen jedoch wünschenswert.

Die geschilderte Heterogenität der Sedimentbeschreibungen beruht zum einen auf der Idiosynkrasie von Höhlen. Die Einflussfaktoren auf die Sedimentbildung in Höhlen setzen sich sehr unterschiedlich zusammen. Ihre Entstehung wird von einer Kombination komplexer Faktoren beeinflusst. Das Ausgangsgestein der Höhle spielt hier ebenso eine Rolle wie die Gestalt des Höhlenumfelds (siehe Kapitel 2.4, 2.5 und 2.6). Die Eigenarten jeder Höhle können daher nur schwer in einem einheitlichen Konzept beschrieben werden.

Erschwerend kommt hinzu, dass es keine einheitlichen Skalen zur Beschreibung von Sedimenteigenschaften gibt. Allein für die Einteilung der Korngrößenklassen wurden bei der Erarbeitung des Datenbankkonzepts sechs verschiedene Skalen berücksichtigt (siehe Anhang II). Dieses Problem besteht für beinahe alle Attribute der Sedimentbeschreibung und musste für die Vergleichbarkeit der Daten berücksichtigt werden.

Die Herausforderung bestand darin, die Vielfalt der unterschiedlichen Ansätze zur Sedi-
mentanalyse und Datenpräsentation in einen Konsens zu bringen. Dafür mussten die zum
Teil sehr heterogenen Werte der Literatur auf den kleinsten gemeinsamen Nenner ge-
bracht werden, um die Vergleichbarkeit überhaupt zu ermöglichen. Der Verlust von Infor-
mationen war dabei nicht immer auszuschließen, musste aber stellenweise in Kauf ge-
nommen werden, um eine funktionierende Datenbank zu entwickeln.

3.3.2 Erstellen eines Entitäten-Beziehungsmodells

- Sites
- Lit_Info
- Literature
- Profiles
- Lyr_Info
 - Lyr_Properties
 - Sed_Properties
 - Sed_Interpretation

Aufbauend auf die Gespräche mit den Mitglie-
dern des C1-Clusters und der Analyse der Lite-
ratur wurden die in Abbildung 14 dargestellten
relevanten Entitätsmengen abgegrenzt. Alle
Elemente der Datenbank (Entitätsmengen, Be-
ziehungsmengen, Attribute) werden im Fließtext
mit kursiver Formatierung gekennzeichnet.

Die Entitätsmenge *Sites* fasst grundlegende In-
formationen in einer Art Steckbrief zu den ein-
zelnen Fundstellen zusammen. Mit *Lit_Info* soll
die Essenz des Inhalts der vorliegenden Literatur

Abbildung 14 Entitätsmengen als Ergebnis der
Datenanalyse (Eigene Abbildung)

dargestellt werden. Darunter werden die Abgrenzung des im Artikel behandelten Zeitfen-
sters sowie die Auflistung der verwendeten Methoden zur Sedimentanalyse verstanden. Die
Entitätsmenge *Literature* enthält die Literaturangaben der Artikel. *Profiles* ist eine Liste der
einzelnen Sedimentaufschlüsse oder Profile, die an einer Site beschrieben wurden.

Lyr_Info ist die übergeordnete Entität für den schichtbezogenen Teil der Datenbank. Sie
enthält generelle Informationen zu den einzelnen Schichten (Layern) einer Site. Darunter
werden die vom Autor verwendete Kennzeichnung sowie das Alter verstanden.

Die drei untergeordneten Entitätsmengen bilden überlappend-vollständige Spezialisierun-
gen der Entität *Lyr_Info*. Das heißt: jede in *Lyr_Info* beschriebene Schicht ist in mindes-
tens einer der Subentitätsmengen wiederzufinden. In diesen werden Teilaspekte der
Schichten beschrieben: *Lyr_Properties* beschreibt den Aufbau der Schichten, also Form,
Mächtigkeit, usw. In *Sed_Properties* werden die Sedimente, welche die Schichten konsti-
tuieren, beschrieben und in *Sed_Interpretation* folgt schließlich die klimatische Interpretati-
on der Sedimente jeder Schicht. Eine detaillierte Darstellung der Inhalte jeder einzelnen
Entitätsmenge erfolgt in Kapitel 3.4.

Im nächsten Schritt wurden die Beziehungen unter den Entitätsmengen herausgearbeitet.
Dazu wurden sogenannte „Beziehungsmengen“ gebildet, die beschreiben, in welchem
Verhältnis die Entitätsmengen einander zugeordnet werden können (siehe dazu auch Ka-
pitel 3.5). Abbildung 15 veranschaulicht die Beziehungen der Entitätsmengen der sedi-
mentologischen Datenbank. Diese sind als Rhomben dargestellt, die Entitätsmengen als
Rechtecke. (MEIER 2010, KEMPER & EICKLER 2009). Die Subentitätsmengen der Entität
Lyr_Info sind in dieser Abbildung aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht enthalten. Jede
einzelne Subentität steht via *Lyr_Info* mit den anderen Entitäten in Verbindung.

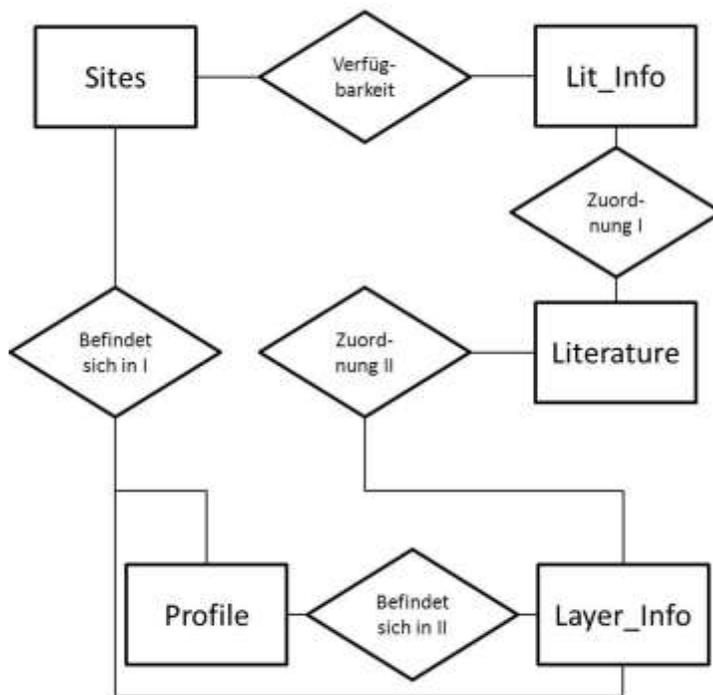


Abbildung 15 Entitäten-Beziehungsmodell (Eigene Abbildung nach MEIER 2010)

Die Beziehungsmenge *Verfügbarkeit* beschreibt den Zusammenhang zwischen den Entitätsmengen *Sites* und *Lit_Info*. Sie dient der Recherche nach vorhandener Literatur. Über die Beziehungsmenge *Verfügbarkeit* kann nach Literatur für eine spezifische Site recherchiert werden.

Über die Beziehungsmenge *Zuordnung I* wird die Verbindung zwischen den Tabellen *Lit_Info* und *Literature* hergestellt. Durch die Beziehungsmenge kann den recherchierten Inhalten der Literatur die exakte Quelle zugeordnet werden.

An jeder Fundstelle, die in der Tabelle *Sites* enthalten ist, können sich mehrere Profile (Tabelle *Profiles*) befinden. Die Beziehungsmenge *Befindet sich in I* beschreibt diesen Zusammenhang. Die Tabelle ordnet jeder Site alle zugehörigen Profile zu, die in der Literatur beschrieben wurden.

In der Tabelle *Lyr_Info* werden Informationen zu den Eigenschaften der Schichten gesammelt. Um herauszufinden, welcher Layer sich an welcher Site und in welchem Profil befindet, wird die Beziehungsmenge *Befindet sich in II* hergestellt.

Die Informationen, die in der Tabelle *Lyr_Info* gespeichert sind, beruhen auf den Angaben verschiedener Autoren. Der Bezug zur Quelle der Informationen wird durch die Beziehungsmenge *Zuordnung II* hergestellt.

3.3.3 Implementierung des relationalen Datenbankschemas

In der Implementationsphase wurde das Entitäten-Beziehungsmodell in ein relationales Datenbankschema überführt (KEMPER & EICKLER 2009). Das bedeutet, dass für jede Entitätsmenge eine eigenständige Tabelle mit einem eindeutigen Primärschlüssel und den beschreibenden Attributen erstellt wurde (MEIER 2010). Abbildung 16 zeigt exemplarisch das Tabellengerüst für die Entitätsmenge *Sites*. Ein solches Tabellengerüst wurde ebenfalls für alle anderen Entitätsmengen entwickelt.

Das Datenbankschema beschreibt die Struktur der abgespeicherten Datenobjekte. Es stellt somit einen Teil der Metadaten über die Datenbank dar. Nach seiner sorgfältigen Ausarbeitung und Erstellung wird das Datenbankschema nur selten modifiziert, da Änderungen drastische Auswirkungen auf die bereits abgespeicherten Datenobjekte haben können. Die Datenbankschemaausprägung hingegen bezeichnet den momentan gültigen Zustand der Datenbank und verändert sich mit jeder Änderung, Ergänzung oder Eliminierung von Datenobjekten (Kemper & Eickler 2009).

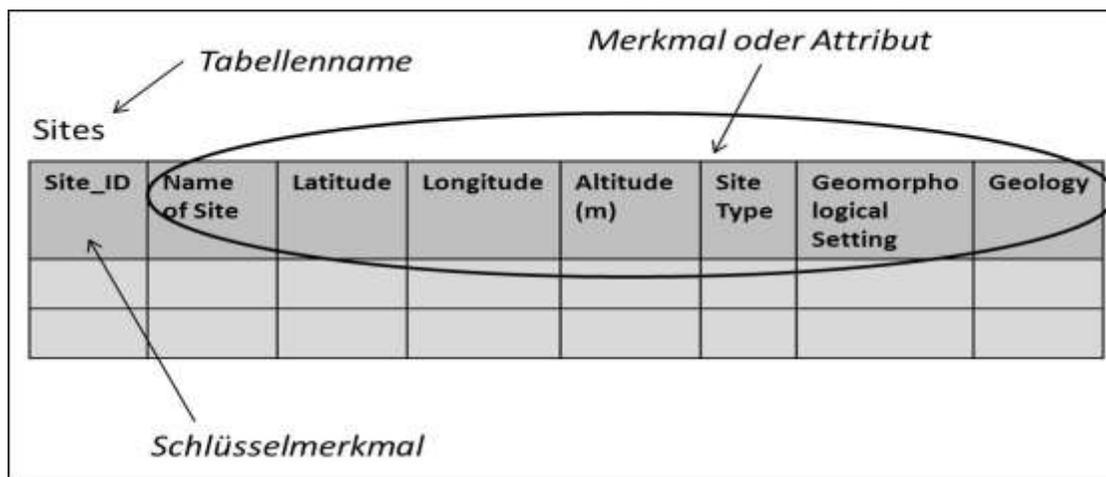


Abbildung 16 Tabellengerüst der Entitätsmenge „Sites“ (Eigene Abbildung nach MEIER 2010)

Die Attribute ordnen jedem Datensatz (Zeile oder Tupel) ein eindeutiges Merkmal aus einem vorgegebenen oder freien Wertebereich zu. Das Schlüsselmerkmal, welches der eindeutigen Identifikation jedes Datensatzes dient, wurde künstlich erstellt. Für Schlüsselmerkmale gelten die Prinzipien der Eindeutigkeit und der Minimalität. Das heißt konkret: jedes Schlüsselmerkmal darf nur für einen Datensatz verwendet werden (Eindeutigkeit). Besteht ein Schlüssel aus einer Merkmalskombination, also aus zwei oder mehr Attributen der Tabelle, so muss diese so minimal wie möglich sein (Minimalität) (MEIER 2010).

Die Vielzahl an unterschiedlichen Arbeiten mit differierenden Schwerpunkten erschwerte das Festlegen der Attribute, insbesondere für den layerbezogenen Teil der Datenbank (siehe Kapitel 3.3.2). Die Beschreibung der Sedimente (Tabelle *Sed_Properties*) wurde von Autor zu Autor mit variierender Intensität und mithilfe unterschiedlicher Parameter vollzogen. Die Aufnahme all dieser Parameter als Attribut in die Tabelle hätte jedoch zu Unübersichtlichkeit geführt. Deshalb wurde entschieden, sedimentbeschreibende Parameter wie zum Beispiel Skewness und Kurtosis (BUTZER 1981), die nur selten von den Autoren verwendet wurden, nicht in die Tabelle aufzunehmen. Der dadurch entstandene

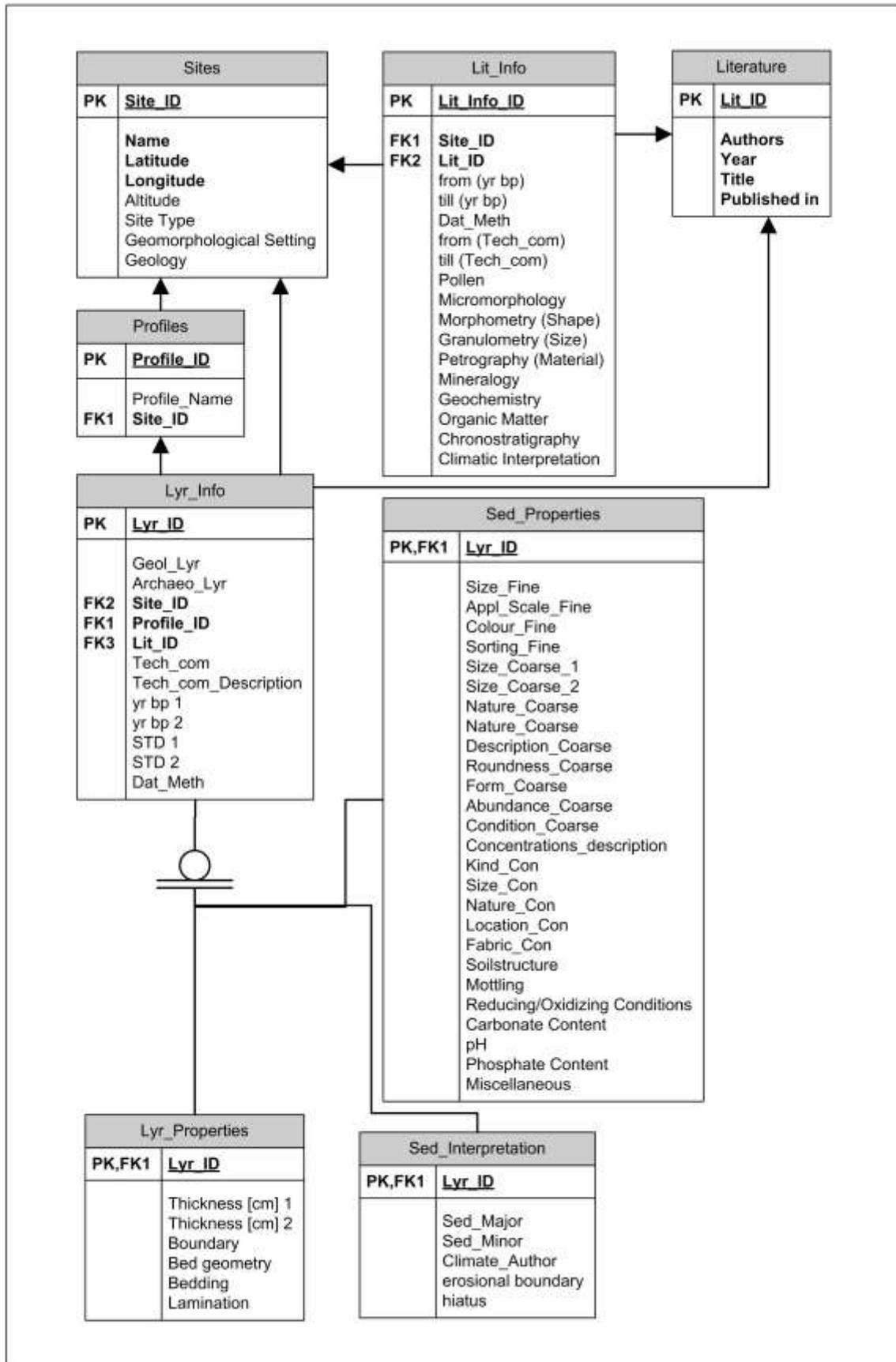


Abbildung 17 Relationales Datenbankschema der Sedimentdatenbank (Eigene Abbildung)

PK = Primary Key, FK = Foreign Key. Fettgedruckte Attribute sind erforderliche Angaben

Informationsverlust erschien im Hinblick auf den Zweck – die klimatische Interpretation der Sedimente - als hinnehmbar.

Tabelle 5 Liste der Attribute für die eine Taxonomie erarbeitet wurde (Eigener Entwurf)

Site Type
Geomorphological Setting
Dat_Meth
from (Tech_com_short)
till (Tech_com_short)
Tech_com_short
Dat_Meth
Boundary
Bed geometry
Bedding
Size_Fine
Appl_Scale_Fine
Size_Coarse_1
Size_Coarse_2
Roundness_Coarse
Form_Coarse
Abundance_Coarse
Condition_Coarse
Soilstructure
Reducing/Oxidizing Conditions
Organic Matter Content
Carbonate Content
Sed_Major
Sed_Minor
Temperature
Humidity

Abbildung 17 zeigt das auf diese Weise entstandene relationale Datenbankschema mit allen enthaltenen Tabellen und ihren Attributen sowie den Primär- und Fremdschlüsseln. Die Fremdschlüssel fungieren als Primärschlüssel in einer der anderen Tabellen und stellen die Beziehungen zwischen den Tabellen her (MEIER 2010).

3.4 Entitätsmengen und Attribute der sedimentologischen Datenbank

Im Folgenden wird auf die einzelnen Entitätsmengen, deren Attribute, Datentypen und Wertebereiche näher eingegangen.

Die verwendeten Datentypen Text, Zahl und Ja/Nein (Boole'scher Datentyp) entsprechen den allgemein gebräuchlichen Datentypen in der Datenverarbeitung. Sie bestimmen, welche Art der Daten später in ein Feld eingegeben werden können. Wird der Datentyp eines Feldes als ‚Zahl‘ definiert, können vom Anwender nur Zahlen eingegeben werden. Der Datentyp ‚Text‘ erlaubt alle alphanumerischen Zeichen. Beim ‚Boole'schen‘ Datentyp können nur Ja oder Nein eingetragen werden.

Der Wertebereich grenzt die für den Anwender möglichen Eingaben weiter ein, sofern dies möglich und sinnvoll ist. Zum Beispiel wurde für das Merkmal *Altitude* der Datentyp ‚Zahl‘ mit einem Wertebereich von 0 bis 4.000 festgelegt. Die Altitude, also Höhe über NN, soll immer als Zahl angegeben werden. Der höchste Punkt der IH liegt auf 3.479 m über NN, womit der Wertebereich 0 bis 4.000 ausreichend ist.

Durch das Festlegen von Datentypen und das Abgrenzen von Wertebereichen kann die Wahrung der Integrität der Datenbank sichergestellt werden (siehe Kapitel 3.2). Gibt ein Anwender im Feld „Altitude“ versehentlich eine zu hohe Zahl ein, wird vom Anwendungsprogramm eine Fehlermeldung angezeigt.

Verwendung von Taxonomien

Für einige Attribute wurden Taxonomien erstellt, durch deren Anwendung die Vergleichbarkeit der Daten ermöglicht wird (Tabelle 5). Auf diese Weise können auch

quellenübergreifende Analysen und statistische Auswertungen vollzogen werden. Die Einführung einer Taxonomie bedingt gleichzeitig einen eventuellen Informationsverlust. Wie bereits erwähnt, gibt es keinen international anerkannten Standard für die Sedimentbeschreibung und –analyse. Unterschiedliche Autoren haben daher unterschiedliches Vokabular für die Darstellung ähnlicher oder sogar inhaltlich gleicher Sachverhalte verwendet. Außerdem sind die Artikel in unterschiedlichen Sprachen verfasst worden. Ein Großteil der Literatur ist englischsprachig, einzelne Arbeiten liegen auf Spanisch oder Französisch vor.

Bei der Eingabe muss der Datenbankanwender die vom Autor verwendeten Begriffe richtig interpretieren und entsprechend der Taxonomie übersetzen. Dabei ist nicht auszuschließen, dass Angaben der Autoren verallgemeinert werden müssen.

Als Beispiel seien hier die Technokomplexe erwähnt, deren Angabe von manchen Autoren durch den Zusatz von Adjektiven wie „Typical“ oder „Denticulate“ spezifiziert wurden. Die Taxonomie *Tech_com* beinhaltet diese Zusätze nicht, sodass die Aussage des Autors zu Gunsten der Vergleichbarkeit modifiziert werden muss. Durch die Verwendung einer einheitlichen Taxonomie kann bei einer Abfrage in der Datenbank zusätzlich nach spezifischen Eigenschaften gefiltert werden. Auf diese Bedeutung wird in Kapitel 4.1 näher eingegangen.

Für die Erstellung der Taxonomien wurden zunächst die Begriffe zur Beschreibung verschiedener Merkmale gesammelt, die von den Autoren der vorliegenden Arbeiten (Anhang I) verwendet wurden. Parallel wurden in einer ausgedehnten Recherche nach Fachliteratur gängige Begriffe für die Typisierung von Sedimenten und Höhlensedimenten im speziellen zusammengestellt (STOW 2007, FAO 2006, COURTY 1989, ZEPP 2002, MARTIN 2002, SPONAGEL 2005). Die gesammelten Begriffe der Autoren wurden schließlich mit den Ergebnissen der Fachliteraturrecherche abgeglichen und zu einer wiederholungsfreien Taxonomie zusammengestellt. Das heißt, bei mehreren Begriffen mit gleicher Bedeutung wurde einer der Begriffe in die Taxonomie übernommen.

Bei einigen Attributen wurde zusätzlich zum Feld mit der Taxonomie ein Feld für die exakte Beschreibung des Autors hinzugefügt, um den Informationsverlust zu vermeiden und trotzdem eine Vergleichbarkeit herzustellen. Bei anderen Attributen wurde auf eine Taxonomie verzichtet, da die Vergleichbarkeit der Daten für nicht sinnvoll erachtet wurde. Gewisse Sedimenteigenschaften, wie zum Beispiel Konzentrationen, wurden für das Anlegen einer Taxonomie als zu komplex befunden. Ihre Ausprägung ist sehr stark von den verschiedenen Gegebenheiten in einer Höhle abhängig (Ausgangsmaterial, Klima, Prozesse). Dies spiegelte sich auch in den sehr unterschiedlichen Ausführungen der Autoren über die Eigenschaften von Konzentrationen wider, sodass es für besser erachtet wurde, hier den genauen Wortlaut des Autors zu übernehmen. Für Attribute dieser Art gilt die Kennzeichnung *Freier Wert*.

3.4.1 Sites

Die Entitätsmenge Sites enthält allgemeine Informationen zu den archäologischen Fundstellen, wie Name, geographische Lage, Höhe über NN und ihre geomorphologische und geologische Beschaffenheit. Für jede Site existiert ein Datensatz. Die Werte wurden der vorliegenden Literatur (Anhang I) entnommen. Bei abweichenden Angaben unter den Autoren (zum Beispiel verschiedene Werte für Höhe über NN) wurden die Angaben entspre-

chend der archäologischen Datenbank ausgewählt. Die Attribute der Tabelle sind in Tabelle 6 abgebildet und werden im Folgenden näher erläutert:

Site_ID

Die *Site_ID* ist das identifizierende Schlüsselmerkmal für die einzelnen Tupel. Sie setzt sich aus drei Großbuchstaben zusammen, die in der Regel aus den Anfangsbuchstaben der Fundstelle bestehen. Zusätze wie EI (El Castillo), Abric (Abric Romani) oder Cueva (Cueva Morin) werden dabei nicht berücksichtigt (z.B. ROM für Abric Romani). Bei den 13 bislang bearbeiteten Sites traten keine Übereinstimmungen bei den ersten drei Buchstaben der Sites auf. Sollte dieser Fall dennoch auftreten, muss eine andere Buchstabenkombination erzeugt werden, die den Namen der Höhle erkennen lässt. Es wurde bewusst ein „sprechender“ Schlüssel verwendet, um die analysierende Arbeit mit der Datenbank zu vereinfachen.

Tabelle 6 Attributliste der Tabelle 'Sites' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie/Freier Wert
Site_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Name	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Latitude	ZAHL	keine Angabe	Freier Wert
Longitude	ZAHL	keine Angabe	Freier Wert
Altitude(m)	ZAHL	0-4000	Freier Wert
Site Type	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Geomorphological Setting	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Geology	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert

Name

Für einige der Höhlen und Abris haben sich im Laufe der Zeit mehrere Bezeichnungen entwickelt. Um die Konsistenz zu wahren, wurden für die sedimentologische Datenbank exakt jene Namen übernommen, welche in der archäologischen Datenbank des C1-Clusters verwendet werden. Dieses System muss beibehalten werden, da der Name der Site in der archäologischen Datenbank als Schlüsselmerkmal verwendet wird. Nur so können die beiden Datenbanken später miteinander gekoppelt werden.

Latitude/Longitude

Die Angaben zur geographischen Breite und Länge basieren auf dem geodätischen Referenzsystem WGS84. Die Koordinaten wurden, sofern vorhanden, ebenfalls aus der archäologischen Datenbank übernommen. Bei fehlender Angabe wurde ein Wert aus der vorliegenden Literatur übernommen. Die Erfassung der Koordinaten ist unerlässlich, um kartographische Darstellungen anfertigen zu können.

Site Type

Das Attribut Site Type bezieht sich auf die in Kapitel 2.4.1 erläuterten Unterschiede zwischen Höhlen und Abris (Tabelle 7). Die Angaben ergeben sich häufig schon aus dem Namenszusatz Cueva (Cave, Höhle) oder Abric (Rockshelter, Halbhöhle) und sind der Literatur leicht zu entnehmen. Die Unterscheidung zwischen Höhle und Abri ist von großer Bedeutung bei der Interpretation der Sedimente, da unterschiedliche Prozesse bei der Bildung der Sedimente wirken (siehe Kapitel 2.4.1). Obwohl bisher nur Arbeiten über Höhlen und Abris in der Datenbank enthalten sind, wurde zusätzlich der Typ „Open Air“ in die Taxonomie aufgenommen, da für zukünftige Eingaben auch Open Air Sites berücksichtigt werden sollen.

Tabelle 7 Taxonomie Site Type (Eigener Entwurf)

Abbreviation	Full Name
CAV	Cave
ROC	Rockshelter
OPE	Open Air
n/a	not available
o	other

Geomorphological Setting

Das Attribut beschreibt die geomorphologische Lage der Fundstelle. Die Umgebung der Site hat Einfluss auf Entstehungs- und Transportprozesse von Sedimenten sowie auf die Zusammensetzung des exogen eingetragenen Materials (siehe Kapitel 2.5). Tabelle 8 zeigt die erarbeitete Taxonomie.

Tabelle 8 Taxonomie Geomorphological Setting (WOODWARD & GOLDBERG 2001)

Abbreviation	FullName	Description
Co	Coastal Location	Sites close to the coast line or previous coast line
V	Valley Bottom	Sites located in inland basins
M	Deep Mountain Gorges	Sites enclosed in deep mountain gorges
LF	Lowland Floodplains	Sites located on the floodplain of a lowland river
LS	Lake Shore	Sites close to a lake shore or previous lake shore
P	Plateau	Sites situated on a plateau
R	Relief	Sites located in a relief
Cl	Cliff	Cliff sites
n/a	not available	
o	other	

Geology

Das Attribut Geology bezieht sich auf den geologischen Hintergrund des höhlenbildenden Gesteins. Dazu zählt auch die lithostratigraphische Einordnung des Gesteins und dessen Beschaffenheit. Cueva Nerja enthält dementsprechend den Eintrag „trassic recrystallised dolomitic marbles“ (triassischer rekristallisierter dolomitischer Marmor). Derartig umfassende Angaben liegen leider noch nicht für jede bislang bearbeitete Fundstelle vor, können bei der Interpretation der Sedimentgenese aber hilfreich sein. Das höhlenbildende Gestein ist ein wichtiger Faktor bei der Interpretation der Sedimentationsprozesse (siehe Kapitel 2.5 und 2.6).

3.4.2 Lit_Info

Die Tabelle *Lit_Info* dient der detaillierteren Beschreibung der Arbeiten, die über die jeweilige Fundstelle vorliegen. Sie zeigt für welche archäologische Einheit bzw. welche Zeiteinheit der Stratigraphie Informationen vorliegen sowie welche Methoden zur Sedimentanalyse und -datierung verwendet wurden. Für jede vorliegende Arbeit, die es zu einer Fundstelle gibt, existiert ein Datensatz. Manche Arbeiten befassen sich mit mehreren Fundstellen (z.B. BUTZER 1981, CORTÉZ-SÁNCHEZ et al. 2008, CARRIÓN et al. 1999). In diesem Fall wird für jede darin behandelte Site ein Datensatz angelegt. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Attribute der Tabelle mit dem Datentyp und dem Wertebereich.

Lit_Info_ID

Die ID jedes Tupels setzt sich zusammen aus der *Site_ID* und einer fortlaufenden Zahl verbunden mit einem Unterstrich (z.B. ROM_1).

Site_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Verfügbarkeit*).

Lit_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Zuordnung I*).

from (yr bp)/till (yr bp)

Die Felder geben den zeitlichen Rahmen der Arbeit wieder. *from (yr bp)* beinhaltet das früheste Datum das in der Arbeit behandelt wird und in numerischer Form vorliegt. *till (yr bp)* ist analog dazu der späteste Zeitpunkt der Abfolge, der behandelt wird und als Zahl vorliegt.

Tabelle 9 Attributliste der Tabelle ‚Lit_Info‘ (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie/Freier Wert
Lit_Info_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Site_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Lit_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
from (yr bp)	ZAHL	0-100.000	Freier Wert
till (yr bp)	ZAHL	0-100.000	Freier Wert
Dat_Meth	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
from (Tech_com)	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
till (Tech_com)	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Pollen	JA/NEIN	Ja, Nein	
Micromorphology	JA/NEIN	Ja, Nein	
Morphometry	JA/NEIN	Ja, Nein	
Granulometry (Si-	JA/NEIN	Ja, Nein	
Petrography (Ma-	JA/NEIN	Ja, Nein	
Mineralogy	JA/NEIN	Ja, Nein	
Geochemistry	JA/NEIN	Ja, Nein	
Organic Matter	JA/NEIN	Ja, Nein	
Chronostrati-	JA/NEIN	Ja, Nein	
Climatic Interpre-	JA/NEIN	Ja, Nein	

Dat_Meth

Verschiedene Datiermethoden stehen, je nach zu messendem Material, zur Verfügung (siehe Tabelle 10). Die Verfahren haben unterschiedliche zeitliche Reichweiten und können auch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Deshalb muss im Sinne der Vergleichbarkeit angegeben werden, welche Methode zur Datierung verwendet wurde.

Tabelle 10 Taxonomie Dat_Meth (MARTIN ET AL. 2002, WHITE 2007)

Abbreviation	FullName	Application
¹⁴ C	Radiocarbonatierung	organic Material, <50.000yr
AMS	Beschleuniger Massenspektrometrie	organic Material
U/Th	Uran-Thoriumdatierung	Calcite (Speleothemes), <550.000
TL	Thermolumineszenzdatierung	aeolian sediments, <100.00yr
GC	Graphical Correlation	
n/a	not available	
o	other	

from (Tech_com)/till (Tech_com)

Alternativ oder ergänzend zu Daten werden häufig Technokomplexe (archäologische Kulturstufen) angegeben. Auch hier wird der zeitlich früheste bzw. späteste Technokomplex eingetragen um den kulturhistorischen Rahmen der Arbeit zu zeigen. Tabelle 11 zeigt die zeitliche Abgrenzung der Technokomplexe.

Tabelle 11 Taxonomie Tech_com (PEARSALL 2008, www.freebase.com)

Abbreviation	FullName	TimeSpan	Reference
MOU	Mousterian	300.000 BP to 30.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/mousterian
AUR	Aurignacian	45.000 BP to 35.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/aurignacian
CHA	Chatelperronian	35.000 BP to c. 29.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/chatelperronian
GRA	Gravettian	28.000 BP to 22.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/gravettian
SOL	Solutrean	22.000 BP to 17.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/solutrean
MAG	Magdalenian	17.000 BP to 9.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/magdalenian
AZI	Azilian	10.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/azilian
MP	Middle Palaeolithic	300.000 BP to 30.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/middle_paleolithic
UP	Upper Palaeolithic	40.000 BP to 10.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/upper_paleolithic
EPI	Epipalaeolithic	24.000 to 11.700 BP*	http://www.freebase.com/view/en/epipaleolithic
MP/EUP	Transition from MP to UP	45.000 to 30.000 BP*	
NEO	Neolithic	10.700 BC to 9400 BC	http://www.freebase.com/view/en/neolithic
BRO	Bronze	2.500 BC to 800 BC*	http://www.freebase.com/view/en/bronze_age
HOL	Holocene	10.000 BP	http://www.freebase.com/view/en/holocene
n/a	not available		
o	other		

Die folgenden Felder dienen der genaueren Beschreibung des methodischen Inhalts der Arbeiten, also der einzelnen Analysen, die durchgeführt wurden. Es handelt sich um einen ‚Boole’schen‘ Datentyp, dessen Wertebereich Ja und Nein beinhaltet:

Pollen

Pollenanalytische Methode.

Micromorphology

Untersuchung und Interpretation von Dünnschliffen (COURTY et al. 1989).

Morphometry (Shape)

Beschreibung und Analyse der Form der Sedimente.

Granulometry (Size)

Messung der Größe im Labor. Eine Feldbeschreibung der Korngröße wird darunter nicht verstanden.

Petrography

Beschreibung und Klassifikation der Gesteine der Grobfraktion, ihrer mineralogischen und chemischen Zusammensetzung und des Gefüges (MARTIN et al. 2002).

Mineralogy

Beschreibung der Zusammensetzung und Kristallisationsform von Mineralen sowie Interpretation ihrer Genese und Herkunft (STRÜBEL 2002).

Geochemistry

Analyse der chemischen Bestandteile des Sediments auf Anomalien und Interpretation der Entstehung und Herkunft (ALTERMANN & KÖLBL-EBERT 2002).

Organic Matter

Analyse der organischen Substanz, außer Kohle und anthropogene Kohlenstoffverbindungen (Sponagel 2005).

Geochronology

Datierung und zeitliche Zuordnung von Sedimenten.

Climatic Interpretation

Interpretation der Sedimentgenese und klimatische Korrelation.

3.4.3 Literature

In der Tabelle *Literature* finden sich die genauen Quellenangaben für jeden verwendeten Artikel wieder. Tabelle 12 zeigt die verwendeten Attribute.

Lit_ID

Die Lit_ID besteht aus den ersten drei Buchstaben des Familiennamens des Leit-Autors und den letzten zwei Ziffern des Erscheinungsjahrs verbunden mit einem Unterstrich. Der erste Buchstabe wird großgeschrieben (z.B. Arr_05). Gibt es zwei Autoren mit demselben

Familiennamen, so wird anstelle des dritten Buchstaben der erste Buchstabe des Vornamens als Großbuchstabe gewählt (z.B. FiC_08 und FiG_08). Gibt es mehrere Erscheinungen eines Autors aus demselben Jahr, wird ein Kleinbuchstabe an die ID angehängt (z.B. Car_92a und Car_92b).

Tabelle 12 Attributliste für die Tabelle 'Literature' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
Lit_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Authors	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Year	ZAHL	1000-3000	Freier Wert
Title	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Published in	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert

Authors

Alle Autoren werden mit dem Nachnamen und den nachgestellten Initialen, getrennt durch ein Komma, aufgezählt (z.B. Carrión, J.S., Munuera, M., Navarro, C.).

Year

Erscheinungsjahr

Title

Titel der Monographie oder des Artikels

Published in

Zeitschrift, Schriftenreihe oder Verlag. Bei Zeitschriftenartikeln mit Angabe der Ausgabe und der Seitenzahlen, bei Monographien mit Verlag und Erscheinungsort.

3.4.4 Profiles

Für einige Fundstellen liegen Beschreibungen mehrerer Profile vor. Um diese zu unterscheiden, wird eine Liste der Profile in einer separaten Tabelle geführt (Attributliste in Tabelle 13).

Tabelle 13 Attributliste für die Tabelle 'Profiles' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
Profile_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Profile_Name	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Site_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert

Profile_ID

Die ID setzt sich zusammen aus einem „P“ für Profile, einem Unterstrich, der Site_ID, einem Unterstrich und einer fortlaufenden Nummer (z.B. P_MOR_1, P_MOR_2).

Profile_Name

In der Literatur verwendeter Name des Profils.

Site_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Befindet sich in I*).

3.4.5 Lyr_Info

Wie bereits in Kapitel 3.5 erwähnt, ist die Tabelle *Lyr_Info* die übergeordnete Entitätsmenge für alle schichtbezogenen Tabellen. Sie enthält allgemeine Informationen wie Namen und die zeitliche Einordnung der Sedimentschichten. Eine Übersicht der verwendeten Attribute ist in Tabelle 14 dargestellt.

LYR_ID

Die ID für die Schichten setzt sich zusammen aus der *Site_ID*, den Anfangsbuchstaben des Autors, aus der *Lit_ID*, der die Beschreibung der Schichten entnommen ist, und einer fortlaufenden Zahl, jeweils verbunden mit einem Unterstrich (z.B. ARB_Bis_1 entspricht Layer 1 der Site Arbreda von Bischoff beschrieben).

Tabelle 14 Attributliste für die Tabelle 'Lyr_Info' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
LYR_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Geol_Lyr	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Archaeo_Lyr	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Site_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Profile_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Lit_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Tech_com	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Tech_com_Description	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
yr bp1	ZAHL	0-100.000	Freier Wert
yrbp2	ZAHL	0-100.000	Freier Wert
STD1	ZAHL	0-10.000	Freier Wert
STD2	ZAHL	0-10.000	Freier Wert
Dat_Meth	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie

Geol_Lyr

Entspricht der Bezeichnung für die geologischen Schichten die in der jeweiligen Literatur verwendet werden. Diese kann römische oder arabische Zahlen, Buchstaben oder Buchstaben-Zahlen-Kombinationen enthalten. Eine geologische Schicht beschreibt den vertikalen Abschnitt eines Profils, der unter den gleichen Ablagerungsbedingungen entstanden ist und dementsprechend einheitliche geologische Strukturen aufweist (COURTY 1989).

Archaeo_Lyr

Entspricht der Bezeichnung für die archäologischen Schichten, die in der jeweiligen Literatur verwendet werden. Es handelt sich meist um römische Zahlen oder Buchstaben. Die Abgrenzung archäologischer Schichten erfolgt anhand der Fundstücke, die den verschie-

denen Technokomplexen zugeordnet werden. Alle Fundstücke, die einem Technokomplex zugeordnet werden können, bilden eine archäologische Schicht. Diese unterscheidet sich in ihrer Mächtigkeit meistens von den geologischen Schichten (COURTY 1989).

Site_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Befindet sich in II*).

Profile_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Befindet sich in II*).

Lit_ID

Fremdschlüssel (Beziehungsmenge *Zuordnung II*).

Tech_com

Das Attribut *Tech_com* dient an dieser Stelle der Vereinfachung der Bezeichnung der Technokomplexe durch die Autoren. Einige Autoren haben detailliertere Angaben der Technokomplexe vorgenommen, durch die ein Vergleich erschwert werden würde (z.B. Typical Mousterian, Early Aurignacian, Final Gravettian (BUTZER 1981)). Eine generalisierte Zuordnung zu einem Technokomplex ist sinnvoll, um Analysen mit GIS oder Abfragen mit der Datenbank durchzuführen. Es gilt die Taxonomie aus Tabelle 15.

Tech_com_Description

In dieses Feld wird die genaue Bezeichnung des Autors für den Technokomplex eingetragen.

yr bp1/yr bp2

Hat der Autor bei der Sedimentanalyse eine Datierung der einzelnen Sedimentschichten vorgenommen, werden die Werte in die Felder *yr bp1* und *yr bp2* eingetragen. Häufig findet man von-bis-Angaben oder zwei unterschiedliche Werte für eine Schicht. Daher sind zwei Felder für die Zeitangaben vorgesehen. In *yr bp1* wird immer der ältere Wert geführt. In *yr bp2* dementsprechend der jüngere.

STD1/STD2

Hier werden die entsprechenden Standardabweichungen der Datierungen eingetragen. Die Standardabweichung für den Wert in Feld *yr bp1* wird in *STD1* eingetragen, entsprechend wird der Wert für *yr bp2* in *STD2* eingetragen.

Dat_Meth

Wie schon in der Tabelle *Lit_Info* wird die bei der Datierung verwendete Methode angegeben (siehe Tabelle 10).

3.4.6 Lyr_Properties

Die Tabelle *Lyr_Properties* enthält die geologischen Eigenschaften und Informationen zur Struktur der Schichten. Die verwendeten Attribute sind in Tabelle 15 dargestellt.

Lyr_ID

Da es sich um eine Subentität der Tabelle *Lyr_Info* handelt, wird der Identifikationsschlüssel der übergeordneten Tabelle verwendet.

Tabelle 15 Attributliste für die Tabelle 'Lyr_Properties' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
LYR_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Thickness [cm] 1	ZAHL	0-1000	Freier Wert
Thickness [cm] 2	ZAHL	0-1000	Freier Wert
Boundary	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Bed geometry	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Bedding	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Lamination	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert

Thickness [cm] 1/Thickness [cm] 2

Mächtigkeit der Schichten. Bei welligen oder irregulären Schichten werden häufig von-bis-Angaben gemacht. Dann wird der kleinere Wert in *Thickness [cm] 1* eingetragen und der Höhere in *Thickness [cm] 2*. Bei Angabe eines Werts wird dieser in *Thickness [cm] 1* eingetragen. Die Angaben werden immer als Zentimeter eingetragen.

Boundary

Die Schärfe der Schichtgrenzen beschreibt die Mächtigkeit der Übergangszone zwischen zwei angrenzenden Schichten. Ein Übergang geringer Mächtigkeit wird mit abrupt beschrieben und deutet auf einen schnellen Wechsel der Ablagerungsbedingungen hin, ein diffuser Übergang dementsprechend auf einen graduellen Wechsel (STOW 2007). Es wurde die Taxonomie der FAO (2006a) gewählt, da diese am besten den Beschreibungen der Autoren entsprach (Tabelle 16).

Tabelle 16 Taxonomie Boundary (FAO 2006a)

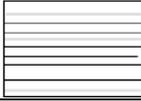
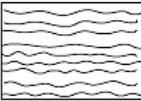
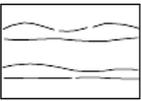
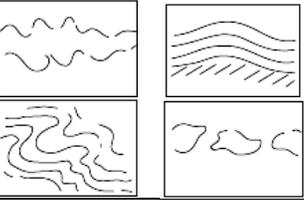
Abbreviation	FullName	Description
a	abrupt	0 - <2 cm
c	clear	2 - <5 cm
g	gradual	5 - <15 cm
d	diffuse	>15 cm
n/a	not availab-	
o	other	

Bed geometry

Die Schichtungsform bezieht sich auf die untere Grenze einer Schicht. Tabelle 17 zeigt die Taxonomie entnommen aus STOW 2007. Ebene (Planar) Schichten sind typisch für stabile Ablagerungsbedingungen. Wellige und unregelmäßige Schichtungsformen entstehen

durch Drucklösungserscheinungen in Kalkstein oder Dolomit oder durch plötzliche Ablagerung größerer Klaster. Eine gebogene (curved) oder eine linsenförmige (lenticular) Schichtung entsteht unter Ablagerungsbedingungen mit lateralen Schwankungen oder durch partielle Erosion (STOW 2007).

Tabelle 17 Taxonomie Bed geometry (Stow 2007)

Abbreviation	FullName	Description
d	discontinuous	interrupted beds
p	planar	
w	wavy	
c	curved	
l	lenticular	
i	irregular (draped, chaotic, nodular)	
n/a	not available	
o	other	

Bedding

Bedding beschreibt die interne Struktur einer Schicht, die aufgrund von Unterschieden der Lithologie, der Partikelgröße oder -form unter einheitlichen Sedimentationsbedingungen entstehen (SELLEY 1992). Die Taxonomie (Tabelle 18) wurde gemäß in der Literatur (Anhang I) häufig verwendeter Begriffe erstellt.

Tabelle 18 Taxonomie Bedding (COURTY 1989, SELLEY 1992)

Abbreviation	FullName	Description	Caused by*
m	Massive Bedding	no bedding structures visible	Diagenesis, Bioturbation, low-energy Regime, very-well sorted Sediment
l	Laminated Bedding	parallel, planar bedding	Fluvial or litoral environments,, shooting or transitional flow regime (Froude # ca. 1)
c	Crossbedding	planar bedding dipped by a certain angle, not as a result of tectonics. (i.e. ripples)	Variations in grain size, avalanches, accretion, migration of dunes or megaripples, pools and ripples
g	Graded Bedding	Vertical decrease/Increase of grainsize	decrease/increase in flow velocity
d	Bedding Deformation Structures	post-depositional deformation of bedding	Vertical waterflow through the sediment, wetting and drying, freezing and thawing
n/a	not available		
o	other		

Lamination

Lamina sind dünne, bis zu einen cm dicke, Ablagerungen, die aus einem anderen Material bestehen als die angrenzenden Schichten (STOW 2007, MARTIN et al. 2002). Sie zeigen Unregelmäßigkeiten des Ablagerungsregimes. Bei Lamina wurde auf eine Taxonomie verzichtet, um ihre Besonderheiten erfassen zu können.

3.4.7 Sed_Properties

Die Tabelle *Sed_Properties* enthält die beschreibenden Attribute der Sedimente einer Schicht (Tabelle 19). In Kapitel 2.5 wurde bereits eine Einführung in die Klassifizierung von Sedimenten in Höhlen und Abris gegeben. Die Tabelle *Sed_Properties* wurden in Anlehnung an das Kapitel und der dafür verwendeten Literatur entwickelt. Die Erstellung der Tabellenstruktur für die Sedimentbeschreibung erwies sich aufgrund der Heterogenität der Analysemethoden in der Literatur als schwierig (Kapitel 3.3.1). Die hier vorgestellte Struktur ist das Resultat eines intensiven iterativen Prozesses, in welchem sukzessive die Attribute und deren Datentypen sowie die Taxonomien erarbeitet wurden. Die Tabellenstruktur kann gleichzeitig für zukünftige Geländekampagnen als Leitfaden zur Aufnahme von Sedimenten genutzt werden. Sie berücksichtigt Felddesreibungen und Laboranalysen.

Lyr_ID

Da es sich um eine Subentität der Tabelle *Lyr_Info* handelt, wird der Identifikationsschlüssel der übergeordneten Tabelle verwendet.

Tabelle 19 Attributliste für die Tabelle 'Sed_Properties' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
LYR_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Size_Fine	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Appl_Scale_Fine	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Colour_Fine	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Sorting_Fine	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Size_Coarse_1	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Size_Coarse_2	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Nature_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Description_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Roundness_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Form_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Abundance_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Condition_Coarse	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Concentrations	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Soilstructure	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Mottling	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Reducing/Oxidizing Conditions	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Organic Matter Content	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Carbonate Content	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
pH	ZAHL	0-14	Freier Wert
Phosphate Content	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Miscellaneous	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert

Size_Fine

Die Sedimente bestehen in der Regel aus einer feinen und einer groben Komponente. Die Korngröße der Feinfraktion (Partikeldurchmesser < 2 mm) wird in das Feld *Size_Fine* eingetragen. Die Korngröße wird beeinflusst durch das Ausgangsgestein, die Verwitterungsart, –intensität und –dauer und über die Transportart und -distanz. (siehe Kapitel 2.5.1). Abbildung 18 zeigt die Einteilung der Texturklassen nach der USDA, deren Bezeichnungen für die Taxonomie übernommen wurden (Tabelle 20). Andere Systeme nutzen zu meist dieselben Namen, mit teilweise leicht differierenden Klassengrenzen (FAO 2006a).

Tabelle 20 Taxonomie Size_Fine (FAO 2006a, WOODWARD & GOLDBERG 2001, *ZEPP 2002)

Abbreviation	FullName	Description
uS	unsorted Sand	according to applied scale
cS	Coarse Sand	according to applied scale
mS	Medium Sand	according to applied scale
fS	Fine Sand	according to applied scale
vfS	Very Fine Sand	according to applied scale
cSi	Coarse Silt	according to applied scale
mSi	Medium Silt	according to applied scale
fSi	Fine Silt	according to applied scale
C	Clay	according to applied scale
fg	Fine Grained	<2mm
S	Sand	according to applied scale
IS	Loamy Sand	according to applied scale
sL (clay - <poor)	sandy loam	according to applied scale
SiL (clay - <poor)	Silt Loam	according to applied scale
Si	Silt	according to applied scale
sL (clay rich)	Sandy Loam	according to applied scale
L	Loam	according to applied scale
SiL (clay - <rich)	Silt Loam	according to applied scale
sCL	Sandy Clay Loam	according to applied scale
sC	Sandy Clay	according to applied scale
CL	Clay Loam	according to applied scale
C	Clay	according to applied scale
siCL	Silty Clay Loam	according to applied scale
siC	Silty Clay	according to applied scale
hC	Heavy Clay	according to applied scale
M	Marl	35-65% Calcium Carbonate and 35-65% Clay*
n/a	not available	
o	other	

Appl_Scale_Fine

Die Grenzen der Korngrößenklassen sind international und fachspezifisch unterschiedlich (siehe Kapitel 2.5.1). Deshalb muss angegeben werden, welche Skala zur Klassifizierung vom Autor verwendet wurde. In vielen der untersuchten Arbeiten handelt es sich um Feldbeschreibungen der Texturklassen, die anhand eines Schlüssels (wie in Anhang III beschrieben) durch die Fingerprobe ermittelt werden. In der Taxonomie (Tabelle 21) wurden

die bekannten Skalen zur Einteilung der Korngrößen erfasst. Die jeweiligen Klassengrenzen können in Anhang II/III nachgelesen werden.

Tabelle 21 Taxonomie Appl_Scale_Fine (Eigener Entwurf)

Abbreviation	FullName	Description
FD	Field Description	Appendix III
Wentworth	Wentworth Class (geology)	Appendix IV
Phi	Phi Units	Appendix IV
UK	UK Soil Science class	Appendix IV
USA	USA Soil Science class	Appendix IV
FAO	FAO	Appendix IV
DIN 4022	DIN 4022/ EN ISO 14688	Appendix IV
n/a	not available	
o	other	

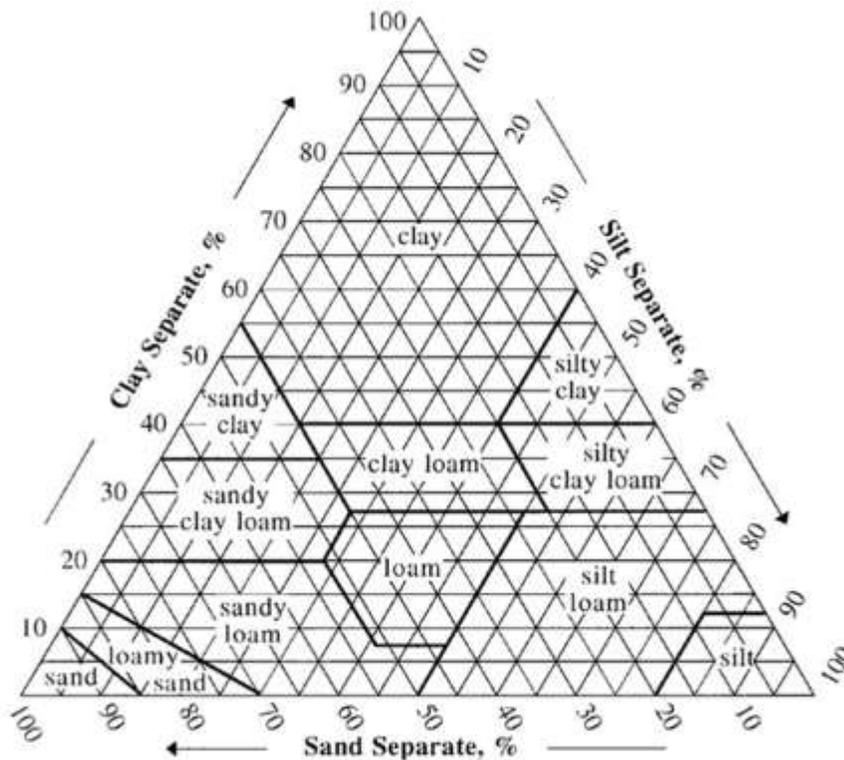


Abbildung 18 Texturklassen nach dem United States Department of Agriculture (USDA)

Colour_Fine

Die Farbe der Feinfraktion wird von den meisten Autoren nach der Munsell Soil Colour Chart angegeben. Vereinzelt wird jedoch auch ein einfaches Farbadjektiv verwendet. Deshalb wurde darauf verzichtet, eine Taxonomie für dieses Attribut zu erstellen.

Sorting_Fine

Der Sortierungsgrad der Feinfraktion wird entsprechend des Wortlauts des Autors in das freie Feld eingetragen.

Size_Coarse_1/Size_Coarse_2

In einer Sedimentschicht sind häufig mehrere verschieden große Partikel der Grobfraktion zu finden. Deshalb wurden hierfür zwei Felder angelegt. In diese können die beiden häufigsten Korngrößen eingetragen werden. Die Taxonomie (Tabelle 21) entspricht den gängigen Begriffen der Literatur (siehe Anhang II).

Tabelle 22 Taxonomie Size_Coarse1/Size_Coarse2 (WOODWARD & GOLDBERG 2001, FAO 2006a)

Abbreviation	FullName	Description
B	Boulders	according to applied scale
C	Cobbles	according to applied scale
P	Pebbles	according to applied scale
G	Gravel	according to applied scale
n/a	not available	
o	other	

Nature_Coarse

Beschreibung des Materials, aus dem die Grobfraktion besteht, entsprechend des Wortlauts des Autors.

Description_Coarse

Neben der Beschreibung des Materials, der Größe, Form und Rundung der Grobfraktion haben einige Autoren zusätzliche Begriffe verwendet, die sich in keine dieser Kategorien einordnen lassen (z.B. Spall, Breccia, Rubble). Diese Begriffe haben teilweise interpretativen Charakter, weshalb ihre Erfassung für wichtig gehalten und hierunter aufgeführt wird.

Roundness_Coarse

Angaben des Autors über die Rundung der Grobfraktion können hier eingetragen werden. Die Rundung der Partikel ist ein wichtiges Kriterium zur Interpretation der Transportart, -distanz oder auch der Verwitterungsintensität (Tabelle 23, Kapitel 2.6.2).

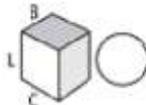
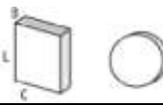
Tabelle 23 Taxonomie Roundness_Coarse (POWERS 1953, ABBILDUNGEN: MACLEOD 2002)

Abbreviation	FullName	Russell and Taylor	Pettijohn	Powers	
va	very angular			0,12 - <0,17	
a	angular	0 - <0,15	0,00 - <0,15	0,17 - <0,25	
sa	subangular	0,15 - <0,30	0,15 - <0,25	0,25 - <0,35	
sr	subrounded	0,30 - <0,50	0,25 - <0,40	0,35 - <0,49	
r	rounded	0,50 - <0,70	0,40 - <0,60	0,49 - <0,70	
wr	well rounded	0,70 - <1,00	0,60 - <1,00	0,70 - <1,00	
n/a	n/a				
o	other				

Form_Coarse

Auch die Form der Grobfraktion gibt Auskunft über die Entstehung (Tabelle 24, Kapitel 2.6).

Tabelle 24 Taxonomie Form_Coarse (MARTIN 2002)

Abbreviation	FullName	Description
e	equant	
p	platy	
d	disc-shaped	
r	roller-shaped	
n/a	not available	
o	other	

Abundance_Coarse

Die Menge der Grobpartikel wird von einigen Autoren angegeben. Die Taxonomie aus Tabelle 25 entspricht den Ausführungen der Guidelines for Soil Description (FAO 2006a).

Tabelle 25 Taxonomie Abundance_Coarse (FAO 2006a)

Abbreviation	FullName	Description
n	None	0%
vf	Very few	0 - <2 %
f	Few	2 - <5%
c	Common	5 - <15%
m	Many	15 - <40%
a	Abundant	40 - <80 %
d	Dominant	>80%
sl	Stone line	any content but concentrated at a distinct depth of a horizon
n/a	not available	
o	other	

Condition_Coarse

Der Zustand der Grobfraktion im Hinblick auf Korrosion und Verwitterung gibt weitere Hinweise auf die klimatischen Bedingungen nach der Ablagerung (Tabelle 26, Kapitel 2.6.4).

Tabelle 26 Taxonomie Condition_Coarse (FAO 2006a)

Abbreviation	FullName	Description
fw	fresh or slightly weathered	Fragments show little or no signs of weathering.
w	weathered	Partial weathering is indicated by discoloration and loss of crystal form in the outer parts of the fragments while the centres remain relatively fresh and the fragments have lost little of their original strength.
sw	strongly weathered	All but the most resistant minerals are weathered, strongly discoloured and altered throughout the fragments, which tend to disintegrate under only moderate pressure.
n/a	not available	
o	other	

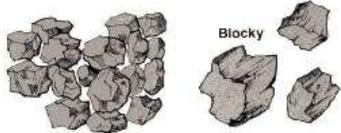
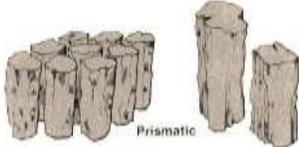
Concentration

Konzentrationen oder Konkretionen entstehen durch Anreicherung bestimmter Mineralien als Ausscheidungen aus wässrigen Lösungen infolge von pH-Schwankungen (Kapitel 2.6.3) (MARTIN 2002).

Soilstructure

In den Profilen einiger Höhlen und Abris gibt es Ansätze von Bodenbildung. Dabei bilden sich bestimmte Gefüge, die in der Taxonomie in Tabelle 26 aufgelistet sind (FAO 2006a).

Tabelle 27 Taxonomie Soilstructure (FAO 2006a, Abbildungen: FAO 2006b)

Abbreviation	FullName	Description	
SG	Single Grain	non - <coherent; where the individual soil particles show no tendency to cling together, such as pure sand;	
M	Massive	coherent; where the entire soil horizon appears cemented in one great mass	
G	Granular	Spheroids or polyhedrons, having curved or irregular surfaces that are not casts of the faces of surrounding aggregates	
Ba	Blocky angular	Blocks or polyhedrons, nearly equidimensional, having flat or slightly rounded surfaces that are casts of the faces of the surrounding aggregates. Subdivision is recommended into angular, with faces intersecting at relatively sharp angles, and subangular blocky faces intersecting at rounded angles	
Bs	Blocky sub angular		
Pr	Prismatic	The dimensions are limited in the horizontal and extended along the vertical plane; vertical faces well defined; having flat or slightly rounded surfaces that are casts of the faces of the surrounding aggregates. Faces normally intersect at relatively sharp angles. Prismatic structures with rounded caps are distinguished as columnar	
C	Columnar		
Pl	Platy	Flat with vertical dimensions limited; generally oriented on a horizontal plane and usually overlapping	
n/a	not available		
other	other		

Mottling

Verfärbungen, die zum Beispiel durch Oxidation und Reduktion entstehen können (FAO 2006a). Ein freies Feld bietet die Möglichkeit, die genaue Beschreibung des Autors einzutragen.

Reducing/Oxidizing

Grad der Reduktion oder Oxidation der Sedimente einer Schicht (Tabelle 28). Das Vorhandensein von Reduktion und Oxidation gibt wichtige Hinweise auf die Feuchtebedingungen im Sediment (SPONAGEL 2005).

Tabelle 28 Taxonomie Reducing/Oxidizing (Eigener Entwurf)

Abbreviation	FullName	Description
str	strongly reduced	Terms used by Authors
r	reduced	
slr	slightly reduced	
sto	strongly oxidized	
ox	oxidized	
slo	slightly oxidized	
n/a	not available	
o	other	

Organic Matter Content

Der Gehalt organischer Bestandteile wurde nur in vier der untersuchten Arbeiten angegeben, was darauf zurückzuführen ist, dass die meisten Autoren nur Feldbeschreibungen der Sedimente durchgeführt haben. Die Erfassung des organischen Gehalts bei zukünftigen Sedimentanalysen wird jedoch für wichtig erachtet, da auf diese Weise wichtige Rückschlüsse auf das Entstehungsmilieu der Sedimente gezogen werden können (Tabelle 29) (SPONAGEL 2005).

Tabelle 29 Taxonomie Organic Matter Content (SPONAGEL 2005)

Abbreviation	FullName	Description Lab
n/a	not organic	0%
vsl	very slightly organic	< 1 %
sl	slightly organic	1 - <2 %
mo	moderately organic	2 - <4 %
st	strongly organic	4 - <8 %
vst	very strongly organic	8 - <15 %
ex	extremely organic	15 - <30 %
or	organic	≥ 30 %
n/a	not available	
o	other	

pH

Auch der pH-Wert wurde nur von wenigen Autoren angegeben, kann jedoch ebenfalls wichtige Hinweise auf syn- und post-depositionale Prozesse geben.

Carbonate Content

Der Karbonatgehalt kann sowohl im Feld, als auch im Labor ermittelt werden. Tabelle 30 zeigt die entsprechenden Bezeichnungen für Feld- und Laborergebnisse.

Tabelle 30 Taxonomie Carbonate Content (FAO 2006b)

Abbreviation	FullName	Description Lab	Description Field
N	Non-Calcareous	0%	no detectible, visible or audible effervescence.
SL	Slightly Calcareous	0 - <2%	Audible effervescence, but not visible.
MO	Moderately Calcareous	2 - <10%	Visible effervescence.
ST	Strongly Calcareous	10 - <25%	Strong visible effervescence. Bubbles form a low foam.
EX	Extremely Calcareous	>25%	Extremely strong reaction. Thick foam forms quickly.
n/a	not available		
o	other		

Phosphate Content

Phosphate in Höhlen entstehen hauptsächlich durch die Exkremente in Höhlen lebender Tiere und sind daher ein aufschlussreicher Indikator für die Bewohnungshistorie der Fundstellen.

Miscellaneous

Besonderheiten der einzelnen Schicht, die im Rest der Tabelle nicht einzuordnen sind.

3.4.8 Sed_ Interpretation

In der Tabelle *Sed_ Interpretation* werden die Interpretation der Sedimentgenese und die klimatische Interpretation für jede Schicht aufgeführt, sofern diese von den Autoren angegeben wurde (Attributliste in Tabelle 31).

Lyr_ID

Da es sich um eine Subentität der Tabelle *Lyr_Info* handelt, wird der Identifikationsschlüssel der übergeordneten Tabelle verwendet.

Tabelle 31 Attributliste für die Tabelle 'Sed_Interpretation' (Eigener Entwurf)

Attribut	Datentyp	Wertebereich	Taxonomie /Freier Wert
LYR_ID	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Sed_Major	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Sed_Minor	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Temperature	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Humidity	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Taxonomie
Climate_Description	TEXT	alphanumerisch + Sonderzeichen	Freier Wert
Erosional boundary	JA/NEIN	Ja, Nein	
Hiatus	JA/NEIN	Ja, Nein	

Sed_Major

Das Attribut *Sed_Major* enthält den klimagenetischen Sedimenttyp. Das bedeutet: die Zuordnung zu einem dieser Sedimenttypen beinhaltet gleichzeitig eine klimagenetische Interpretation. Die in Anlehnung an Kapitel 2.6 entstandene Tabelle 32 beschreibt die einzelnen Sedimenttypen ausführlich. Sie ist in Anlehnung an Kapitel 2.6 entstanden. Die Angaben der Autoren sind häufig nicht sehr ausführlich, sodass der Anwender der Datenbank aus den gemachten Angaben des Autors selbst entscheiden muss, welcher Sedimenttyp vorliegt. Dies stellt sich meistens als kompliziert dar, da eine Interpretation des Sediments auf der Berücksichtigung vieler Variablen beruht. Ohne das Sediment in situ betrachtet, das Umfeld der Höhle selbst gesehen und die Analyse und Beschreibung des Sediments selbst durchgeführt zu haben, ist die Angabe eines interpretativen Sedimenttyps mehr als schwierig. Auch die Identifikation eines Hiatus bloß aufgrund der Angaben des Autors ist schwierig, da dieser meist nur durch mehrere Faktoren zu erkennen ist.

Sed_Minor

Sed_Minor bezieht sich ebenfalls auf Tabelle 32. Häufig gibt es mehr als ein Indikator-sediment pro Schicht, weswegen zwei Felder benötigt werden. *Sed_Minor* beinhaltet das in der Häufigkeit nachgeordnete Sediment.

Temperature

Die Temperaturen werden von den Autoren, aufbauend auf der Sedimentanalyse, mit subjektiven Begriffen wie ‚warm‘ und ‚kalt‘ oder ‚wärmer als vorher‘ und ‚kälter als vorher‘ angegeben. Die in Tabelle 33 aufgeführte Taxonomie wird vom Anwender der Datenbank verallgemeinernd für die Beschreibung der Autoren angewandt. Dabei kann nicht immer der genauen Bedeutung der Beschreibung des Autors entsprochen werden. Dafür können mithilfe der Taxonomie kartographische oder statistische Analysen vollzogen werden.

Tabelle 32 Taxonomie Sed_Major/Sed_Minor (FARRAND 2001, COURTY 1989)

Abbreviation	FullName	Source, location	Process	Contact to lower strata	Layer representing hiatus?	Diagnostic properties	Palaeoclimatic implications
a	Rock fall by spalling or collapse	Cave ceiling and wall, endogenic	Spalling	Non-erosive, compaction	No	Size, shape, angularity and frequency of coarse fraction	Freeze-thaw cycles, (the smaller the fragments, the more intensive and frequent are the cycles, cf. Farrand 2001), angularity can be misinterpreted since it also results from hydration weathering, seismic activity, dissolution
			Collapse	Non-erosive, compaction	No	Blocks and boulders, accumulation of accommodated fragments	
b	Disintegrated cave bedrock by physical weathering	Cave ceiling, wall and floor, endogenic	Chemical	Non-erosive	Depending on weathering rate	Grain-size corresponding to insoluble residues of host rock	Enhanced with increasing moisture and temperature
c	Disintegrated cave bedrock by chemical weathering	Cave ceiling, wall and floor, endogenic	Frost shattering	Non-erosive	Depending on weathering rate	Size, shape, angularity and frequency of coarse fraction	Freeze-thaw cycles
d	Windblown (eolian) dust	Exogenic through cave mouth (or fissures)	Aeolian deposition	Non-erosive	No	Grains size mode in the silt and fine sand fraction, differential geochemical	Drying, stronger winds

		in ceiling)				and heavy mineral composition	
e	Infiltrated or colluvial deposit	Exogenic through fissures in ceiling or cave mouth	Sheet flow	Non-erosive or erosive* depending on intensity of flow	No	Mode in the fine grain size, preweathered material	Drying or fire events to decrease vegetation cover; possibly change in rainfall distribution
			Solifluction or soil creep	Erosive*	No	Polymodal grain size distribution	Dito, + cooling if transport by gelifluction
f	Fluvial deposit (karst flow)	± endogenic from inside the cave system	Karst flow	Non-erosive or erosive*	No	Polymodal grain size distribution, possibly differential geochemical and mineralogical composition	Change in karst geometry: No climate signal, intrinsic process; No change in karst geometry: indication of catastrophic flood or sequential incision of river
g	Fluvial deposit (external stream)	exogenic from external streams	Fluvial processes	Non-erosive or erosive*	No	Polymodal grain size distribution, (possibly differential geochemical and mineralogical composition)	Change in channel geometry: No climate signal, intrinsic process; No change in channel geometry (confined channels): indication of increased flood magnitude (catastrophic flood), or sequential river incision

h	Travertine, Tufa	exogenic	Lake and sea shore deposi- tion	Erosive*	No	Very well round- ed gravel, poly- modal size dis- tribution (incl. eaolian impact)	Climate-related sea level is indicated
i	Beach sand or gravel (lito- ral zone)	endogenic	Precipitation of carbonate	Non-erosive, partly im- pregnate	Yes, if im- pregnate	Cemented or incrusted layers	Often correlated with high availability of moisture and increased percolation
j	Soil horizon	In-situ	Weathering and soil for- mation	Extending downwards	Yes	Formation of secondary struc- ture etc.	Stable geomorphodynam- ic conditions due to cli- mate amelioration
k	Cryoturbated layer	In-situ	Cryoturbation	Deformed	Not if defor- mation was syngenetic	Mixing of mate- rial, deformed boundary	Cold climatic conditions
n/a	not available						
o	Others						

Tabelle 33 Taxonomie Temperature (Eigener Entwurf)

Abbreviation	FullName	Description
w	warm	Any indication for warm temperatures or warmer temperatures than before
c	cold	Any indication for colder/cooler temperatures or colder/cooler temperatures than before
t	temperate	Any indication for temperate or moderate temperatures
n/a	not available	
o	other	

Humidity

Für die hygrischen Bedingungen gilt das gleiche wie für die Temperatur. Anhand der Taxonomie in Tabelle 34 schätzt der Anwender der Datenbank die Angaben des Autors ein, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Tabelle 34 Taxonomie Humidity (Eigener Entwurf)

Abbreviation	FullName	Description
h	humid	Any indication for humid conditions or more humid conditions than before
a	arid	Any indication for arid conditions or more arid conditions than before
hs	humid summers	
as	arid summers	
hw	humid winters	
aw	arid winters	
eh	episodical rainfall with tendency to high precipitation	
ea	episodical rainfall with tendency to low precipitation	
n/a	not available	
o	other	

palaeoclimatic interpretation of author

Um bei dieser wichtigen Angabe keinen Informationsverlust hinnehmen zu müssen, wird zusätzlich die klimatische Interpretation des Autors gemäß Wortlaut erfasst.

Erosional boundary

Eine Schichtlücke, die durch Abtragung des Materials entstanden ist.

Hiatus

Eine Schichtlücke, die durch ausbleibende Sedimentation entstanden ist.

3.5. Beziehungsmengen der sedimentologischen Datenbank

In Abbildung 17 sind die Beziehungen zwischen den Entitätsmengen durch die Zuordnung eines Fremdschlüssels (FK =Foreign Key) gekennzeichnet. Diese Beziehungen bilden gleichzeitig die Grundlage möglicher Abfragen, die mit der Datenbank erstellt werden können (Kapitel 4). Im Folgenden wird die die Struktur der in Abbildung 15 als Rhomben dargestellten Beziehungsmengen gezeigt:

3.5.1 Beziehungsmenge Verfügbarkeit

Die Beziehungsmenge *Verfügbarkeit* stellt die Relation zwischen den Tabellen *Sites* und *Lit_Info* her. (Abbildung 19). Diese wird über den Primärschlüssel der Tabelle *Lit_Info*, *Lit_Info_ID* und den Primärschlüssel der Tabelle *Sites*, *Site_ID*, hergestellt. Die *Site_ID* wird zur Herstellung der Beziehung in der Tabelle *Lit_Info* als Fremdschlüssel geführt. Auf diese Weise kann ein Anwender der Datenbank recherchieren, welche Arten von Informationen für welche Fundstellen vorhanden sind. *Verfügbarkeit* ist eine einfach-komplexe Beziehung. Das heißt, jeder *Site* können mehrere Tupel aus *Lit_Info* zugeordnet werden. Jeder *Lit_Info* wird genau eine *Site* zugeordnet.

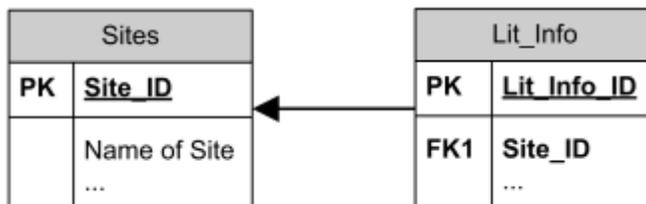


Abbildung 19 Beziehungsmenge ‚Verfügbarkeit‘ (Eigene Abbildung)

3.5.2 Beziehungsmenge Zuordnung I/II

Um die exakten Literaturangaben zu finden, muss eine Relation zwischen den Tabellen *Lit_Info* und *Literature* hergestellt werden. Diese Beziehungsmenge wird *Zuordnung I* genannt und entsteht durch die Kombination der Primärschlüssel *Lit_ID*, aus *Literature*, und *Lit_Info_ID*, aus *Lit_Info* (Abbildung 20). Die *Lit_ID* wird dazu als Fremdschlüssel in der Tabelle *Lit_Info_ID* aufgeführt. Es handelt sich um eine einfach-einfache Beziehungsmenge. Das heißt zu jedem Tupel aus *Literature*, passt genau ein Tupel aus *Lit_Info*.

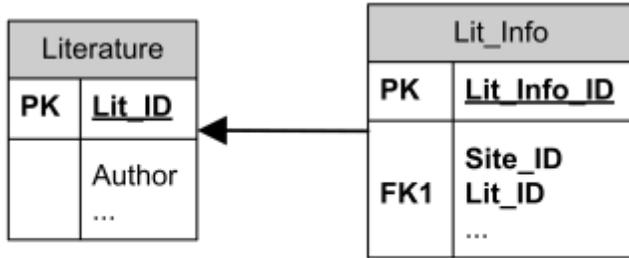


Abbildung 20 Beziehungsmenge ‚Zuordnung I‘ (Eigene Abbildung)

Auf diese Weise entsteht über die Tabelle *Lit_Info* eine indirekte Beziehung zwischen den Tabellen *Sites* und *Literature* (Abbildung 21).

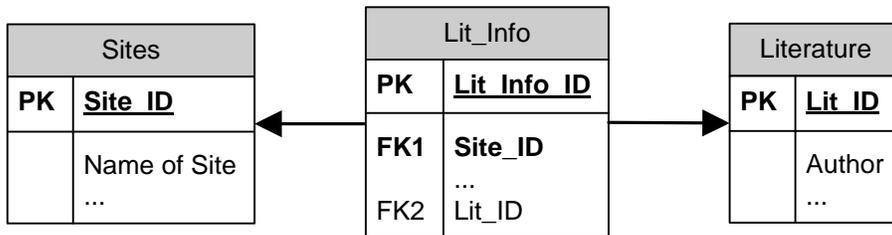


Abbildung 21 Beziehung zwischen den Tabellen *Sites*, *Lit_Info* und *Literature* (Eigene Abbildung)

Über die Beziehungsmenge *Zuordnung II* wird sichergestellt, dass die Informationen der Tabelle *Lyr_Info* der entsprechenden Quelle zugeordnet werden können. Die Beziehung zwischen den Tabellen *Lyr_Info* und *Literature* ist einfach-komplex: Jeder *Lyr_Info_ID* wird genau eine *Lit_ID* zugewiesen. Einer *Lit_ID* werden mehrere *Lyr_Info_ID*'s zugewiesen. Die *Lit_ID* wird deshalb in der Tabelle *Lyr_Info* als Fremdschlüssel aufgeführt (Abbildung 22).

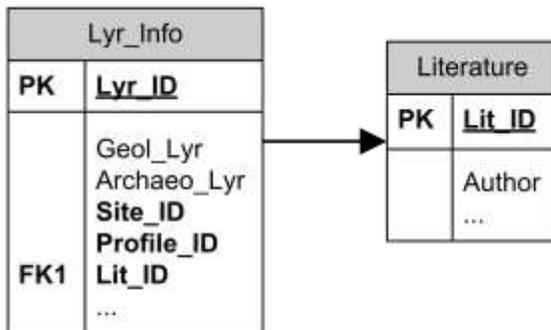


Abbildung 22 Beziehungsmenge ‚Zuordnung II‘ (Eigene Abbildung)

3.5.3 Beziehungsmenge Befindet sich in I/II

An einer Fundstelle können sich mehrere Profile befinden. Die Beziehungsmenge zwischen den Sites und den Profilen wird deshalb *Befindet sich in I* genannt (Abbildung 23).

Sie entsteht durch die Merkmalskombination *Site_ID* aus der Tabelle *Sites* und *Profile_ID* aus der Tabelle *Profiles*. Die *Site_ID* ist in der Tabelle *Profiles* als Fremdschlüssel zu finden. Es handelt sich um eine einfach-komplexe Beziehung: Jeder *Site* werden ein oder mehrere *Profile* zugewiesen, jedem *Profil* genau eine *Site*.

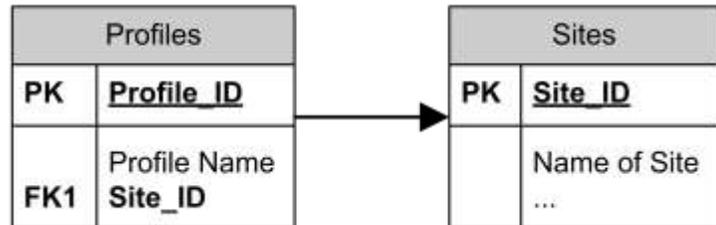


Abbildung 23 Beziehungsmenge 'Befindet sich in I' (Eigene Abbildung)

An jeder Fundstelle befinden sich mehrere Schichten. Die Beziehungsmenge, die eine Verbindung zwischen den Tabellen *Sites* und *Lyr_Info* herstellt heißt *Befindet sich in II* (Abbildung 24). Sie entsteht aus der Merkmalskombination *Site_ID* aus der Tabelle *Sites* und *Lyr_ID* aus der Tabelle *Lyr_Info*. Die *Site_ID* wird als Fremdschlüssel in der Tabelle *Lyr_Info* aufgeführt. Alle Subentitäten können über die Tabelle *Lyr_Info* mit der Tabelle *Sites* gekoppelt werden (Abbildung 25). Es handelt sich ebenfalls um eine einfach-komplexe Beziehung, da jeder *Site* mehrere *Layer* zugeordnet werden können und jedem *Layer* genau eine *Site* zugeordnet wird.

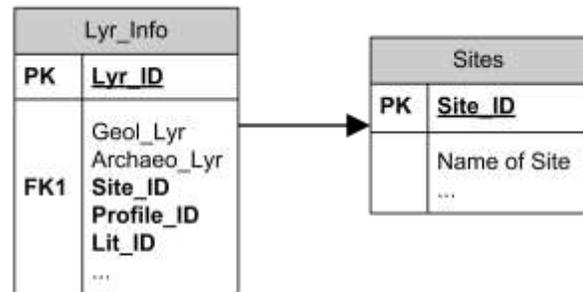


Abbildung 24 Beziehungsmenge 'Befindet sich in II' (Eigene Abbildung)

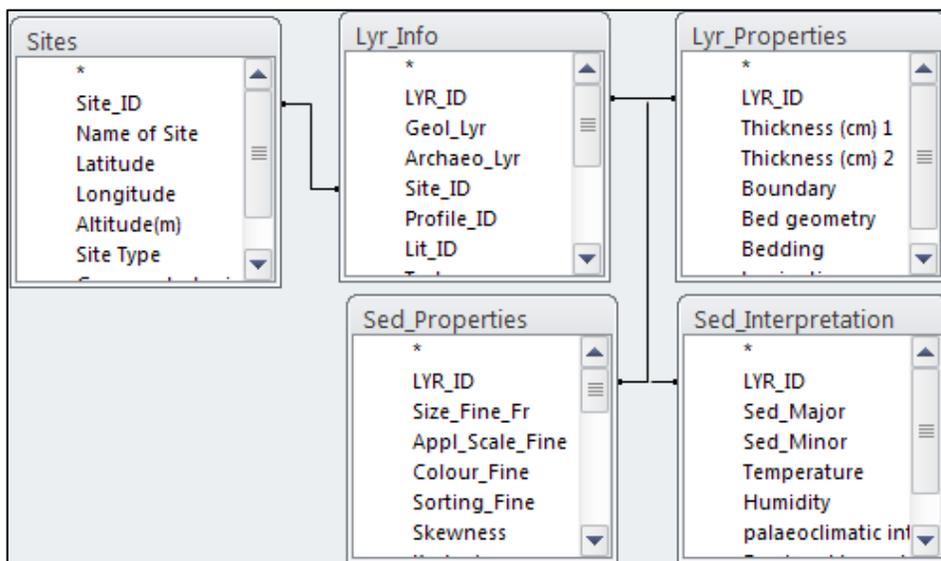


Abbildung 25 Beziehung zwischen Sites und layerbezogenen Tabellen (Eigene Abbildung)

4. Anwendung der Datenbank

Im folgenden Kapitel wird gezeigt, in welcher Weise die Datenbank angewendet werden kann. Dazu werden die Operatoren vorgestellt, welche die Grundlage für die Definition von Abfragen bilden. Anhand von potentiellen Forschungsfragen werden dann konkrete Abfragen formuliert, durch deren Anwendung die Arbeit der Wissenschaftler unterstützt werden kann. Die gezeigten Abfragen stellen nur eine Auswahl der möglichen Anwendungen dar. Der Anwender kann mit den erläuterten Operatoren eigene Abfragen erstellen.

4.1 Operatoren zur Erstellung von Abfragen und theoretische Grundlagen

Um Auswertungen mit einer Datenbank durchführen zu können, muss eine Datenbanksprache verwendet werden. Allen relationalen Datenbanksprachen liegt die Relationenalgebra zugrunde. Sie definiert algebraische Operatoren, die auf Tabellen angewendet werden. Diese können unterteilt werden in mengenorientierte und relationenorientierte Operatoren (MEIER 2010).

Mengenorientierte Operatoren sind Vereinigung (\cup), Durchschnitt (\cap), Subtraktion (\setminus) und das kartesische Produkt (\times). Voraussetzung für den Einsatz der mengenorientierten Operatoren – mit Ausnahme des kartesischen Produkts - ist, dass die Tabellen vereinigungsverträglich sind. Das bedeutet, dass die zu vereinigenden Tabellen gleichviele Attribute aufweisen und die Datentypen der korrespondierenden Attribute identisch sind (MEIER 2010). Das trifft auf keine der in der Datenbank vorhandenen Tabellen zu. Deshalb werden im Folgenden nur das kartesische Produkt und die relationenorientierten Operatoren erläutert, welche die Relationenalgebra voll funktionsfähig machen (MEIER 2010).

Kartesisches Produkt

Das kartesische Produkt (\times) bildet die Menge aller möglichen Kombinationen von Tupeln aus einer Tabelle A mit Tupeln aus einer Tabelle B. Das heißt die Tupel der beiden Tabellen werden miteinander multipliziert. Hat die Tabelle A n Tupel und die Tabelle B m Tupel so hat das kartesische Produkt aus $A \times B$ n mal m Tupel (MEIER 2010). Dieser Operator findet in der sedimentologischen Datenbank keine Verwendung, ist aber die Grundlage für den Verbundoperator (siehe weiter unten).

Projektionsoperator

Bei Projektionen (projection operator) wird aus einer Tabelle A eine Teiltabelle aufgrund einer Auswahl von Merkmalen (M) gebildet ($\pi_M A$). Sind die Merkmale (Spalten) der Tabelle A (X, Y, Z), bedeutet die Schreibweise $\pi_{X,Y}(A)$, dass nur die Merkmale X und Y angezeigt werden (MEIER 2010). Indem nur jene Merkmale einer Tabelle dargestellt werden, die zur Beantwortung einer bestimmten Frage nützlich sind, können die Daten der einzelnen Spalten direkt nebeneinandergestellt und einfacher analysiert werden.

Selektionsoperator

Der Selektionsoperator ($\sigma_F(A)$) filtert die Tupel der Tabelle A nach der Formel F. Die Formel F setzt sich aus einer Anzahl von Merkmalsnamen oder konstanten Werten zusammen, die durch Vergleichsoperatoren AND, OR und NOT miteinander kombiniert werden können. Das heißt, bei einer Selektion werden alle Tupel aus Tabelle A, die den definierten Selektionsbedingungen F entsprechen, ausgewählt und angezeigt (MEIER 2010).

Verbundoperator

Durch den Verbundoperator werden zwei oder mehr Tabellen zu einer Tabelle zusammengefügt ($A \times_P B$). Alle Tupel der Tabelle A werden mit allen Tupeln der Tabelle B kombiniert, die jeweils das Verbundprädikat P erfüllen. Das Verbundprädikat P unterscheidet den Verbundoperator vom kartesischen Produkt. Es enthält je ein Merkmal aus Tabelle A und aus Tabelle B. Die beiden Merkmale müssen durch einen Vergleichsoperator (=, >, <) in Beziehung gesetzt werden. Dadurch wird erreicht, dass die Tupel der Tabellen nicht beliebig miteinander verbunden werden, wie beim kartesischen Produkt, sondern nur jene Tupel zusammengefügt werden, die in Beziehung zueinander stehen. Bei Verwendung des Vergleichsoperators = erhält man einen Gleichheitsverbund ('equi-join').

Dasselbe Ergebnis wird erzielt, indem man das einfache kartesische Produkt der Tabellen A und B bilden würde ($A \times B$) und anschließend die Selektion $\sigma_P(A \times B)$ durchführen würde. Die Formel F entspricht in diesem Fall dem Selektionsprädikat P. Der Verbundoperator verbindet die beiden Schritte.

4.2 Die relationale Sprache SQL

Damit ein Anwender die Abfragen nicht anhand der Relationenalgebra formulieren muss, wurden sogenannte relationale Datenbanksprachen für mehr Benutzerfreundlichkeit entwickelt. SQL (Structured Query Language) ist eine durch die ISO normierte relationale Sprache. Sie ist eine der bekanntesten und gebräuchlichsten Sprachen und kommt auch in MS ACCESS zur Anwendung. Die Abfrage erfolgt nach dem Muster

```
SELECT      Merkmale
FROM        Tabellen
WHERE       Selektionsprädikat
```

Mit dem SELECT- Befehl werden, wie beim Projektionsoperator die abzubildenden Merkmale ausgewählt. Die Projektion $\pi_{X,Y}(A)$ mit SQL lautet:

```
SELECT X, Y
FROM A
```

Ein Verbund $A \times_{P, X=K} B$ mit dem SQL-Befehl ausgedrückt, lautet:

```
Select X, Y, Z, K, L, M
From A, B
Where X=K,
```

Wobei X, Y und Z die Merkmale von A sind und K, L, M die von B.

Eine Selektion $\sigma_F(A)$ mit $F = X = \text{Merkmalsausprägung}$ in SQL:

```
SELECT *
```

```
FROM A
```

```
WHERE X = Merkmalsausprägung,
```

Wobei der Platzhalter "*" bedeutet, dass alle Merkmale der Tabelle A in der resultierenden Tabelle angezeigt werden sollen (MEIER 2010).

Die Merkmale, Tabellen und Selektionsprädikate müssen mit der Schreibweise in der Tabelle identisch sein. Um komplexere Abfragen mit SQL auszuführen, sind sehr gute Kenntnisse der Sprache nötig. Für die gezeigten Abfragen in der Datenbank genügen die beschriebenen Operationen.

4.3. Abfragen mit MS Access

Das Datenbankprogramm Access von Microsoft unterstützt Abfragen in Form von SQL 92. Projektionen und Verbunde können in der benutzerfreundlichen Anwenderansicht über den Befehl „Abfrageentwurf“ aus dem Menü „Erstellen“ erfolgen. In diesem Fall müssen die SQL-Befehle nicht manuell, wie oben beschrieben, eingegeben werden (Abbildung 26). Unter „Tabelle anzeigen“ werden die zu verbindenden Tabellen ausgewählt. In der Zeile „Feld“ werden dann die Merkmale aller gewählten Tabellen in einer drop-down-Liste dargestellt. Die für die Analyse benötigten Attribute können hier ausgewählt werden. Ein Wechsel zur SQL-Ansicht ist problemlos möglich. In der Datenblattansicht wird dann die neue virtuelle Tabelle angezeigt.

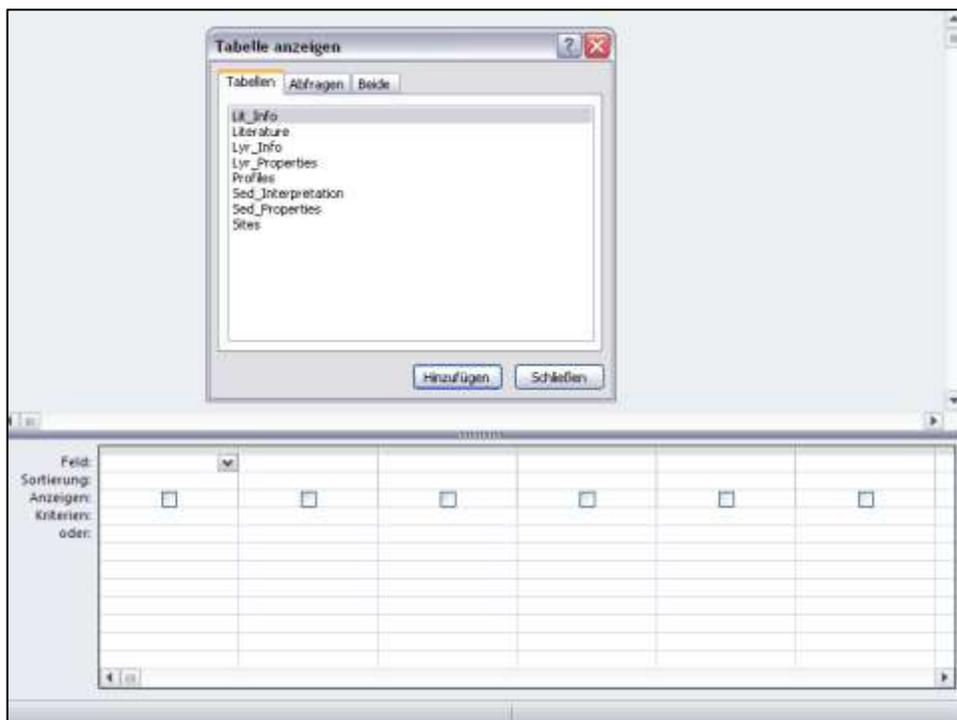


Abbildung 26 Screenshot des Abfrageentwurfs im Menü „Erstellen“ aus MS Access (Eigene Abbildung)

Auch Selektionsoperationen können in der Datenblattansicht erfolgen. Durch einen Klick auf die rechte Maustaste mit dem Cursor über dem zu filternden Attribut, erscheint der Textfilter mit der Auswahl „Gleich“, „Nicht gleich“, „Beginnt mit“, „Beginnt nicht mit“, „Enthält“, „Enthält nicht“, „Endet mit“ und „Endet nicht mit“ (Abbildung 27). Darüber hinaus können manuell durch Entfernen der Häkchen einzelne Merkmalsausprägungen ausgeblendet werden. Natürlich kann auch für die Filterfunktion die WHERE-Klausel in der SQL-Ansicht gewählt werden.

Die Syntaxen für Access SQL-Abfragen variieren leicht von den oben dargestellten. In der SELECT-Klausel werden die Attribute (X, K) immer mit dem zugehörigen Tabellennamen (A, B) angegeben Die SELECT-Klausel für eine Verbundabfrage $A_{x_P} \text{ }_{x=K} B$ lautet:

```
SELECT [A].[X], [B].[K]
```

Das Selektionsprädikat ist in die FROM-Klausel in Form der „INNER-JOIN-Klausel“ integriert. Der FROM-Befehl für einen Verbund $A_{x_P} \text{ }_{x=K} B$ sieht dann folgendermaßen aus:

```
FROM [A] INNER JOIN [B] ON [A].[X]=[B].[K]
```

Für die Abfragen die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben werden wird der SQL-Befehl angegeben und der Abfrageweg über die Entwurfsansicht geschildert.

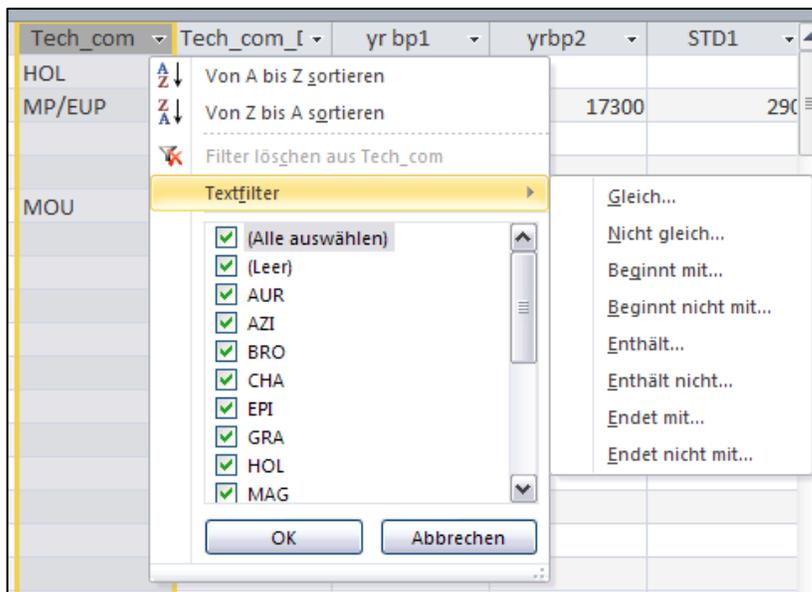


Abbildung 27 Screenshot der Funktion „Filtern“ in MS Access (Eigene Abbildung)

4.4 Beispiele möglicher Abfragen mit der Datenbank

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Datenbank bilden die Sites, die Literatur und die Layer. Diese spiegeln sich konsequenterweise auch in der Gliederung möglicher Abfragen wider:

1. Abfragen, die der Literaturrecherche dienen,
2. Abfragen, die Analysen und Vergleiche zwischen den Sites ermöglichen und
3. Abfragen, die Analysen und Vergleiche zwischen einzelnen Layern ermöglichen.

4.4.1 Abfragen für die Literaturrecherche mit der Datenbank

Ein Ziel der Datenbank ist es, Informationen über die Sites in Form von Literatur bereitzustellen und zu verwalten. Mögliche Fragen, die ein Anwender stellen könnte, sind:

- Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für eine Site vor?
- Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten die einen bestimmten Technokomplex abdecken?
- Für welche Sites liegen Abfragen mit klimatischer Interpretation vor?

Die Beziehungsmengen, auf welche die entsprechenden Abfragen aufbauen, sind *Zuordnung I* und *Verfügbarkeit* (Kapitel 3.5.1 und 3.5.2). In Kapitel 5.2.1 werden die Ergebnisse der hier gezeigten Anwendungen präsentiert.

„Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für eine bestimmte Site vor?“

Ist gefragt, für welche zeitlichen Abschnitte Literatur für eine Site vorliegen, werden über den „Abfrageentwurf“ im Menü „Erstellen“ die Tabellen *Sites*, *Lit_Info* und *Literature* ausgewählt. Angezeigt werden die Attribute *Name* (Tabelle *Sites*) *from (yr bp)* und *till (yr bp)* (Tabelle *Lit_Info*) und *Lit_ID* (Tabelle *Literature*) (Abbildung 28). Die resultierende Tabelle kann nach dem Attribut *Site* gefiltert werden.

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Lit_Info.[from (yr bp)], Lit_Info.[till (yr bp)], Literature.Lit_ID
```

```
FROM (Sites INNER JOIN Lit_Info ON Sites.Site_ID = Lit_Info.Site_ID) INNER JOIN Literature ON Lit_Info.Lit_ID = Literature.Lit_ID;
```

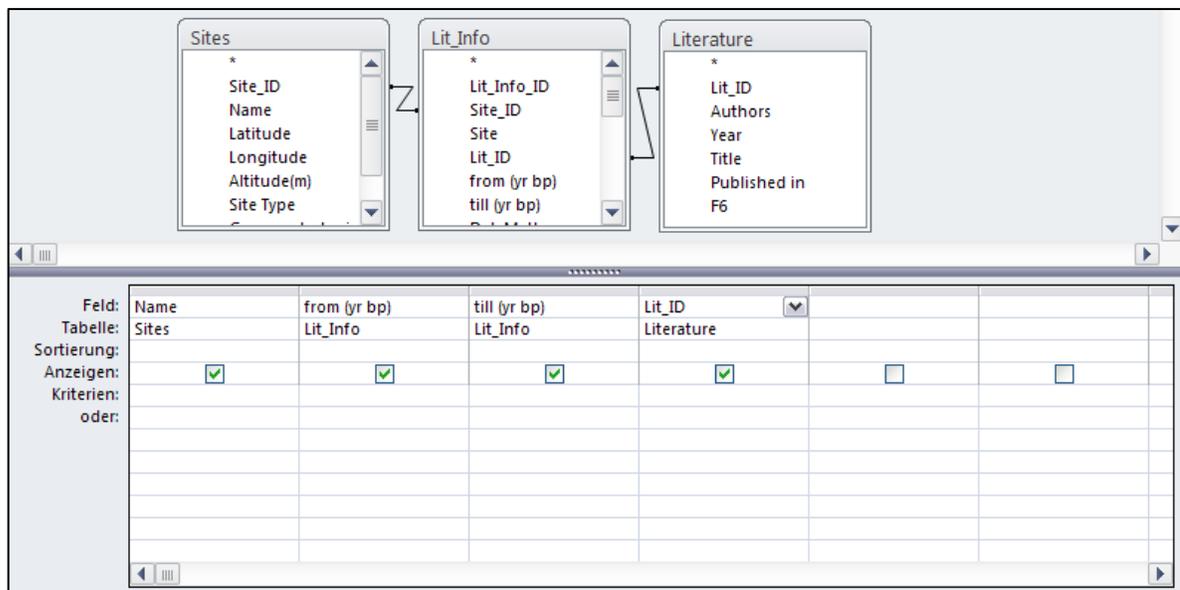


Abbildung 28 Abfrage „Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für eine bestimmte Site vor?“ (Eigene Abbildung)

„Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten die einen bestimmten Technokomplex abdecken?“

Eine andere Frage könnte lauten: Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten, die einen bestimmten Technokomplex abdecken? Hierzu werden dieselben Tabellen wie oben gewählt. Aus *Sites* wird wieder das Attribut *Name* gewählt, aus der Tabelle *Lyr_Info* wird *from* (*Tech_com*) und *till* (*Tech_com*) gewählt. Aus der Tabelle *Literature* wird die *Lit_ID* hinzugefügt. Das Attribut *from* (*Tech_com*) wird mit dem Textfilter „Gleich“ nach dem gesuchten Technokomplex gefiltert (Abbildung 29).

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Lit_Info.[from (Tech_com)], Lit_Info.[till (Tech_com)], Literature.Lit_ID
```

```
FROM (Sites INNER JOIN Lit_Info ON Sites.Site_ID = Lit_Info.Site_ID) INNER JOIN Literature ON Lit_Info.Lit_ID = Literature.Lit_ID;
```

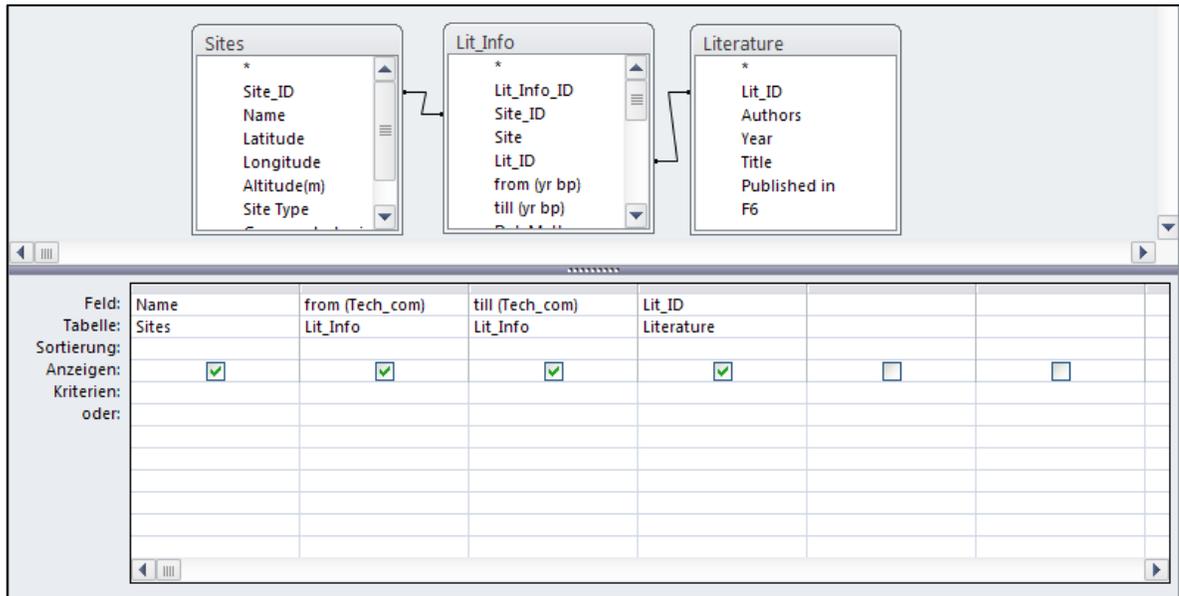


Abbildung 29 Abfrage Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten die den Technokomplex Mousterian abdecken?“ (Eigene Abbildung)

„Für welche Sites liegen Arbeiten mit klimatischer Interpretation vor?“

Um Genaueres über die Methoden herauszufinden, nach denen die Sedimente der Sites untersucht wurden, kann ebenfalls eine Abfrage erstellt werden. Bei einer konkreten Suche nach Arbeiten mit klimatischer Interpretation werden wieder dieselben Beziehungsmengen wie oben verwendet. Ausgewählt werden die Spalten *Name* (*Sites*), *Climatic Interpretation* (*Lit_Info*) und *Lit_ID* (*Literature*) (Abbildung 30). Durch Filtern des Attributs *Climatic Interpretation* nach allen Merkmalsausprägungen mit ‚yes‘ (Textfilter „Gleich“) erhält man die Liste aller vorhandenen Arbeiten mit klimatischer Interpretation.

SQL Befehl:

```

SELECT Sites.Name, Lit_Info.[Climatic Interpretation], Literature.Lit_ID
FROM (Sites INNER JOIN Lit_Info ON Sites.Site_ID = Lit_Info.Site_ID) INNER JOIN Literature ON Lit_Info.Lit_ID = Literature.Lit_ID;

```

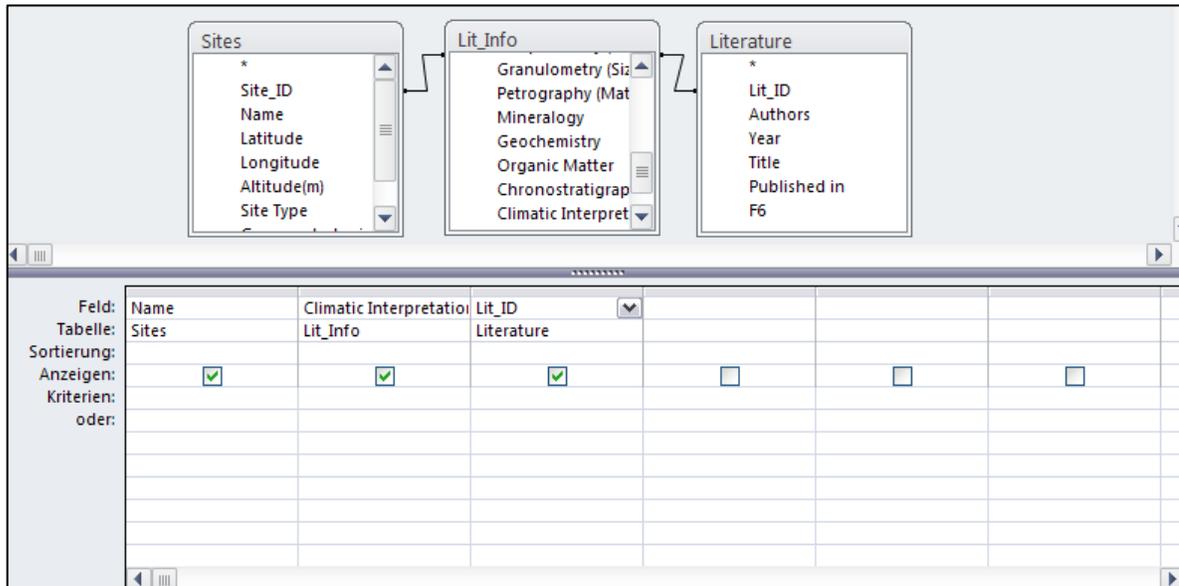


Abbildung 30 „Für welche Sites liegen Abfragen mit klimatischer Interpretation vor?“ (Eigene Abbildung)

4.4.2 Abfragen für großräumige Analysen

Um sich ein Bild über einen Sachverhalt für die gesamte IH zu machen, werden Vergleiche zwischen den Fundstellen der verschiedenen Regionen durchgeführt. Dadurch können regionale Unterschiede verschiedener Attribute besonders herausgestellt werden. Interessante Fragen aus Sicht der Archäologie könnten sein:

- Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?
- Wann hat der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in den verschiedenen Regionen der IH stattgefunden?
- An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?

Die Abfragen stützen sich auf die Beziehungsmenge *Befindet sich in* zwischen den Tabellen *Sites* und *Lyr_Info*. Die layerbezogenen Subentitäten *Lyr_Properties*, *Sed_Properties* und *Sed_Interpretation* sind durch die generalisierte Entität *Lyr_Info* ebenfalls durch die Beziehungsmenge *Befindet sich in* mit der Tabelle *Sites* verbunden.

„Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“

Kenntnisse über die räumliche Verteilung der Fundstellen und ihrer geologischen Lage können möglicherweise helfen, das Verhalten von Ur- und Frühmenschen nachzuvollziehen. Die Abfrage - eine Projektion - gestaltet sich wie folgt: Aus der Tabelle *Sites* werden die Attribute *Name*, *Latitude*, *Longitude*, *Altitude* und *Geology* gewählt.

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Sites.Latitude, Sites.Longitude, Sites.[Altitude(m)], Sites.Geology  
FROM Sites;
```

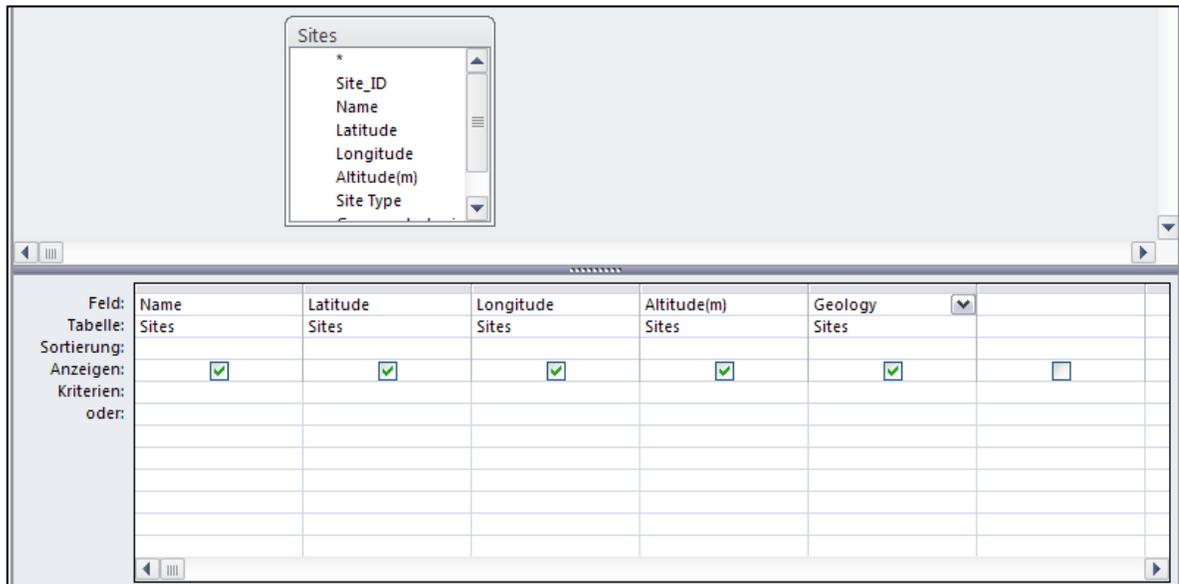


Abbildung 31 „Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“ (Eigene Abbildung)

„Wann hat der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in den verschiedenen Regionen der IH stattgefunden?“

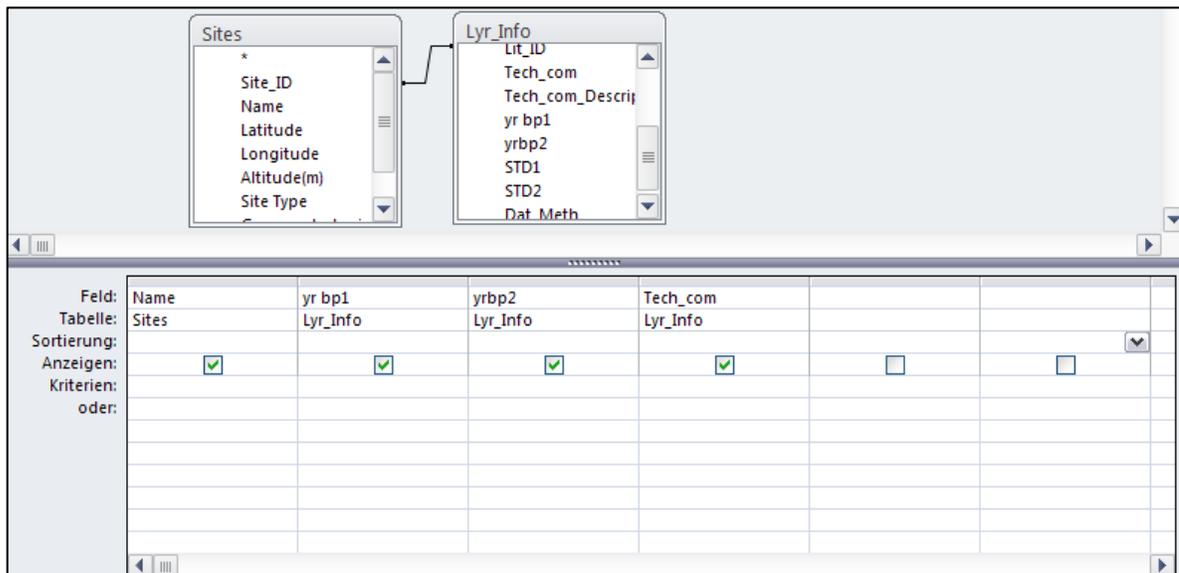


Abbildung 32 „Wann hat der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in den verschiedenen Regionen der IH stattgefunden?“ (Eigene Abbildung)

Eine weitere mögliche Abfrage nach vorhandenen Sedimentdatierungen (*yr bp*) aus der Tabelle *Lyr_Info* und den Technokomplexen (*Tech_com*) derselben Tabelle, zeigt das Alter der Sedimente einer Schicht und die entsprechende Zugehörigkeit zu einem Technokomplex derselben Schicht. Das Ergebnis wird nach jenen Technokomplexen gefiltert, die dem Mittel- bzw. dem Jungpaläolithikum zuzuordnen sind.

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Lyr_Info.[yr bp1], Lyr_Info.yrbp2, Lyr_Info.Tech_com
FROM Sites INNER JOIN Lyr_Info ON Sites.Site_ID = Lyr_Info.Site_ID;
```

„An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“

Die Abfrage, die zur Untersuchung dieser Fragestellung nützlich ist umfasst die Attribute *Name* (Tabelle *Sites*), *Hiatus* (Tabelle *Sed_Interpretation*) und *yr bp 1/yr bp 2* (Tabelle *Lyr_Info*). Ergänzend kann man das Attribut *Erosional Boundary* aus der Tabelle *Sed_Interpretation* hinzufügen. Der Unterschied zwischen Hiatus und Erosional Boundary wurde in Kapitel 3.4.8 erläutert.

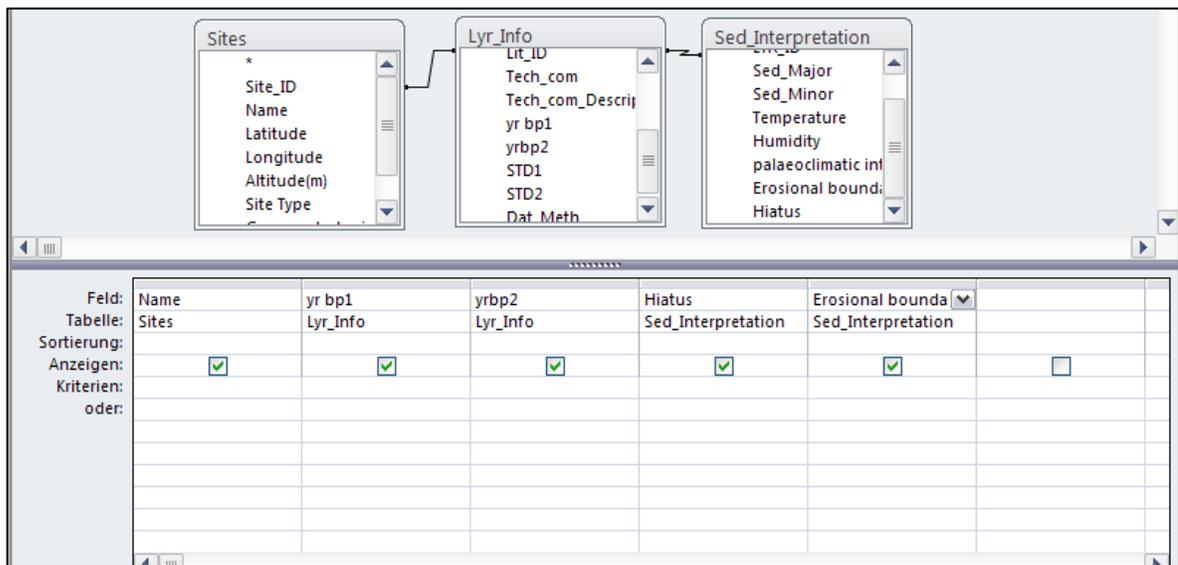


Abbildung 33 „An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“ (Eigene Abbildung)

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Lyr_Info.[yr bp1], Lyr_Info.yrbp2, Sed_Interpretation.Hiatus,
Sed_Interpretation.[Erosional boundary]
FROM (Sites INNER JOIN Lyr_Info ON Sites.Site_ID = Lyr_Info.Site_ID) INNER JOIN
Sed_Interpretation ON Lyr_Info.LYR_ID = Sed_Interpretation.LYR_ID;
```

4.4.3 Abfragen für schichtbezogene Analysen einer Site

Die Anwendungen für vergleichende Analysen der Layer einzelner Sites ermöglichen zum einen die Korrelation der Technokomplexe mit der klimatischen Entwicklung einer Site. Darüber hinaus können die Sedimentbeschreibungen der einzelnen Layer analysiert und mit den Interpretationen der Autoren abgeglichen werden. Mögliche Fragen sind:

- Welche Eigenschaften haben die Sedimente der einzelnen Layer?
- Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?
- Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?

„Welche Eigenschaften haben die Sedimente der einzelnen Layer?“

Die Tabelle *Sed_Properties* enthält detaillierte Beschreibungen der sedimentären Komponenten einer Schicht. Sollen die Beschreibungen der Grobfraktion untersucht werden, wird aus der Tabelle *Lyr_Info* das Attribut *Geol_Lyr* gewählt. Aus der Tabelle *Sed_Properties* werden die Attribute *Size_Coarse_1*, *Size_Coarse_2*, *Nature_Coarse*, *Description_Coarse*, *Roundness_Coarse*, *Form_Coarse*, *Abundance_Coarse* und *Condition_Coarse* gewählt. Alle Attribute mit dem Zusatz ‚_Coarse‘ beziehe sich auf die Grobfraktion.

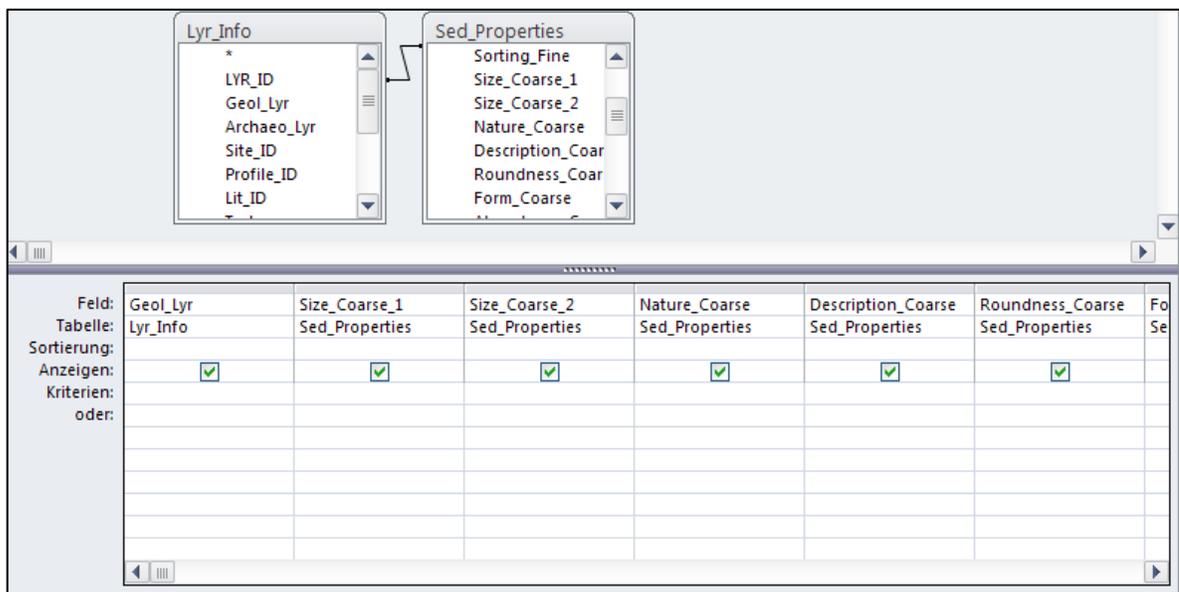


Abbildung 34 „Welche Eigenschaften haben die Sedimente der einzelnen Layer?“ (Eigene Abbildung)

SQL-Befehl:

```
SELECT          Lyr_Info.Geol_Lyr,          Sed_Properties.Size_Coarse_1,
Sed_Properties.Size_Coarse_2,          Sed_Properties.Nature_Coarse,
Sed_Properties.Description_Coarse,    Sed_Properties.Roundness_Coarse,
Sed_Properties.Form_Coarse,          Sed_Properties.Abundance_Coarse,
Sed_Properties.Condition_Coarse
```

```
FROM Lyr_Info INNER JOIN Sed_Properties ON Lyr_Info.LYR_ID = Sed_Properties.LYR_ID;
```

„Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“

Um die klimatische Entwicklung an einer Fundstelle nachzuvollziehen, wird folgende Abfrage ausgeführt: *Geol_Lyr* aus *Lyr_Info*, *Sed_Major* und *Sed_Minor* aus *Sed_Interpretation*.

SQL-Befehl:

```
SELECT Lyr_Info.Geol_Lyr, Sed_Interpretation.Sed_Major, Sed_Interpretation.Sed_Minor
FROM Lyr_Info INNER JOIN Sed_Interpretation ON Lyr_Info.LYR_ID = Sed_Interpretation.LYR_ID;
```

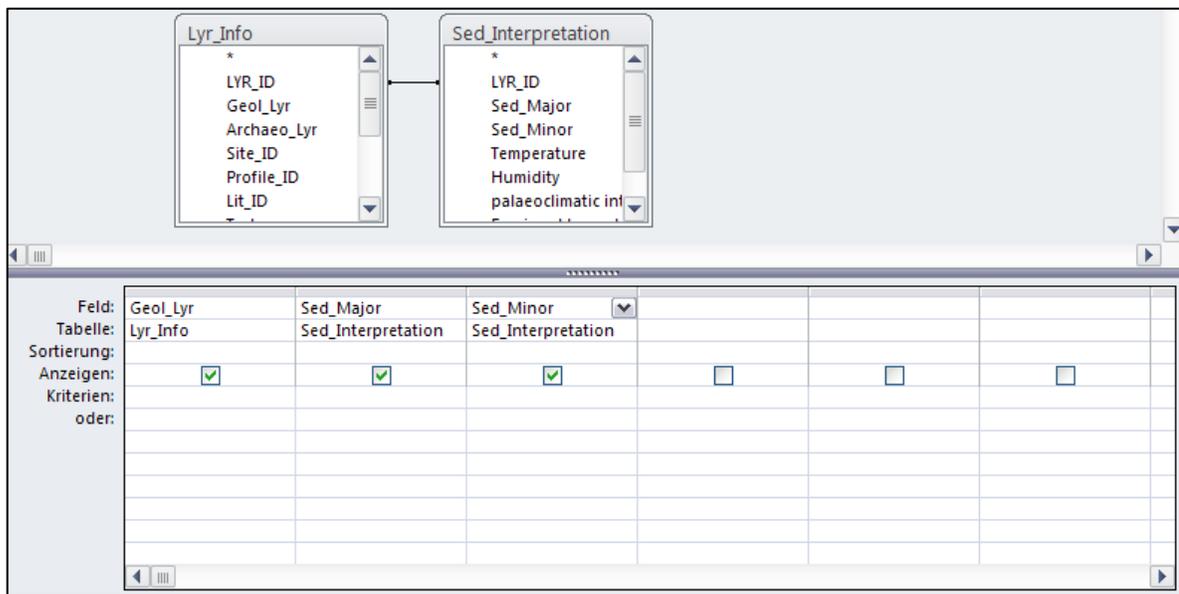


Abbildung 35 „Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“ (Eigene Abbildung)

„Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?“

Um die kulturellen Übergänge an einer Fundstelle den klimatischen Veränderungen gegenüber zu stellen, werden die Tabellen *Sites*, *Lyr_Info* und *Sed_Interpretation* im Abfrageentwurf ausgewählt. Angezeigt werden die Attribute *Name* (*Sites*), *Tech_com* (*Lyr_Info*) und *Temperature* und *Humidity* (*Sed_Interpretation*). Die Auswahl kann um die Attribute *yr bp1* und *yr bp2* ergänzt werden, sofern Datierungen der einzelnen Sedimente durchgeführt wurden. Diese Abfrage kann für jede Site gemacht werden, dafür wird der Filter „Gleich = *Name der Site*“ verwendet. Die Ergebnisse der einzelnen Abfragen werden in Kapitel 5.2.3 näher erläutert

SQL-Befehl:

```
SELECT Sites.Name, Lyr_Info.Tech_com, Sed_Interpretation.Temperature,  
Sed_Interpretation.Humidity
```

```
FROM (Sites INNER JOIN Lyr_Info ON Sites.Site_ID = Lyr_Info.Site_ID) INNER JOIN  
Sed_Interpretation ON Lyr_Info.LYR_ID = Sed_Interpretation.LYR_ID;
```

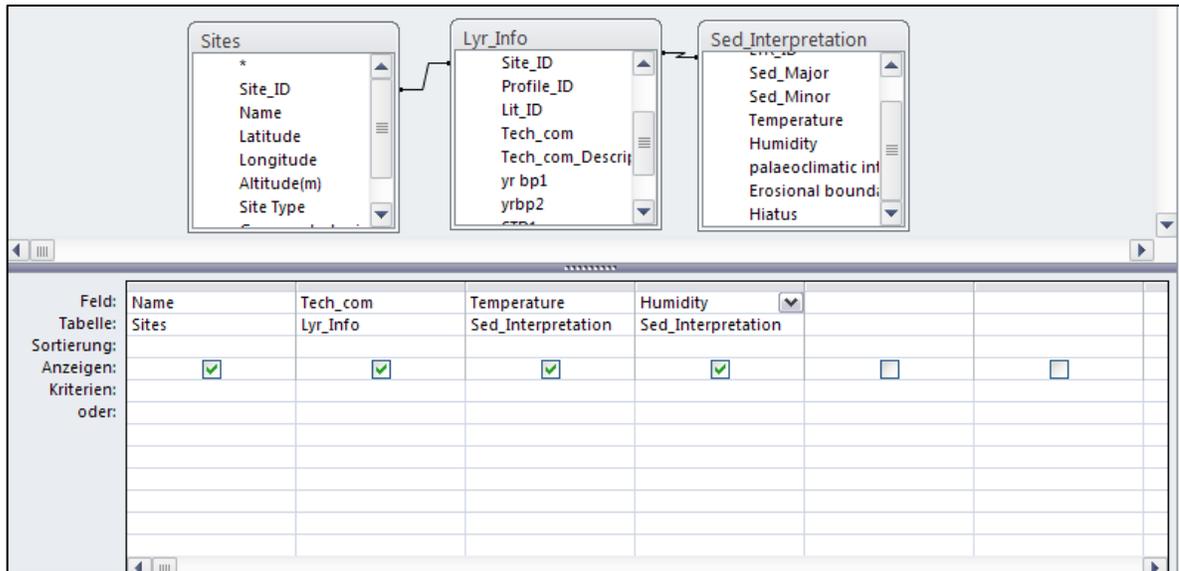


Abbildung 36 „Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?“

5. Präsentation der Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Datenbankkonzeption dargestellt (Kapitel 3). Dazu zählen die Resultate der Datenanalyse und der durchgeführten Literaturrecherche (Kapitel 3.3.1) sowie der Erstellung der Datenbankstruktur (Kapitel 3.3.2 und 3.3.3).

Im nächsten Schritt wird die Funktionsfähigkeit der Datenbank gezeigt. Dazu werden die in Kapitel 4 vorgestellten Anwendungen aufgegriffen und exemplarisch durchgeführt.

Ergänzend werden die Ergebnisse der Datenbankanwendung auf die gesammelten Daten der einzelnen Fundstellen gezeigt. Dazu wird eine kurze Einführung in die geographische Lage und Geologie der Fundstellen unter Anwendung der Datenbank gegeben. Die klimatische Entwicklung an den Fundstellen wird in Bezug auf allgemeine klimatische Tendenzen auf der IH im Oberpleistozän (Kapitel 2.2) erörtert.

5.1 Ergebnisse der Datenbankkonzeption

Die sedimentologische Datenbank stellt das Hauptergebnis dieser Arbeit dar. Ihre Konzeption wurde aufbauend auf Gesprächen mit den Mitgliedern des C1-Clusters und der Analyse von fundstellenspezifischer sowie fachspezifischer sedimentologischer Literatur vollzogen.

5.1.1 Literaturanalyse und -recherche

Wie eingangs erwähnt, wurde die Datenbankstruktur anhand der Literatur von 13 Sites entwickelt. Ein Teil der Literatur stammte aus dem Archiv des C1-Clusters. Da nicht zu allen ausgewählten Sites Literatur vorhanden war, wurde nach zusätzlicher Literatur recherchiert. Das Ergebnis dieser Recherche und die bereits vorhandenen Artikel sind in Anhang I aufgelistet.

Die Recherche nach sedimentologischen Arbeiten gestaltete sich mitunter schwierig. Daher konnte bislang nicht zu allen Fundstellen Literatur mit Sedimentanalysen beschaffen werden, die dem Konzept der erarbeiteten Datenbank entsprechen. Für die Sites Vale Boi, Cueva Boquete de Zafarraya, Jarama VI und Gorham's Cave wurde bis zur Fertigstellung der vorliegenden Arbeit keine adäquate Literatur gefunden.

Grund dafür ist, dass einige Autoren die Sedimentbeschreibung und -analyse nicht schichtenweise darstellen, sondern nur die konklusiven Ergebnisse ihrer Analysen aufführen (CARRIÓN & MUNUERA 1997, CARRIÓN et al 1999, VALLVERDÚ et al. 2005). Aufgrund dessen können die Informationen nicht in den schichtbezogenen Teil der Datenbank eingetragen werden. Das bedeutet, dass ein bedeutender Teil der Anwendungen mit diesen Daten nicht durchgeführt werden kann (Kapitel 4.4.3). Die Artikel wurden dennoch in die Tabelle Lit_Info aufgenommen und können so zum Vergleich der Ergebnisse mit denen der Datenbank herangezogen werden.

Andere vielversprechende Titel - häufig Abschlussarbeiten oder Festschriften - sind nur in lokalen Bibliotheken der Iberischen Halbinsel verfügbar und aufgrund dessen nicht ohne größeren Aufwand zu erhalten (z.B. VEGA-TOSCANO 1988). Das Datenvolumen der Daten-

bank ist deshalb mit den Sedimentanalysen zu neun Fundstellen noch zu gering, um aussagekräftige Ergebnisse auf Basis der gesamten IH zu erhalten.

Die angesammelte Literatur weist erhebliche Unterschiede in der Art und Intensität der Sedimentanalyse auf (Kapitel 3.3.1). Wie bereits erwähnt, gibt es in der Sedimentologie keine einheitlichen Richtlinien zur Charakterisierung von Sedimenten. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse auf verschiedenen Skalen ist nicht ohne weiteres möglich. Häufig fehlt eine Darstellung der gewählten Methoden und angewandten Skalen. Bei sehr knappen Ausführungen der Sedimentbeschreibung und -analyse ist es kaum möglich, die Interpretationen der Autoren nachzuvollziehen.

Hinzu kommt, dass viele der vorliegenden Arbeiten einen pollenanalytischen Schwerpunkt besitzen. Vor diesem Hintergrund ist die Sedimentbeschreibung ohnehin knapp gehalten. Die klimainterpretativen Ergebnisse dieser Arbeiten sind ohne Kenntnisse der Palynologie nicht nachvollziehbar.

Das Ergebnis der Literaturrecherche zeigt, dass gerade im Bereich der Sedimentbeschreibungen und -analysen noch ein Bedarf nach detaillierteren Ausarbeitungen besteht. Es gibt zwar zahlreiche sedimentologische Arbeiten zu den Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel, diesen mangelt es jedoch oft an einer ausführlichen Darstellung der gewählten Methoden und der durch sie erlangten Interpretationen.

5.1.2 Erstellen des Datenbankkonzepts

Die Heterogenität der Datenlage erschwerte das Erstellen eines einheitlichen Datenbankkonzepts. Durch die Studie ergänzender fachspezifischer Literatur konnten die Unterschiede jedoch überwunden werden. So ist ein einheitliches Konzept entstanden, welches auch den Vergleich von Daten aus unterschiedlichen Quellen ermöglicht.

Die fünf entstandenen Entitäten *Sites*, *Profiles*, *Lit_Info*, *Literature* und *Lyr_Info* umfassen Informationen zu den Sites im Allgemeinen, Informationen zur vorliegenden Literatur, deren Quellenangaben und einen schichtbezogenen Teil (Abbildung 15, Kapitel 3.3.2). Dieser ist in drei Subentitäten (Spezialisierungen) gegliedert. Neben allgemeinen Informationen zur Bezeichnung und dem Alter der Schichten, werden detaillierte Beschreibungen von Schicht- und Sedimenteigenschaften erfasst. Die Interpretation der sedimentbildenden Prozesse wird mit der Tabelle *Sed_Interpretation* ebenso berücksichtigt. Damit entsprechen die Entitäten allen Forderungen der Mitglieder des C1-Clusters (Abbildung 12, Kapitel 3.3.1).

Die schichtbezogenen Tabellen enthalten wichtige Informationen für inhaltliche Analysen der Fundstellen (Kapitel 4.4.3). Der Ausarbeitung der Tabellenstrukturen für diese Entitäten wurde deshalb besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Merkmale der sedimentbeschreibenden Tabelle (*Sed_Properties*) wurden in enger Anlehnung an jene Attribute erstellt, die in der Literatur in Anhang I zur Sedimentbeschreibung verschiedener Fundstellen verwendet wurden. Sie wurden mit den in der Fachliteratur benutzten Konzepten zur Sedimentbeschreibung abgeglichen, modifiziert und in ein einheitliches Schema gebracht (Kapitel 3.4.7). Die entstandene Tabellenstruktur ermöglicht die Erfassung der Ergebnisdarstellungen der verschiedenen Autoren und Fundstellen. Sie berücksichtigt darüber hinaus die Komplexität und Idiosynkrasie von Höhlensedimenten.

Auch die unterschiedlichen Methoden zur Sedimentbeschreibung und -analyse finden Berücksichtigung. So kann für die Angabe der Korngröße im Feld *Appl_Scale_Fine* (*Sed_Properties*) die verwendete Skala zur Einteilung der Korngrößen angegeben werden. In der Tabelle *Lyr_Info* kann im Feld *Dat_Meth* die zur Sedimentdatierung verwendete Methode angewendet werden. Auf diese Art können die Ergebnisse der Autoren besser verstanden und gedeutet werden.

Für Sedimenteigenschaften, die in der Literatur in sehr unterschiedlicher Ausführlichkeit beschrieben werden, wurde ein freies Feld angelegt, in welches der Wortlaut des Autors eingetragen wird. Dazu gehören zum Beispiel die Merkmale *Concentrations*, *Lamination* und *Mottling*. Für diese Felder war eine Vergleichbarkeit, in Form einer Taxonomie, ohne größeren Informationsverlust nicht herzustellen. Oft waren bei diesen Merkmalen die Angaben der Autoren zu gering oder ungenau, um sie in eine vorgegebene Taxonomie zu übersetzen.

Für Attribute, die im Gegensatz dazu ohne großen Informationsverlust in ein einheitliches Vokabular überführt werden konnten, wurden dementsprechend Taxonomien gebildet. Durch eine einheitliche Darstellung der Informationen in der Datenbank wird eine quellenunabhängige Vergleichbarkeit ermöglicht. So können auch statistische Auswertungen und Selektionen nach bestimmten Merkmalsausprägungen durchgeführt werden (mehr zu Selektionen in Kapitel 5.1).

5.2 Ergebnisse der Datenbankanwendung

Die in Kapitel 4.4 gezeigten Anwendungsbeispiele sind auf die Forschungsfragen der Mitglieder des C1-Clusters abgestimmt. Ihre Funktionsfähigkeit soll im Folgenden anhand von Beispielen gezeigt werden.

Die Ergebnisse der Anwendung basieren auf den Daten der bislang zusammengestellten Literatur (Anhang I). Da das Datenvolumen aufgrund der in Kapitel 5.1 geschilderten Problematik noch sehr gering ist und bisher nur die Literatur von 13 Sites bearbeitet wurde, sind die gezeigten Ergebnisse der großräumigen Analysen nicht repräsentativ. Dennoch soll gezeigt werden, wie die Datenbank angewendet werden kann und welche Erkenntnisse daraus gewonnen werden können.

5.2.1 Ergebnisse für Abfragen zur Literaturrecherche mit der Datenbank

Die Literaturrecherche stellt einen wichtigen Bestandteil der Arbeit mit der Datenbank dar. Eine effektiv angelegte Recherche kann eine große Zeitersparnis bedeuten.

Durch die Tabelle *Lit_Info* ist gewährleistet, dass ein Anwender zielgerichtet nach Literatur suchen kann. Die angelegten Attribute (Kapitel 3.4.2) schlüsseln den Inhalt einer Arbeit so auf, dass Literatur nach spezifischen Methoden der Sedimentanalyse oder für bestimmte Zeitabschnitte gesucht werden kann. Mit der Filterfunktion kann exakt nach gewissen Merkmalsausprägungen gesucht werden (z.B. Sites, Technokomplexe, Methoden). Durch die Beziehungsmenge *Zuordnung I* (Kapitel 3.5.2) kann die exakte Quellenangabe des Artikels abgerufen werden.

Die folgenden Beispiele zur Literaturabfrage sind die Ergebnisse der in Kapitel 4.4.1 gezeigten Anwendungen:

„Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für die Site Nerja vor?“

Tabelle 35 zeigt das Ergebnis einer Literaturrecherche mit der Datenbank. Gesucht wurde nach Literatur für die Site Cueva de Nerja unter der Fragestellung: Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für die Site Nerja vor? Das Ergebnis zeigt, dass für diese Fundstelle Artikel vorliegen, welche die Zeiträume von 24.000 bis 6.420 Jahren vor Heute und von 25.000 bis 40.000 Jahren vor Heute abdecken. Durch den Fremdschlüssel *Lit_ID* kann über die Beziehungsmenge *Zuordnung I* die Quellenangabe herausgefunden werden.

Tabelle 35 Ergebnis für die Abfrage: „Für welche zeitlichen Abschnitte liegt Literatur für die Site Nerja vor?“ (Auszug aus Datenbank)

Abfrage Name aus Sites, from (yr bp) und till (yr bp) aus Lyr_Info und Lit_ID aus Literature			
Name	from (yr bp)	till (yr bp)	Lit_ID
Nerja, Cueva de	24000	6420	Aur_02
Nerja, Cueva de	25000	4000	Cor_08

„Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten, die den Technokomplex Mousterian abdecken?“

Tabelle 36 zeigt die Liste der Fundstellen zu welchen Arbeiten vorliegen, die den Technokomplex Mousterian beinhalten. Die Spalte *from (Tech_com)* wurde nach der Merkmalsausprägung „MOU“ (=Mousterian) gefiltert. Da in der Tabelle *Lit_Info* nur der früheste bzw. späteste in der Arbeit beschriebene Technokomplex angegeben ist, werden bei dieser Selektion dazwischenliegende Technokomplexe nicht berücksichtigt.

Tabelle 36 Ergebnis für die Abfrage: „Zu welchen Sites gibt es sedimentologische Arbeiten, die den Technokomplex Mousterian abdecken?“ (Auszug aus Datenbank)

Abfrage Name aus Sites, from (Tech_com) und till (tech_com) aus Lyr_Info und Lit_ID aus Literature			
Name	from (Tech_com)	till (Tech_com)	Lit_ID
Arbreda, Cueva de L'	MOU	EPI	Car_99
Beneito, Cueva	MOU	BRO	Fum_92
Carigüela, Cueva de la	MOU	MOU	Car_92b
Lezetxiki	MOU	MAG	Arr_05
Morín, Cueva	MOU	NEO	But_81
Morín, Cueva	MOU	AUR	Mai_01
Abric Romani	MOU	MOU	Car_99

„Für welche Sites liegen Arbeiten mit klimatischer Interpretation vor?“

Wie bereits erwähnt, haben nicht alle Autoren eine klimatische Interpretation der Sedimentgenese durchgeführt. In Tabelle 37 sind alle Fundstellen aufgelistet, für welche Literatur mit klimatischer Interpretation vorliegen. Es wurden 16 Arbeiten für zehn verschiedene Sites gefunden. Nicht für alle Arbeiten, die in dieser Tabelle aufgeführt sind, wurden die Interpretationen schichtenweise angegeben. Die Ergebnisse jener Arbeiten, die eine klimatische Interpretation für jede Schicht beinhalten, finden sich in der Tabelle *Sed_ Interpretation* wieder (BUTZER 1981, CORTÉZ-SÁNCHEZ et al. 2008, FUMANAL & CARRIÓN 1992, CARRIÓN et al 1999, CARRIÓN 1992b, AURA TORTOSA et al 2002, ARTEAGA et al 2001, ARRIZABALGA et al. 2005).

Tabelle 37 Ergebnis für die Abfrage: „Für welche Sites liegen Abfragen mit klimatischer Interpretation vor?“ (Auszug aus Datenbank)

Abfrage Name aus Sites, Climatic Interpretation aus Lyr_Info und Lit_ID aus Literature		
Name	Climatic Interpretation	Lit_ID
Abric Romani	yes	Art_01
Abric Romani	yes	Val_05
Arbreda, Cueva de L'	yes	Car_99
Bajondillo, El	yes	Cor_08
Bajondillo, El	yes	Ber_05
Beneito, Cueva	yes	Fum_92
Carigüela, Cueva de la	yes	Car_92b
Castillo, El	yes	But_81
Castillo, El	yes	San_05
Gorham's cave	yes	FiG_08
Gorham's cave	yes	Car_08
Gorham's cave	yes	Car_08
Lezetxiki	yes	Kor_67
Lezetxiki	yes	Arr_05
Morín, Cueva	yes	But_81
Morín, Cueva	yes	San_05
Nerja, Cueva de	yes	Aur_02

5.2.2 Ergebnisse für Abfragen großräumiger Analysen

Nach der Darstellung möglicher Literaturrecherchen, wird im Folgenden gezeigt, wie die Datenbank inhaltlich zum Forschungsgeschehen beitragen kann.

Die ausgewerteten Artikel (Anhang I) befassen sich mit den Umweltbedingungen und kulturellen Übergängen jeweils einer Fundstelle auf der IH. Um klimatische oder kulturelle Veränderungen auf einer regionalen Ebene oder sogar auf Ebene der gesamten IH auszuwerten, müssen die Analysen einzelner Autoren miteinander verglichen werden. Dies stellt gewisse Schwierigkeiten dar. Zum einen werden unterschiedliche Methoden verwendet, zum anderen ist es schwierig, bei der Vielzahl der Schichten pro Fundstelle einen Überblick zu erhalten.

Durch die in der Datenbank verwendeten Taxonomien werden die Ergebnisse der Autoren so aufbereitet, dass eine Vergleichbarkeit möglich wird. Mit den gezeigten Anwendungen (4.4.2) können die Daten auf einfache Weise übersichtlich dargestellt werden. Derartige Analysen können auch anhand von dynamischen Karten in einem GIS durchgeführt werden.

„Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“

Tabelle 38 ist eine Projektion der Attribute *Name* und *Geology* aus der Tabelle *Sites*. Bei Betrachtung der Spalte *Geology* wird deutlich, dass alle bisher untersuchten Sites in Gebieten kalkhaltigen Gesteins angesiedelt sind. Da 13 Sites noch keine aussagekräftige Datenbasis bilden, kann daraus zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch keine Regelmäßigkeit geschlossen werden.

Tabelle 38 Ergebnis für die Abfrage: „Gibt es ein Muster in der räumlichen Verteilung der Fundstellen in Bezug auf die Geologie?“ (Auszug aus Datenbank)

Abfrage <i>Name</i> und <i>Geology</i> aus <i>Sites</i>	
Name	Geology
Abric Romani	Travertine
Arbreda, Cueva de L'	Pleistocene Limestone
Bajondillo, El	Travertine
Beneito, Cueva	dolomías grises
Boquete de Zafarraya,	calcaire
Carigüela, Cueva de la	lower jurassic limestones
Castillo, El	white compact and massive-bedded Liassic Limestones
Gorham's cave	manifestación karstica sobre sustrato liásico
Jarama VI	upper cretaceous dolomite and limestone
Lezetxiki	Weald Calizas Arrezcifales (= Riffkalk)
Nerja, Cueva de	triassic recrystallised dolomitic marbles
Morín, Cueva	folded Aptian (Cretaceous) Limestone

„Wann hat der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in den verschiedenen Regionen der IH stattgefunden?“

Eine wichtige Frage von Seiten der Archäologen ist, wann der Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum stattgefunden hat und ob es auf der IH Refugien gab, an denen die mittelpaläolithischen Kulturen länger existierten als an anderen Orten.

In Abbildung 37 sind Datierungen von Sedimentschichten zu sehen, in denen Artefakte mittelpaläolithischer Technokomplexe gefunden wurden. Abbildung 38 zeigt diejenigen des Jungpaläolithikums. Darin wird ersichtlich, dass der Wechsel vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in verschiedenen Regionen der IH mit einiger zeitlicher Distanz stattgefunden haben muss.

Die jüngsten Schichten des Mittelpaläolithikums im Norden der IH sind 33.500 Jahre alt, im Nordosten 85.100 Jahre, im Süden 40.000 und im Südosten 38.800. Die ältesten Sedimentschichten mit Artefakten des Jungpaläolithikums im Norden der IH sind 20.105 Jahre alt, im Süden der IH 9.000 bzw. 10.860 Jahre alt und an der Mittelmeerküste 33.900 Jahre.

Die Werte für die Sedimentdatierungen wurden der verwendeten Literatur aus Anhang I entnommen. Da nur an wenigen der ausgewählten Sites bisher Datierungen stattgefunden haben, ist das Datenvolumen noch sehr gering. Die Abbildungen geben dennoch einen Eindruck davon, wie die Ergebnisse einer Abfrage dargestellt werden können. Es wird deutlich, dass die kartographische Abbildung der Daten für den Anwender weitaus übersichtlicher sind, als eine schriftliche Wiedergabe. Die Herstellung derartiger Abbildungen kann dank der tabellarischen Aufbereitung der Daten schnell und einfach geschehen.

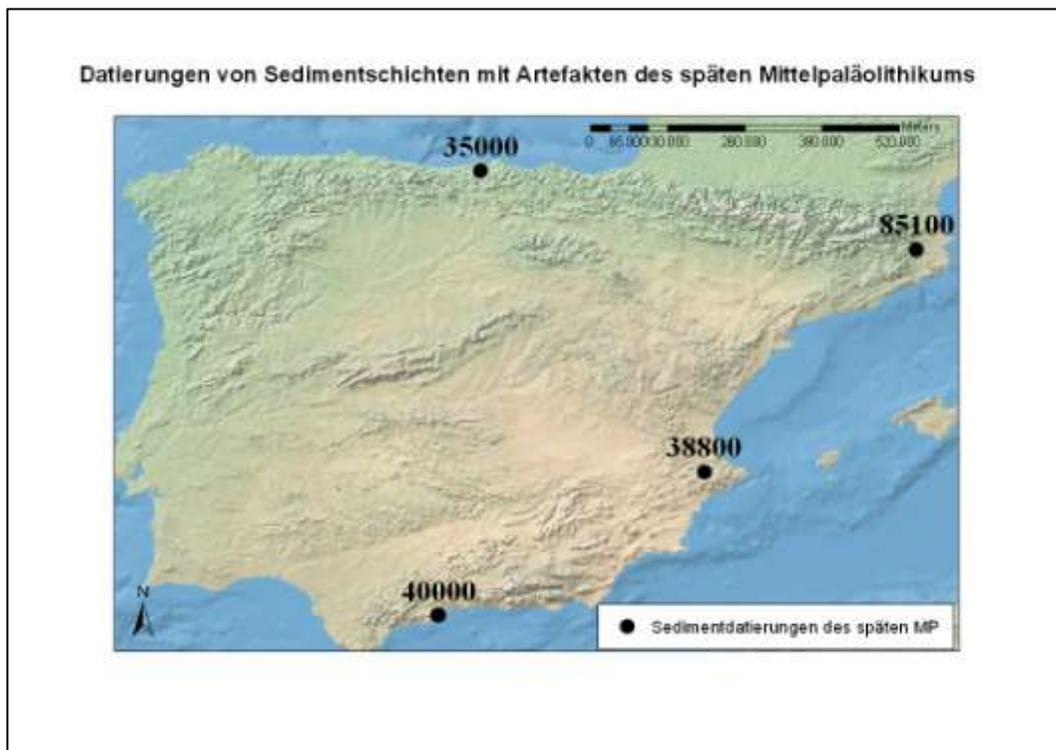


Abbildung 37 Sedimentdatierungen aus verschiedenen Schichten des späten Mittelpaläolithikums (Eigene Abbildung)

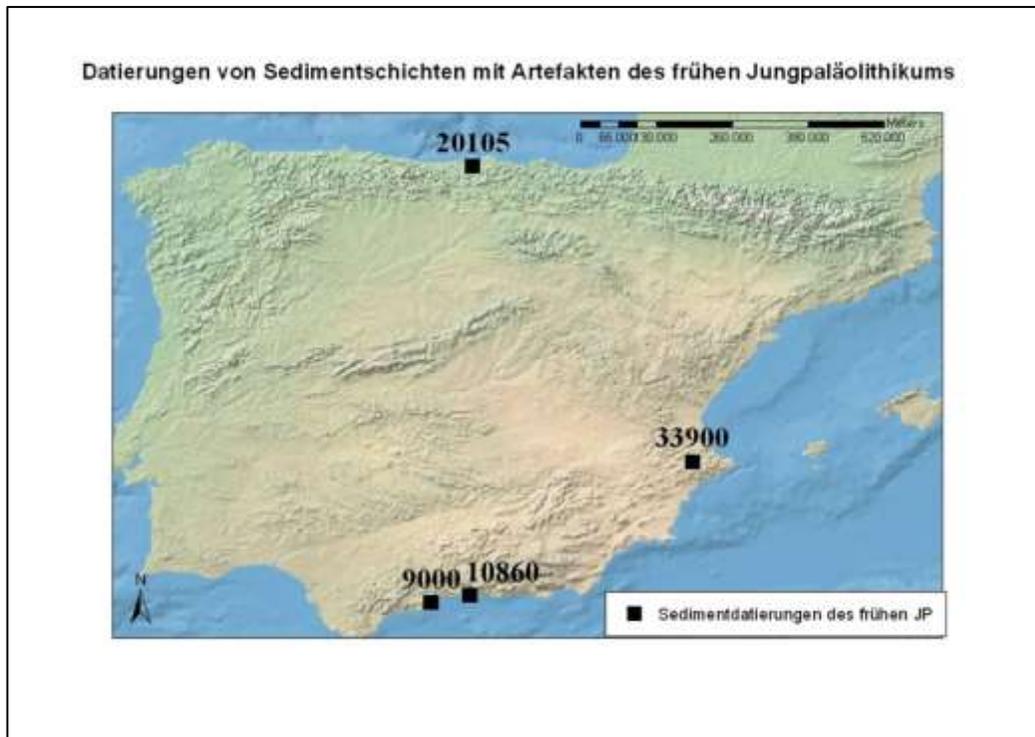


Abbildung 38 Sedimentdatierungen aus verschiedenen Schichten des frühen Jungpaläolithikums (Eigene Abbildung)

„An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“

Hiatus sind Schichtlücken, in denen keine Sedimentation stattgefunden hat. Unter Erosional Boundary wird eine Schichtlücke verstanden, die durch Abtragung des Sediments, also Erosion bzw. Denudation, entstanden ist. Schichtlücken geben daher wichtige Hinweise auf Sedimentationsprozesse. Darüber hinaus sind sie für die Archäologen zur Interpretation der kulturellen Entwicklung von Bedeutung.

Leider liefern die meisten Autoren keine Interpretation der Genese der Schichtgrenzen, auch eine Beschreibung der Form der Schichtgrenze (*Bed geometry* in Tabelle *Lyr_Properties*) wird nicht immer angegeben. Hat der Autor eine Interpretation der Sedimentgenese durchgeführt, kann anhand dieser möglicherweise ein Rückschluss darauf gezogen werden, ob eine Erosion der Schichtgrenze stattgefunden hat. In Tabelle 32 ist abgebildet, welche genetischen Sedimenttypen mit erosiven Prozessen in Verbindung gebracht werden. Allerdings ist eine eindeutige Zuordnung der Sedimenttypen zu erosiven oder nicht-erosiven Prozessen nicht möglich. Die Beschaffenheit der Schichtgrenzen ist von mehreren Faktoren abhängig. Die Angaben der Autoren reichen jedoch nicht für eine rückwirkende Interpretation aus.

Tabelle 39 zeigt, an welchen der bisher bearbeiteten Fundstellen Hiatus' von den Autoren festgestellt wurden und welche Kultur damit in Verbindung gebracht werden kann. Demzufolge wurden an den Sites El Castillo und Lezetxiki Schichtlücken festgestellt. In Lezetxiki wird eine Korrelation des Hiatus' mit dem Aurignacian hergestellt. Für El Castillo ist keine zeitliche oder kulturelle Zuordnung erfolgt.

Tabelle 39 Ergebnis für die Abfrage: „An welchen Sites sind Hiatus festzustellen und welche zeitliche Einheit betreffen diese Schichtlücken?“ (Auszug aus Datenbank)

Abfrage Name aus Sites, Tech_com aus Lyr_Info, Hiatus und Erosional Boundary aus Sed_Interpretation			
Name	Tech_com	Hiatus	Erosional boundary
Castillo, El		Yes	No
Lezetxiki	AUR	Yes	No

5.2.3 Ergebnisse der Abfragen für schichtbezogene Analysen einzelner Sites

Neben dem Vergleich verschiedener Attribute zwischen den Sites, können mithilfe der Datenbank auch die Daten zu einzelnen Fundstellen analysiert werden. Anhand des schichtbezogenen Teils der Datenbank lassen sich verschiedene Abfragen gestalten, die der Untersuchung der einzelnen Schichten einer Fundstelle dienlich sind.

Durch eine übersichtliche Darstellung der verschiedenen Sedimente einer Site kann die Forschungsarbeit erleichtert werden. Veränderungen der Sedimente, und dadurch auch Veränderungen der wirksamen sedimentbildenden Prozesse, können dadurch leicht nachvollzogen werden. Eine Gegenüberstellung der Sedimentationsprozesse und der klimatischen Interpretation des Autors gibt tiefere Einblicke in die Entwicklung der Umweltbedingungen an einer Site. Diese kann schließlich mit der kulturellen Entwicklung abgeglichen werden.

„Welche Eigenschaften haben die Sedimente der einzelnen Layer?“

Exemplarisch wird hier die Grobfraction der Fundstelle Cueva Beneito nach CARRIÓN (1992b) dargestellt (Tabelle 40). Die Arbeit von CARRIÓN hat einen pollenanalytischen Schwerpunkt. Das zeigt sich auch in der Intensität der Sedimentbeschreibung. Die Grobfraction wurde nur sehr oberflächlich beschrieben. Die Korngröße der einzelnen Schichten variiert zwischen Cobbles, Pebbles und Gravel. Die verwendete Skala zur Einteilung der Korngrößen wurde nicht angegeben. Die Grobfraction in Schicht X-V wird als eckig (angular) und verwittert (weathered) beschrieben.

Die hier gezeigte Abfrage kann auch für alle anderen Attribute der Tabelle *Sed_Interpretation* erfolgen. Durch die tabellarische Darstellung der Sedimentbeschreibungen kann sich der Anwender ein Bild von den einzelnen Schichten machen. Dadurch kann die klimatische Interpretation der Sedimente durch den Autor nachvollzogen werden.

Tabelle 40 Ergebnis für die Abfrage: „Welche Eigenschaften haben die Sedimente der Grobfraktion der einzelnen Layer in Cueva Beneito?“

Abfrage Geol_Lyr und Lit_ID aus 'Lyr_Info und Size_Coarse_1, Size_Coarse_2, Nature_Coarse, Description_Coarse, Roundness_Coarse, Form_Coarse, Abundance_Coarse, Condition_Coarse aus ,Sed_Properties'									
Geol_Lyr	Size_Coarse_1	Size_Coarse_2	Nature_Coarse	Description_Coarse	Roundness_Coarse	Form_Coarse	Abundance_Coarse	Condition_Coarse	Lit_ID
IV-I	C	G							Car_92b
X-V	P				a			w	Car_92b
XII/XI	P								Car_92b

„Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“

Nachdem die Beschreibung der Sedimente untersucht wurde, stellt sich die Frage, wie der Autor deren Genese interpretiert hat. In Tabelle 41 ist die Sedimentinterpretation für die Cueva Beneito durch CARRIÓN (1992b) dargestellt.

Die Sedimente in Schicht I-IV werden als „Infiltrated or colluvial deposit“ (siehe Taxonomie *Sed_Major/ Sed_Minor* in Tabelle 32) interpretiert. Für diese Schicht liegt keine klimatische Interpretation vor.

Schicht X-V wird von höhlenbildendem Gestein formiert, welches durch physikalische Verwitterung aus dem Gesteinsverbund gelöst wurde (b=“Disintegrated cave bedrock by physical weathering“). Die klimatische Interpretation des Autors deutet auf steigende Temperaturen und trockene Sommer hin. Später wird ein Absinken der Temperaturen mit regionaler Aridität vermutet. Eine Korrelation dieses Sedimenttyps mit absinkenden Temperaturen ist durchaus plausibel (Kapitel 2.6.1). Eine mögliche Ursache für die physikalische Verwitterung des höhlenbildenden Gesteins bei niedrigen Temperaturen ist Frostverwitterung. Allerdings würde dieser Prozess auch eine gewisse Feuchtigkeit voraussetzen, was durch den Hinweis auf eine regionale Aridität weder bestätigt noch ausgeschlossen werden kann (vgl. Kapitel 2.6.1).

Die Sedimente der Schicht XII/XI werden durch herabgefallene Blöcke (a) und Grobsedimente, die durch chemische Verwitterung aus den Wänden und der Decke gelöst wurden, gebildet (c=„Disintegrated cave bedrock by chemical weathering“). Die klimatische Interpretation unterstützt diese Aussage, da chemische Verwitterung unter warmen und feuchten Bedingungen stattfindet (Kapitel 2.6.3).

Tabelle 41 Ergebnis für die Abfrage: „Wie wurde die Genese der Sedimente interpretiert?“

Abfrage Geol_Lyr und Lit_ID aus ‚Lyr_Info‘ und Sed_Major, Sed_Minor und palaeoclimatic interpretation of author aus Sed_Interpretation				
Geol_Lyr	Sed_Major	Sed_Minor	palaeoclimatic interpretation of author	Lit_ID
XII/XI	c	a	warm, dry summers, high annual rainfall	Car_92b
X-V	b		increase of temperature, summer drought, later climatic crisis with regional aridity and fall of temperatures	Car_92b
IV-I	e			Car_92b

„Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?“

Um Hinweise darauf zu bekommen, ob kulturelle Übergänge zeitlich mit klimatischen Wechseln übereinstimmen, werden die Technokomplexe den klimatischen Interpretationen der Autoren gegenübergestellt. Da diese Frage einen zentralen Punkt der Arbeit des C1-Clusters bildet, wird diese Abfrage für jede Fundstelle mit einer ausreichenden Datengrundlage durchgeführt und in Kapitel 5.3 ausführlich behandelt.

5.3 Ergebnisse der Datenbankanwendung auf Fundstellen der Iberischen Halbinsel

Alle oben vorgestellten Analysen, für den Vergleich der Schichten einzelner Fundstellen (Kapitel 5.2.3), können vom Anwender der Datenbank sehr einfach für alle vorhandenen Fundstellen durchgeführt werden. Nach der detaillierten Untersuchung der Eigenschaften und der Entwicklung einer Site, können dann wiederum großräumige Vergleiche dieser Ergebnisse durchgeführt werden.

In den folgenden Kapiteln soll dies exemplarisch für die Abfrage „**Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?**“ gezeigt werden. Dazu wird zunächst die klimatische Entwicklung jeder Fundstelle einzeln betrachtet. Sofern die Datenlage es zulässt, werden den klimatischen Verhältnissen die entsprechenden Technokomplexe und Datierungen zugeordnet (5.3.1)

Im Anschluss wird ein Vergleich der Entwicklungen unter Herausstellung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden durchgeführt (5.3.2). Die Ergebnisse werden mit den in Kapitel 2.2 erläuterten allgemeinen klimatischen Verhältnissen auf der IH verglichen.

5.3.1 Analyse der klimatischen Veränderungen an einzelnen Fundstellen unter Einbeziehung des kulturellen Wandels

Durch die Korrelation vorhandener Klimainterpretationen mit den Technokomplexen für verschiedene Fundstellen, können eventuelle Regelmäßigkeiten erkannt werden. Der Einfluss des Klimas auf den kulturellen Wandel ist von besonderem Interesse für die Archäologen des C1-Clusters. Sofern Sedimentdatierungen vorhanden sind werden diese ebenfalls den entsprechenden Schichten zugeordnet um einen Vergleich mit den Klimadaten von Off-Site-Untersuchungen herzustellen (Kapitel 2.2)

El Castillo

Die Höhle El Castillo befindet sich in Kantabrien im Norden der IH auf einer Höhe von 355 m über NN. Sie ist umgeben von einer Reihe weiterer Höhlen. Der geologische Untergrund besteht aus weißem, kompaktem liassischem Kalkstein (Untere Jura) (Tabelle 31). Ausführliche Untersuchungen in El Castillo wurden von BUTZER (1981) durchgeführt, dessen Sedimentbeschreibung auch in der Datenbank verwendet wurde.

Tabelle 42 ist das Ergebnis der Abfrage. Während der Ablagerung der Schichten, in denen Artefakte enthalten sind, also ab Layer Cas_But_14, scheinen keine größeren Temperaturschwankungen stattgefunden zu haben. Fast alle werden mit „kühl“ oder „kalt“ gekennzeichnet. Lediglich jahreszeitliche Schwankungen des hygrischen Systems wurden festgestellt.

Auffällig ist jedoch, dass kleinere Änderungen der klimatischen Bedingungen mit einem Wechsel der Technokomplexe korrelieren. Beim Übergang vom Chatelperronian zum Mousterian fand ein Wechsel der klimatischen Bedingungen von „moderat mit warmen Sommern“ zu „kühl mit feuchten Sommern“ statt. Ein weiterer Wechsel der Bedingungen stimmt mit den ersten Funden von Artefakten des Aurignacians in Schicht Cas_But_23 überein. Die Bedingungen änderten sich von kühlen Temperaturen mit feuchten Sommern zu moderaten Temperaturen mit trockenen Sommern. Schicht Cas_But_27 enthält Artefakte des Gravettian. Die klimatische Interpretation der Sedimente zeigt kalte Temperaturen mit feuchten Sommern. Während der Sedimentation von Schicht Cas_But_29 herrschten kalte Temperaturen, die in Verbindung mit Artefakten des Solutrean gebracht werden.

Tabelle 42 Techokomplexe mit zugeordneten paläoklimatischen Interpretationen nach BUTZER (1981) für die Site El Castillo (Auszug aus Datenbank)

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author		
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author
CAS_But_1		Temperate, warm summers
CAS_But_2		Warm, dry summers
CAS_But_3		Cool, warm summers
CAS_But_5		Cool, warm summers
CAS_But_6		Cold, moist summers
CAS_But_7		Cold
CAS_But_8		i, Temperate, moist; ii, very cold
CAS_But_9		Warm, dry summers
CAS_But_10		Warm, dry summers
CAS_But_11		Warm
CAS_But_12		Cool, moist summers
CAS_But_13		Cool, warm summers
CAS_But_14	CHA	Cool, moist summers

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author		
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author
CAS_But_15	CHA	Cold
CAS_But_16	CHA	Cool
CAS_But_17	CHA	Temperate, warm summers
CAS_But_18	MOU	Cool, moist summers
CAS_But_19	MOU	Cool, dry summers
CAS_But_20	MOU	Cool, moist summers
CAS_But_21		Cool, moist summers
CAS_But_22		Cool, moist summers
CAS_But_23	AUR	Temperate, dry summers
CAS_But_24	AUR	Cool to cold, moist summers
CAS_But_25	AUR	Cool to cold, moist summers
CAS_But_26		Cold, moist summers
CAS_But_27	GRA	Cold, moist summers
CAS_But_28		Cold
CAS_But_29	SOL	Cold
CAS_But_30		Cool to cold
CAS_But_31		Cool to cold
CAS_But_32		Cold

Cueva Morin

Cueva Morin befindet sich ebenfalls in Kantabrien, circa 11 km von Santander entfernt. Die Karsthöhle ist auf aptischem, kreidezeitlichem Kalkstein entstanden. Sie liegt auf 57 m Höhe über NN in einem Tal. Die archäologische Sequenz reicht vom Mousterian bis zum Neolithikum. Auch in der Cueva Morin hat BUTZER (1981) umfassende Sedimentanalysen durchgeführt, die hier für die schichtbezogenen Angaben als Grundlage dienen.

Für die paläoklimatische Interpretation der Sequenz vom Mousterian bis zum Solutrean gilt Ähnliches wie für El Castillo: die Temperaturschwankungen sind gering, jahreszeitliche Schwankungen des hygrischen Systems werden angenommen. Auffällig ist der Temperaturabfall nach der Sedimentation von Schicht Mor_But_10, während der noch moderate Temperaturen herrschten. In den Sedimenten dieser Schicht wurden Artefakte des Mousterian gefunden. Darauf folgen sehr kalte Ablagerungsbedingungen für Schicht Mor_But_11 und ein Ausbleiben von Artefakten (Tabelle 43).

Schicht Mor_But_21 ist die letzte Sedimentschicht, die dem Mousterian zugeordnet wird. Datierungen der Sedimente ergaben ein Alter von 35.000 Jahren. Die Interpretation der Sedimentstrukturen deutete auf moderate Temperaturen während der Ablagerung hin. Die

darauf folgende Schicht wird als einzige dem Chatelperronian zugeordnet und ist unter kalten Bedingungen abgelagert worden.

Die Sedimente der ersten Schicht, die dem Aurignacian zugeordnet wird, lassen wiederum auf moderate Temperaturen schließen. Für die Schichten Mor_But_24 und Mor_But_25 mit Aurignacian-Artefakten wurden Sedimentdatierungen durchgeführt, die ein Alter von 30.800 bzw. 28.665 Jahren ergaben.

Artefakte des Gravettian, Solutrean, Magdalenian und Azilian wurden nur jeweils einer sedimentologischen Schicht zugeordnet. Die Sedimentationsdauer dieser Schichten ist jedoch nicht bekannt.

Tabelle 43 Techkomplexe mit zugeordneten paläoklimatischen Interpretationen nach BUTZER (1981) für die Site Cueva Morin (Auszug aus der Datenbank)

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author			
LYR_ID	Tech_com	yr bp1	palaeoclimatic interpretation of author
MOR_But_1			Cold
MOR_But_2			Warm, dry summers
MOR_But_3			Cold, moist summers
MOR_But_4			
MOR_But_5			Very cold
MOR_But_6			Cold, moist summers
MOR_But_7			Cool to temeperate
MOR_But_8			Cool to temeperate
MOR_But_9			Cold
MOR_But_10	MOU		Temperate, moist
MOR_But_11			Very cold
MOR_But_12			Cold
MOR_But_13			Temperate, warm summers
MOR_But_14	MOU		Cool, moist summers
MOR_But_15	MOU		Cool, dry summers
MOR_But_16	MOU		Cool, dry summers
MOR_But_17	MOU		Cool, moister
MOR_But_18	MOU		Temperate
MOR_But_19	MOU		Cool, moist summers
MOR_But_20	MOU		Cool, moist summers
MOR_But_21	MOU	35000	Temperate
MOR_But_22	CHA		Cold
MOR_But_23	AUR		Temperate

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author			
LYR_ID	Tech_com	yr bp1	palaeoclimatic interpretation of author
MOR_But_24	AUR	30800	Temperate, dry summers
MOR_But_25	AUR	28665	Cool to cold, dry summers
MOR_But_26	AUR		Cool to cold, dry summers
MOR_But_27		20105	Cold moist summers
MOR_But_28	GRA		Cool, moist summers
MOR_But_29	SOL		Cold
MOR_But_30	MAG		Cool to cold
MOR_But_31	AZI		Cold
MOR_But_32		9000	Warm, dry summers
MOR_But_33	NEO		Warm, moist summers
MOR_But_34			Warm, dry summers

Abric Romaní

Die Abric Romaní ist eine Halbhöhle im Nordosten der IH, circa 50 km westlich von Barcelona. Die archäologische Sequenz umfasst den Zeitraum von 70.000-40.000 Jahre vor Heute. Die Arbeit von ARTEAGA et al. (2001) befasst sich mit den Sedimenten, verwendet aber mikromorphologische Methoden zur Beschreibung und Analyse. Das Vokabular zur Beschreibung von Dünnschliffen ähnelt dem für pedologische Attribute, wobei diese nicht miteinander verglichen werden können. Ein direkter Vergleich mit der Sedimentbeschreibung anderer Sites und Autoren ist daher nicht ohne weiteres möglich. Die Arbeit ARTEAGAS et al. (2001) enthält jedoch eine umfassende Interpretation der Depositions- und Umweltbedingungen sowie eine Korrelation mit den archäologischen Einheiten, so dass die Verwendung der Arbeit für die Datenbank durchaus sinnvoll ist.

Die mikromorphologischen Untersuchungen an der Abric Romaní wurden für die Abschnitte QR57 und P41 durchgeführt (Tabellen 44 und 45). In Abschnitt QR57 wurde je eine mikromorphologische Einheit (ME) dem Mittelpaläolithikum und dem Jungpaläolithikum zugewiesen. In P41 konnten zwei MEs dem Mittelpaläolithikum zugeordnet werden und eine dem Jungpaläolithikum. Die paläoklimatische Interpretation der MEs mit jungpaläolithischen Funden stimmt für beide Abschnitte in etwa überein. Für Beide wurden kalte und trockene Verhältnisse schlussgefolgert. Auch der genetische Sedimenttyp ist für beide Abschnitte gleich („Disintegrated cave bedrock by physical weathering“). Bei den Sedimenten der mittelpaläolithischen Funde variieren die Angaben. Obwohl nicht ganz deutlich wird, wie ARTEAGA (2001) zwischen „moderately cold“ und „slightly cold“ differenziert, sind Unterschiede evident. Der genetische Sedimenttyp in QR57 ist „Windblown (eolian) dust“, was die Interpretation ARTEAGAS (2001) für trockene Bedingungen untermauert. Wo für QR57 das Auftreten von Frost während der Sedimentation der mittelpaläolithischen Schichten ausgeschlossen wird, ist für die entsprechenden Schichten in P41 das Auftreten von Frostverwitterung wahrscheinlich. Als Gründe für die nicht mögliche Korrelation der

Sedimente wird im Text der Einfluss anthropogener Tätigkeit, wie das Umlagern von Sedimenten, genannt.

Tabelle 44 Abfrage Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic interpretation of author für Abschnitt QR57 (Auszug aus Datenbank)

Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic Interpretation of author für QR57			
LYR_ID	Tech_com	Sed_Major	palaeoclimatic interpretation of author
ROM_Art_QR_1		h	moderate cold, humid, seasonal contrast with lower evapotranspiration
ROM_Art_QR_2		h	warmer, humid, increase of evapotranspiration
ROM_Art_QR_3	MP	d	Moderately cold, Seasonal contrast of humidity, episodic wind action
ROM_Art_QR_4		h	Moderately cold, humid, medium evapotranspiration
ROM_Art_QR_5		h	Increased cold, humid with low evapotranspiration
ROM_Art_QR_6	UP	b	cold, dry with high evapotranspiration
ROM_Art_QR_7		d	Short cold dry pulse
ROM_Art_QR_8		h	moderate cold, humid, seasonal contrast with lower evapotranspiration
ROM_Art_QR_9		d	Short cold dry pulse

Tabelle 45 Abfrage Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic interpretation of author für Abschnitt P41 (Auszug aus Datenbank)

Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic Interpretation of author für P41			
LYR_ID	Tech_com	Sed_Major	palaeoclimatic interpretation of author
ROM_Art_P_1		h	fresh, humid, weak seasonal contrast, no freezing
ROM_Art_P_2	MP	b	short cold pulses, drier, surficial freezing, strong winds
ROM_Art_P_3		h	Slightly cold, humid, Increased seasonal contrast, moderate freezing
ROM_Art_P_4	MP	b	Slightly cold, fresh and drying
ROM_Art_P_5	UP	b	Cold, Increased drying, Increased wind regime

Tech_com, Sed_Major und palaeoclimatic Interpretation of author für P41			
LYR_ID	Tech_com	Sed_Major	palaeoclimatic interpretation of author
ROM_Art_P_6		b	Strongly cold, humid
ROM_Art_P_7		b	Cold, slightly humid
ROM_Art_P_8		e	Cold, drying, surficial freezing
ROM_Art_P_9		d	Increased cold and drying, Strong wind, superficial freezing

Cueva de l'Arbreda

Cueva de l'Arbreda gehört zu einer Gruppe von Höhlen, die durch die Bildung von Travertin-Terrassen auf pleistozänem Kalkstein entstanden sind (BISCHOFF et al 1989). Sie liegt auf einem Plateau nördlich von Barcelona auf einer Höhe von 200 m über NN. BISCHOFF et al (1989) fokussieren bei der Sedimentanalyse jene Schichten, die den Übergang vom Mousterian zum Aurignacian symbolisieren. Eine klimatische Interpretation der Sedimententstehung wird nicht angegeben.

Die Ergebnisse der Sedimentanalyse von Bischoff zeigen, dass es an der Site Arbreda beim Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum keinen sedimentologischen Hiatus oder einen Wechsel der Sedimentationsbedingungen gegeben hat. Die Sedimentschicht ARB_Bis_2 ist unter konstanten klimatischen Bedingungen entstanden. Die archäologische Sequenz innerhalb dieser Schicht beinhaltet Artefakte des Solutreans, Gravettians, Aurignacians und Mousterians (Tabelle 46). Die Sedimentationsbedingungen änderten sich in der Cueva de l'Arbreda bereits 80 cm unterhalb des kulturellen Übergangs vom Mittel- zum Jungpaläolithikum (BISCHOFF et al. 1989).

Tabelle 46 Techokomplexe mit zugeordneten Sedimentdatierungen nach BISCHOFF et al. (1989) für die Site Cueva de l'Arbreda (Auszug aus der Datenbank)

Tech_com, Tech_com_Description und yr bp					
LYR_ID	Tech_com	Tech_com_Description	yr bp1	yrbp2	Geol_Lyr
ARB_Bis_1	HOL	Holocene			A
ARB_Bis_2	MP/EUP	Mousterian, Aurignacian, Gravettian, Solutrean	25000	17300	B.1
ARB_Bis_3					B.2
ARB_Bis_4					B.2.1
ARB_Bis_5	MOU	Mousterian	85100	83000	B.2.2

El Bajondillo

El Bajondillo liegt an der Küste Málagas (20 m über NN) in den Betischen Kordilleren, einem Kalkstein-Massiv, das durch Karstlösungsprozesse geformt wird. Die archäologische Sequenz erstreckt sich über die MIS 5-1 (CORTÉS-SÁNCHEZ et al. 2008).

Bergadá et al. (2005) liefern eine ausführliche Beschreibung des Profils Bajondillo Oeste mit Korrelation der archäologischen Schichten und klimatischer Interpretation der Sedimente (Tabelle 47). Für einige Schichten wurden Datierungen vorgenommen.

Tabelle 47 Abfrage Tech_com, Sed_major, palaeoclimatic interpretation of Author und yr bp 1 für El Bajondillo Profil Oeste nach BERGADÁ et al. 2005 (Auszug aus Datenbank)

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author				
LYR_ID	Tech_com	Sed_Major	palaeoclimatic interpretation of author	yr bp1
BAJ_Ber_0_1	NEO	e	cool to cold, humid	
BAJ_Ber_0_2	NEO	h	temperate	
BAJ_Ber_0_3	EPI	h	temperate, arid; episodically precipitating	7475
BAJ_Ber_0_4	EPI	h	temperate, arid; episodically precipitating	7325
BAJ_Ber_0_5	MAG	b	cold, humid	
BAJ_Ber_0_6	SOL	a	temperate, humid	
BAJ_Ber_0_7	SOL	a	temperate, humid	16438
BAJ_Ber_0_8	SOL	e	cold, humid; cold, arid	17582
BAJ_Ber_0_9	SOL	e	cold, humid; cold, arid	19990
BAJ_Ber_0_10	GRA	a	cold, decreasing humidity	24344
BAJ_Ber_0_11	AUR	d	cold, humid; cold, arid	33690
BAJ_Ber_0_12	MP/EUP			
BAJ_Ber_0_13	MP/EUP	g	cold, dry; less intense as in Bj/14	37005
BAJ_Ber_0_14	MP	b	cold, dry; temperate	40000
BAJ_Ber_0_15	MP	j	cold not that intense, ameliorating conditions	
BAJ_Ber_0_16	MP	j	cold not that intense, ameliorating conditions	
BAJ_Ber_0_17	MP	h	cold, oscillating humidity, temperate	61500
BAJ_Ber_0_18	MP	b	temperate, humid	
BAJ_Ber_0_19	MP	h	temperate, humid	
BAJ_Ber_0_20				139900

Der kulturelle Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum in Bajondillo wird auf 37.005 yr BP datiert. Klimatische Indikationen der Sedimente deuten auf gleichbleibend kalte und trockene Bedingungen (BAJ_Ber_0_13 und 14) hin. Eine leichte Verbesserung der Verhältnisse zum Übergang wird vermutet. (BAJ_Ber_0_13). Der Übergang vom Aurignacian

zum Gravettian geht mit abnehmender Feuchtigkeit einher (decreasing humidity). Der Übergang vom Solutrean zum Magdalenian wird von einer Verschlechterung der klimatischen Bedingungen begleitet (temperate, humid zu cold, humid). Auch in El Bajondillo kommt zum Ausdruck, dass kulturelle Wechsel mit einer Veränderung des Klimas korrelieren.

Cueva de la Carigüela

Cueva de la Carigüela liegt ebenfalls in den Betischen Kordillern auf 1020 m Höhe über NN in der Nähe von Granada. Die archäologische Sequenz in Carigüela deckt nur das Mousterian ab (Tabelle 48). Die Ergebnisse der Datenbankabfrage zeigen Schwankungen der klimatischen Bedingungen über die gesamte Sequenz von Carigüela ohne einen Wechsel des Technokomplexes.

Tabelle 48 Abfrage tech_com und palaeoclimatic interpretation of author für Cueva de la Carigüela nach CARRIÓN 1992b (Auszug aus Datenbank)

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author		
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author
CAR_Car_1	n/a	thermal optimum, humid
CAR_Car_2	MOU	gradually deteriorating conditions
CAR_Car_3	o	cooling
CAR_Car_4	MOU	cooling
CAR_Car_5	MOU	warming
CAR_Car_6	MOU	decreasing temperatures, deteriorating conditions
CAR_Car_7	MOU	
CAR_Car_8	MOU	temperate conditions
CAR_Car_9	MOU	cold, arid
CAR_Car_10	MP	slightly warmer, moister conditions

Cueva Beneito

Cueva Beneito befindet sich an der Mittelmeerküste der IH in der Nähe von Alicante auf einer Höhe von 680 m über NN. Das höhlenbildende Gestein besteht aus dolomitischem Material. Die archäologische Sequenz reicht von Charentien bis Bronze. FUMANAL & CARRIÓN (1992) haben eine Arbeit mit sedimentologischer Feldbeschreibung und einigen Datierungen veröffentlicht. Diese Arbeit wurde im layerbezogenen Teil der Datenbank verwendet (Tabelle 49).

Eine klimatische Interpretation wurde nur für einige Schichten durchgeführt. Die letzte Schicht vor dem Wechsel zum Aurignacian wurde mit kalt und trocken interpretiert. Sie wird mit Artefakten des Mousterian in Verbindung gebracht (Ben_Fum_3). Die nächste Schicht, für die eine klimatische Interpretation vorhanden ist, liegt im Bereich von Artefakten des Aurignacian und wird mit kühl bis kalt und humid gekennzeichnet. Es ist wahr-

scheinlich, dass hier ein kultureller Wechsel parallel zu einem Klimawechsel stattgefunden hat. Zeitlich ist der Übergang in Beneito zwischen 38.800 und 33.900 Jahren vor Heute einzuordnen.

Tabelle 49 Abfrage Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1 für Cueva Beneito nach FUMANAL & CARRIÓN (1992) (Auszug aus Datenbank)

Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1			
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author	yr bp1
BEN_Fum_1		cold, arid	
BEN_Fum_2		temperate, humid	
BEN_Fum_3	MOU	cold, arid	38800
BEN_Fum_4			
BEN_Fum_5	AUR		33900
BEN_Fum_6			
BEN_Fum_7		cool to cold, humid	
BEN_Fum_8	AUR	cool to cold, humid	
BEN_Fum_9			
BEN_Fum_10	AUR		
BEN_Fum_11	AUR		
BEN_Fum_12	GRA		
BEN_Fum_13	SOL		
BEN_Fum_14	GRA		16560
BEN_Fum_15	BRO		

Lezetxiki

Die Höhle Letzetxiki befindet sich im Norden der IH im Baskenland auf einer Höhe von 345 m über NN in den westlichen Pyrenäen. Das geologische Ausgangsgestein ist kreidezeitlicher Wealden Riffkalk. Die archäologische Sequenz beinhaltet Artefakte des Mousterian, Aurignacian, Gravettian und Magdalenian. Die archäologischen und geologischen Schichten wurden miteinander korreliert. Sedimentdatierungen wurden nicht vorgenommen.

Schichten LEZ_Arr_1 bis LEZ_Arr_9 enthalten Mousterian Artefakte (Tabelle 50). Während der Ablagerung der Sedimente dieser Schichten hat es mehrere klimatische Veränderungen gegeben, darunter zum Teil auch gravierende. In Schicht LEZ_Arr_3 wird von einer „wichtigen termischen Krise mit signifikantem Absinken der Feuchtigkeit“ gesprochen. Anschließend steigen die Temperaturen merklich an, die Feuchtebedingungen bleiben auf einem niedrigen Niveau (Schichten LEZ_Arr_4 und 5). Ein kultureller Übergang findet erst ab Schicht LEZ_Arr_10 statt. Der Wechsel vom Mousterian zum Aurignacian wird von einem erneuten Absinken der Temperaturen begleitet. Der nächste Übergang - vom Aurignacian zum Gravettian – folgt schnell und in Verbindung mit erneut gemäßigten

und humiden Bedingungen. Die Einleitung einer erneut kalten Phase mit humiden Bedingungen wird vom Auftreten erster Magdalenian Artefakte begleitet (ab Schicht LEZ_Arr_13).

Tabelle 50 Abfrage Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author für Letzexiki nach ARRIZABALGA 2005 (Auszug aus Datenbank)

Tech_com und palaeoclimatic Interpretation of author		
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author
LEZ_Arr_1	MOU	fase templada y húmeda
LEZ_Arr_2	MOU	fase templada y húmeda
LEZ_Arr_3	MOU	importante crisis térmica, descenso significativo de la humedad
LEZ_Arr_4	MOU	visible mejoría en la temperatura, que no conoce un paralelo incremento de la humedad
LEZ_Arr_5	MOU	visible mejoría en la temperatura, que no conoce un paralelo incremento de la humedad
LEZ_Arr_6	MOU	ambiente frío y húmedo
LEZ_Arr_7	MOU	ambiente frío y húmedo
LEZ_Arr_8		más templado y menos húmedo
LEZ_Arr_9	MOU	más templado y menos húmedo
LEZ_Arr_10	AUR	nuevo enfriamiento
LEZ_Arr_11	GRA	medio templado y húmedo
LEZ_Arr_12		período templado y más seco que el M
LEZ_Arr_13	MAG	fase fría de tendencia húmeda
LEZ_Arr_14	MAG	fase fría de tendencia húmeda
LEZ_Arr_15	MAG	fase fría de tendencia húmeda

Cueva Nerja

Cueva Nerja, in der Nähe von Málaga, Südspanien, liegt auf einer Höhe von 158 m über NN in den Betischen Kordillern. Das höhlenbildende Gestein ist hochkristalliner dolomitischer Marmor aus der Trias. Der Sedimentaufschluss deckt eine Zeiteinheit von 24.000 bis 4.000 Jahre vor Heute ab. Das entspricht in etwa den MIS 2 und 1 (AURA TORTOSA et al. 2002).

Die Schicht Ner_Aur_1 wird dem Gravettian zugeordnet (Tabelle 51). Die Sedimentgenese wird mit einer der letzten Kaltoszillationen des letzten Würm Stadials korreliert. Die Sedimentdatierungen ergaben ein Alter von 24.000 Jahren vor Heute. Der Übergang zum So-

lutrean wird von moderateren und humideren Bedingungen als zuvor begleitet. Die Sedimente, die dem Solutrean zugeordnet werden, sind auf 18.420 Jahre vor Heute datiert worden. Darauf erfolgt eine erneute Abkühlung, die mit dem letzten glazialen Maximum in Verbindung gebracht wird. Das Auftreten erster Artefakte des Magdalenian stimmt mit der letzten Phase des letzten Spätglazials überein. Eine zweite Schicht mit Artefakten des Magdalenian wird mit warmen Temperaturen und Anzeichen von Dürre in Verbindung gebracht. Das Neolithikum beginnt mit warmen Temperaturen und leicht humiden Bedingungen um 7.240 vor Heute

Tabelle 51 Abfrage Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1 für die Site Nerja nach AURA TORTOSA et al. 2002 (Auszug aus Datenbank)

Tech_com, palaeoclimatic Interpretation of author und yr bp1			
LYR_ID	Tech_com	palaeoclimatic interpretation of author	yr bp1
NER_Aur_1	GRA	related with the penultimate cold oscillation of the most recent Würm	24000
NER_Aur_2			
NER_Aur_3	SOL	period with a more temperate and humid climate than previously	18420
NER_Aur_4		initial phases of last glacial maximum	
NER_Aur_5	MAG	last phases of last Tardiglacial	12270
NER_Aur_6		increase of rainfall	11930
NER_Aur_7	MAG	warm temperatures and even traces of drought only broken by some intermittent rain storms	10860
NER_Aur_8			
NER_Aur_9	NEO	warm and slightly humid climate at the beginning, which later evolved into a drier regime towards the end	7240

5.3.2 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der erläuterten Sequenzen

Die Anwendung der Abfrage „**Korrelieren die kulturellen Übergänge an einer Site mit klimatischen Wechseln?**“ auf die Fundstellen der Iberischen Halbinsel ermöglicht eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse verschiedener Autoren.

Es wurde deutlich, dass an den Höhlensedimenten aller Sites Fluktuationen der klimatischen Bedingungen im letzten Glazial zu erkennen sind. Für die allgemeinen klimatischen Bedingungen der Iberischen Halbinsel im Oberpleistozän gibt es Belege abrupter Schwankungen (Kapitel 2.2). Diese fanden in einem tausendjährigen Zyklus statt.

Ein solches zeitliches Muster ist auch für die Daten der Cueva Morin im Norden der IH zu erkennen (Tabelle 43). Die Sedimente der Cueva de Nerja in Andalusien hingegen zeigen

größere zeitliche Abstände für Änderungen der Sedimentationsbedingungen (Tabelle 51). Das gleiche gilt für die Fundstelle Bajondillo, die sich ebenfalls in Andalusien befindet (Tabelle 47). Für die anderen Fundstellen liegen keine Sedimentdatierungen oder diese nicht in ausreichendem Maße vor.

Die Übergänge verschiedener Kulturstufen stimmen größtenteils mit Wechseln der Umweltbedingungen überein. Umgekehrt hat aber nicht zu jedem Wechsel der klimatischen Bedingungen auch ein kultureller Übergang stattgefunden. Der Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum geht an den Sites Castillo, Bajondillo und Beneito mit einer leichten Verbesserung der Umweltbedingungen einher. An den Sites Morin und Lezetxiki mit einer Verschlechterung und an den Sites Abric Romaní und Arbreda findet der kulturelle Übergang unter gleichbleibenden Bedingungen statt.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Zum Stand der Forschung

Die Literaturgrundlage zu Höhlensedimenten als Gegenstand der Speleologie ist reichhaltig. Ihre Entstehung sowie die ihrer Sedimente aus rein physischer Sicht sind schon seit langem Gegenstand der Forschung. Diverse Klassifizierungen von Höhlensedimenten sind entstanden, die das Verständnis höhlentypischer Prozesse erleichtern. Anhand der Veröffentlichungen von WHITE (2007), GILLIESON (1996) und vielen anderen wurde in Kapitel 2 eine Hinführung zum Stand der Erforschung von Höhlensedimenten gegeben.

Auch das Interesse der Archäologen an Höhlen als Fundstellen von Artefakten besteht schon lange. Das Bestehen des Sonderforschungsbereichs 806 bestätigt, dass das Interesse an der Erforschung der Menschheitsgeschichte - auch aktuell - groß ist. Die formulierten Forschungsziele des SFB 806 zeigen jedoch, dass eine Beschränkung auf eine rein anthropologische Herangehensweise nicht mehr zeitgemäß ist.

Der interdisziplinäre Ansatz des SFB 806 spiegelt den allgemeinen Trend, Geowissenschaften und Archäologie zu kombinieren, wider. Geoarchäologische Veröffentlichungen beschreiben die Untersuchung archäologischer Fundstellen anhand geowissenschaftlicher Methoden. Dabei wird auf die speziellen Sedimentationsbedingungen an Open-Air-Sites und Höhlenfundstellen eingegangen. Die Veröffentlichungen von WOODWARD & GOLDBERG (2001), GOLDBERG & MACPHAIL (2006), FARRAND (2001), COURTY et al. (1989) unterstreichen diesen Trend.

Vor dem Hintergrund des aktuellen Klimawandels erfreut sich die Erforschung klimatischer Bedingungen des Quartärs in Europa und auf der IH derzeit großer Aufmerksamkeit. Es gibt bereits eine Vielzahl aktueller Veröffentlichungen zu diesem Thema. Durch die Weiterentwicklung der Methoden zur Rekonstruktion des Klimas, wächst die Datengrundlage stetig an (Kapitel 2.2).

Im Rahmen des allgemeinen Trends steigt auch die Zahl an Veröffentlichungen von Untersuchungen archäologischer Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel unter Anwendung geoarchäologischer Methoden. Auch hierzu trägt der SFB 806 in erheblichem Maße bei. Wie die Literaturanalyse (Kapitel 3.3.1) gezeigt hat, ist die Herangehensweise an die geoarchäologische Analyse von Höhlensedimenten auf der IH sehr unterschiedlich. Häufig beschränkt sich die Präsentation der Sedimente auf Feldbeschreibungen. Laboranalysen werden – wahrscheinlich aus Kostengründen – nur selten durchgeführt. Auch auf die Datierung von Sedimenten wird häufig verzichtet. Hier wird noch Forschungsbedarf gesehen.

Das oben genannte Problem unterschiedlicher Herangehensweisen beruht zum einen auf der Komplexität des Sedimentationsraums ‚Höhle‘. Darüber hinaus fehlt ein einheitliches Konzept zur Beschreibung von Sedimenten. Die Erstellung eines Leitfadens zur Untersuchung und Interpretation von Höhlensedimenten wäre sinnvoll und könnte die Forschungsarbeit zusätzlich erleichtern. Vor dem Hintergrund der Idiosynkrasie von Höhlen ist das Erstellen eines einheitlichen Verfahrens zur Beschreibung von Höhlensedimenten kein einfaches Unterfangen.

Die Struktur der Tabellen *Lyr_Description* und *Sed_Description* können als Grundlage für einen solchen Leitfaden genutzt und bei zukünftigen Geländekampagnen herangezogen werden. Werden die Sedimente nach einheitlichen Kriterien erfasst, kann auch eine höhere Konsistenz und bessere Vergleichbarkeit der Daten erreicht werden.

6.2 Zur Datenbank

Die Struktur und das Konzept der Datenbank wurden auf die Anforderungen der Mitglieder des C1-Clusters abgestimmt (Kapitel 3). Sie enthält die gewünschten Entitäten zur Erfassung der Fundstellen, zur Literatur, und zu den einzelnen Schichten einer Fundstelle. Im letztgenannten Teil werden sowohl beschreibende als auch interpretative Aspekte erfasst.

Die generellen Anforderungen an Datenbanksysteme wurden eingehalten. Die Prinzipien der Redundanzfreiheit und Manipulierbarkeit wurden berücksichtigt. Kein Attribut wird doppelt erfasst und es können neue Einträge hinzugefügt sowie bestehende Einträge bearbeitet oder gelöscht werden.

In Kapitel 5 wurde gezeigt, dass die Daten für verschiedene Bereiche angewendet werden können, womit die universelle Verwendbarkeit erfüllt wurde. Bei der Darstellung der Daten wurde darauf geachtet, dass sowohl die Namen der Entitäten und der Attribute, als auch die Taxonomien verständlich formuliert wurden. Sie erfüllen das Prinzip der funktionalen Integration und stellen die Benutzerfreundlichkeit sicher. Die genaue Darstellung der Entitäten in Kapitel 3.4 und die Tabellen zu den Taxonomien im selben Kapitel unterstützen den Anwender zusätzlich.

Durch das Festlegen von Datentypen und Wertebereichen wird gewährleistet, dass die Integrität der Daten erhalten bleibt. Auch hier sind die ausführliche Beschreibung der Attribute sowie die Taxonomien aus Kapitel 3.4 dienlich.

6.2.1 Anwendung der Datenbank

Die in Kapitel 4 formulierten Abfragen, sind von den allgemeinen Forschungsfragen des SFB 806 abgeleitet (Kapitel 4.4.2 und 4.4.3). Ergänzend wurden Abfragen erstellt, welche der themenbezogenen Literaturrecherche dienen (Kapitel 4.4.1).

Die gezeigten Abfragen zeigen lediglich eine Auswahl und geben einen Eindruck, wie Abfragen mithilfe von SQL-Befehlen und in der Entwurfsansicht von MS Access erstellt werden können. Mit dieser Grundlage wird der Anwender in die Lage versetzt, eigene Forschungsfragen in eine Datenbankabfrage zu übersetzen und durchzuführen.

6.2.2 Funktionsfähigkeit der Datenbank

Die Funktionsfähigkeit der Datenbank wurde in Kapitel 5 ausführlich dargestellt. Dazu wurden die in Kapitel 4.4 formulierten Abfragen umgesetzt und erläutert.

Die Recherchefunktionen ermöglichen die gezielte Suche nach spezifischen Informationen zu ausgewählten Fundstellen (Kapitel 5.2.1). Die Ergebnisse von Sedimentanalysen können mithilfe der Datenbank übersichtlich aufbereitet werden. Dadurch wird ihre Analyse und Vergleichbarkeit auf verschiedenen Ebenen stark vereinfacht (Kapitel 5.2.2, 5.2.3 und 5.3).

Die Datenbankausprägung muss noch stark erweitert werden, um eine dichtere Datengrundlage für die gesamte Iberische Halbinsel zu erreichen. Nur so können fundierte Aussagen über die kulturellen und klimatischen Prozesse und deren Zusammenhänge in verschiedenen Regionen der IH gemacht werden.

Die Überführung der Daten von MS Access oder MS Excel nach ArcMap stellt kein Problem dar. Eine kartographische Darstellung ausgewählter Daten ist somit möglich und wurde in Kapitel 5.2.2 gezeigt.

Die Durchführung statistischer Analysen ist aufgrund der Verwendung von Taxonomien für bestimmte Attribute ebenfalls möglich. Hierzu wurden keine exemplarischen Anwendungen dargestellt. Der Anwender kann bei der Formulierung eigener Forschungsfragen auch statistische Analysen erstellen.

In welchem Maß die Datenbank eine Erleichterung für die Forschungsarbeit darstellt, wurde in Kapitel 5.3 deutlich. Durch die tabellarische Darstellung ausgewählter Attribute ist auch der Vergleich komplexer Fragestellungen für verschiedene Fundstellen möglich. Diese Art der Analyse kann selbstverständlich auch in Bezug auf andere Fragestellungen durchgeführt werden.

7. Zusammenfassung

Im ersten Teil der Arbeit werden die Grundlagen für das Verständnis von sedimentbildenden Prozessen in Höhlen und Halbhöhlen der Iberischen Halbinsel im Oberpleistozän gelegt (Kapitel 2).

Eine geographische und geologische Abgrenzung des Untersuchungsgebiets (Kapitel 2.1) und die Darstellung allgemeiner klimatischer Bedingungen auf der IH während des Oberpleistozäns führen in die Thematik der Arbeit ein (Kapitel 2.2). Für das Oberpleistozän werden auf der IH verschiedene Kälteeinbrüche vermutet, die mit HE's und D-O's in Verbindung stehen. Das glaziale Maximum hat nach bisherigen Informationen auf der IH bereits viel früher stattgefunden als das globale LGM.

Eine Einführung in den Sedimentationsraum ‚Höhle‘ gibt Aufschluss über seine Besonderheiten und seine Funktion als Klimaarchiv. Dank der geschützten Räume ist die Archivierung von Sedimenten in Höhlen größer als in Open-Air-Sites. Darüber hinaus sind in ihren Sedimenten Artefakte enthalten, die es erlauben Mensch-Umwelt-Abhängigkeiten herzuleiten.

Die Klassifizierung von Höhlen nach Architektur (Höhle oder Abri), Entstehung (Karst oder Pseudokarst) und Prozessen (Aktiv oder Passiv) erleichtert zudem die Interpretation von Sedimentbildungs- und Transportprozessen und wird in Kapitel 2.4 erörtert.

Die Sedimente von Höhlen können auf vielfache Art klassifiziert werden. In Kapitel 2.5 werden mehrere Typologien vorgestellt. Häufig erfolgt eine Klassifizierung von Höhlensedimenten anhand genetischer Faktoren, so dass der Sedimenttyp gleichzeitig Informationen zur Entstehung des Sediments enthält. Aufgrund der komplexen Einflussfaktoren in Höhlen ist die Zuweisung eines Sediments zu einem Typ jedoch schwierig.

Die Kenntnis der verschiedenen Sedimenttypen in Höhlen und der höhlenspezifischen Sedimentationsprozesse bildet die Basis für eine paläoklimatische Rekonstruktion (Kapitel 2.6) Deshalb können eine sorgfältige Feldbeschreibung von Höhlensedimenten und die genaue Beschreibung des Höhlenumfelds ergänzt durch die Analyse im Labor einen wichtigen Beitrag zur Rekonstruktion des Klimas in der letzten Eiszeit leisten.

Aufbauend auf die in Kapitel 2 dargestellten Erkenntnisse wurde eine Datenbank entwickelt, welche die Untersuchung und Analyse von Höhlensedimenten vereinfachen soll (Kapitel 3).

Das Konzept der Datenbank beinhaltet die Erfassung von allgemeinen Informationen zu Höhlenfundstellen, Literatur sowie Informationen zum Inhalt der Literatur. Der inhaltliche Schwerpunkt des Datenbankkonzepts liegt auf den Sedimentschichten, ihren Eigenschaften und denen der Sedimente, welche die Schichten konstituieren.

Die dargestellten Abfragen wurden auf Basis der Forschungsfragen erstellt, die sich aus den Gesprächen mit Mitgliedern des C1-Clusters ergeben haben. Der Fokus liegt hier auf der Rekonstruktion der klimatischen Bedingungen und deren Korrelation mit den unterschiedlichen Kulturstufen. Des Weiteren werden Hinweise auf Schichtlücken gesucht, die

wichtige Rückschlüsse auf die Klärung der Frage der Kontinuität bzw. Diskontinuität der kulturellen Entwicklung zulassen.

In einem iterativen Prozess ist eine Datenbank entstanden, die als Werkzeug bei der Forschungsarbeit eingesetzt werden kann. Sie gewährleistet eine einheitliche Datenbasis für die Forscher, ermöglicht die quellenunabhängige Vergleichbarkeit von Daten und stellt darüber hinaus verschiedene Methoden zur Analyse und Aufbereitung der Daten bereit.

Die Datenbank wird zunächst in eine cluster-interne archäologische Datenbank integriert. Diese soll ausgebaut werden und zukünftig auch via Internet genutzt werden können. Ihre Integration in eine SFB-weite Datenbank ist ebenfalls denkbar. Durch diese würden dann auch Web-GIS-Anwendungen möglich.

Abkürzungsverzeichnis

IH	Iberische Halbinsel
HE	Heinrich Ereignis
D-O	Dansgaard-Oeschger Ereignis
MIS	Marine Isotope Stage
SST	Sea Surface Temperature
LGM	Last Glacial Maximum
LGT	Last Glacial Termination

Quellenverzeichnis

- Altermann, W., Kölbl-Ebert, M., 2002. Geochemie. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pretsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), Lexikon der Geowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Becker-Haumann, R., 2002. Radiocarbonatierung. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pretsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), Lexikon der Geowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Becker-Haumann, R., 2002. Thorium-Urandatierung. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pretsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), Lexikon der Geowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Bergadá, M.M., Cortés, M., Simón, M.D. (Eds.), 2005. Secuencia geoarqueológica del Pleistoceno superior y Holoceno inicial en el sur de la Península Ibérica: Cueva Bajondillo (Torremolinos, Málaga). Gibraltar Museum, Gibraltar.
- Bordes, F., 1972. A tale of two caves. Harper & Row, New York.
- Breuer, T., 2008. Iberische Halbinsel. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Burjachs, F., Juliá, R., 1994. Abrupt climatic changes during the last glaciation based on pollen analysis of the Abric Romaní, Catalonia, Spain. *Quaternary Research* 42, 308-315.
- Butzer, K.W., 1981. Cave Sediments, Upper Pleistocene Stratigraphy and Mousterian Facies in Cantabrian Spain. *Journal of Archaeological Science* 8, 133-183.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F.J., Flores, A., Shackleton, N., 1999. Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea palaeotemperatures. *Paleoceanography* 14 (6), 698-705.
- Capel Molina, J.J., 1981. Los Climas de España. Oikos-tau ediciones, Barcelona.
- Carrión, J.S., 1992a. A palaeoecological study in the western Mediterranean area. The Upper Pleistocene pollen record from Cova Beneito (Alicante, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 92, 1-14.
- Carrión, J.S., 1992b. Late Quaternary pollen sequence from Carihuela Cave, southeastern Spain. *Review of Palaeobotany and Palynology* 71, 37-77.
- Carrión, J.S., Munuera, M., 1997. Upper Pleistocene palaeoenvironmental change in Eastern Spain: new pollen-analytical data from Cova Beneito (Alicante). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 128, 287-299.
- Carrión, J.S., Munuera, M., Navarro, C., Burjachs, F., Dupré, M., Walker, M.J., 1999. The palaeoecological potential of pollen records in caves: the case of Mediterranean Spain. *Quaternary Science Reviews* 18, 1061-1073.
- Collcutt, S.N., 1979. The analysis of Quaternary cave sediments. *World Archaeology* 10 (3), 290-301.
- Cortés-Sánchez, M., Morales-Muñiz, A., Simón-Vallejo, M.D., Bergadá-Zapata, M.M., Delgado-Huertas, A., López-García, P., López-Sáez, J.A., Lozano-Francisco, M.C., Riquelme-

- Cantal, J.A., Roselló-Izquierdo, E., Sánchez-Marco, A., Vera-Peláez, J.L., 2008. Palaeo-environmental and cultural dynamics of the coast of Málaga (Andalusia, Spain) during the Upper Pleistocene and early Holocene. *Quaternary Science Reviews* 27, 2176-2193.
- Cortés-Sánchez, M., Ferrer Palma, J.E., Marqués Merelo, I., Baldoero Navarro, A., Simón Vallejo, M.D., 2005. Aportaciones Cronoestratigráficas de cueva Bajondillo al tránsito Paleolítico Medio-Superior en el sur de la Península Ibérica. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. ADEMA, Soria 181-196.
- Courty, M.A., Goldberg, P., Macphail, R., 1989. *Soils and micromorphology in archaeology*. University Press, Cambridge.
- Courty, M.A., Vallverdú, J., 2001. The microstratigraphic record of abrupt climate changes in cave sediments of the western Mediterranean. *Geoarchaeology: An International Journal* 16 (5), 467-500.
- Day, M.J., 2001. Sandstone Caves in Wisconsin. *Proceedings 13th International Congress of Speleology, Brasília DF, Brasil*: 89-92
- Denton, G.H., Alley, R.B., Comer, G.C., Broecker, W.S., 2005. The role of seasonality in abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews* 24, 1159-1182.
- Denton, G.H., Broecker, W.S., Alley, R.B., 2006. The mystery interval 17.5 to 14.5 kyrs ago. In: Brigham-Grette, J., Kull, C., Kiefer, T. (Eds.), *U.S. Earth System History Science. PAGES Newsletter* 14 (2), 14-16.
- Farrand, W.R., 2001. Sediments and Stratigraphy in Rockshelters and Caves: A Personal Perspective on Principles and Pragmatics. *Geoarchaeology: An International Journal* 16 (5), 573-557.
- Faus, E.M.D., 2005. La Transición del Paleolítico Medio Al Superior en la Cova Beneito (Muro, Alicante). Recientes Aportaciones. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. ADEMA, Soria 197-203.
- Fletcher, W.J., Sánchez-Goñi, M.F., 2008. Orbital- and sub-orbital climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research* 70, 451-464.
- Fletcher, W.J., Sánchez-Goñi, M.J., Allen, J.R.M., Cheddadi, R., Combourieu-Nebout, N., Huntley, B., Lawson, I., Londeix, L., Magri, D., Margari, V., Müller, U.C., Naughton, F., Novenko, E., Roucoux, K., Tzedakis, P.C., 2010. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from Europe. *Quaternary Science Reviews* 29, 2839-2864.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006a. *Guidelines for Soil Description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.4
- Ford, T.D., 2001. *Sediments in caves: an outline guide to the sediments found in caves and what can be learnt from them*. Caves Studies Series 9, British Cave Research Association, London.

- García-Ruiz, J.M., Moreno, A., González Sampérez, P., Valero Garcés, Martí Bono, C., 2010. La cronología del último ciclo glacial en las montañas del sur de Europa. Una revisión. *Revista C & G* 24 (1-2), 35-46.
- Gibbons, W., Moreno, T., 2002. *The Geology of Spain*. The Geological Society, London.
- Gillieson, D., 1996. *Caves – Processes, Development, Management*. Blackwell Publishers, Oxford.
- Goldberg, P., Macphail, R.I., 2006. *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Gómez-Orellana, L., Ramil-Rego, P., Muñoz Sobrino, C., 2007. The Würm in NW Iberia, a pollen record from Area Longa (Galicia). *Quaternary Research* 67, 438-452.
- González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figuerial, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and photodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427-457.
- Haaß, E., 2002. Höhlenperle. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pertsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), *Lexikon der Geowissenschaften*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Harrison, S.P., Sánchez-Goñi, M.F., 2010. Global Patterns of vegetation response to millennial-scale variability and rapid climate change during the last glacial period. *Quaternary Science Reviews* 29, 2957-2980.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. *Journal of Quaternary Science* 23 (6-7), 575-588.
- Kleinschmidt, P., Rank, C., 2005. *Relationale Datenbanksysteme - Eine praktische Einführung*. Springer, Berlin.³
- Krauthausen, B., 2002. Höhlen. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pertsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), *Lexikon der Geowissenschaften*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Laville, H., Rigaud, J.-P., Sackett, J., 1980. *Rockshelters of the Perigord. Geological stratigraphy and archaeological succession*. Academic Press, New York.
- MacLeod, N., 2002. Geometric morphometrics and geological shape-classification systems. *Earth Science Reviews* 59, 27-47.
- Maíllo Fernández, J.M., Valladas, H., Cabrera Valdés, V., Bernaldo de Quirós, F., 2001. Nuevas dataciones para el Paleolítico superior de Cueva Morín (Villanueva de Villaescusa, Cantabria). *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología* 14, 145-150.
- Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pertsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), 2002. *Lexikon der Geowissenschaften*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.
- Martrat, B., Grimalt, J.O., Lopez-Martinez, C., Cacho, I., Sierro, F.J., Flores, J.A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J.H., Hodell, D.A., 2004. Abrupt temperature changes in the Western Mediterranean over the past 250,000 Years. *Science* 306, 1762-1765.

McManus, J., Francois, R., Gherardi, J.M., Keigwin, L., Brown-Leger, S., 2004. Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes. *Nature* 428, 834-837.

Meier, A., 2010. *Relationale und postrelationale Datenbanken*. Springer, Berlin.⁷

Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., Jiménez Sánchez, M., Dominguez, M.J., Mata, P., Navas, A., González-Sampériz, P., Stoll, H., Farias, P., Morellón, M., Corella, P., Rico, M., 2010. The last deglaciation in the Picos de Europa National Park (Cantabrian Mountains, Northern Spain). *Journal of Quaternary Science* 25 (7), 1076-1091.

Moreno, A., González-Sampériz, P., Morellón, M., Valero-Garcés, B.L., Fletcher, W.J., Northern Iberian abrupt climate change dynamics during the last glacial cycle: A view from lacustrine sediments. *Quaternary Science Reviews*, in Press (doi:10.1016/j.quascirev.2010.06.031).

Naughton, F., Sánchez-Goñi, M.F., Kageyama, M., Turon, J.L., Duprat, J., Malaizé, B., Joli, C., Cortijo, E., Drago, E., Freitas, M.C., 2007. Present-day and past (last 25.000 years) marine pollen signals off western Iberia. *Marine Micropaleontology* 62, 91-114.

Naughton, F., Sánchez-Goñi, M.F., Kageyama, M., Bard, E., Duprat, J., Cortijo, E., Desprat, S., Malaizé B., Joly, C., Rostek, F., Turon, J.L., 2009. Wet to dry climatic trend in north-western Iberia within Heinrich events. *Earth and Planetary Science Letters* 284, 329-342.

Pearsall, D. (Ed.), 2008. *Encyclopedia of Archaeology*. Elsevier, Amsterdam.

Powers, M.C., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23 (2), 117-119.

Riedel, H., 2002. Brandungsformen. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreutzwald, L., Drews, I., Pretsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), *Lexikon der Geowissenschaften*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.

Sánchez-Goñi, M.F., Turon, J.-L., Eynaud, F., Gendreau, S., 2000. European climatic response to millennial-scale changes in the atmosphere-ocean system during the last glacial period. *Quaternary Research* 54, 394-403.

Sánchez-Goñi, M.F., Cacho, I., Turon, J.-L., Guiot, J., Sierro, F.J., Peyrouquet, J.-P., Grimalt, J.O., Shackleton, N.J., 2002. Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics* 19, 95-105.

Sánchez-Goñi, M.F., Landais, A., Fletcher, W.J., Naughton, F., Desprat, S., Duprat, J., 2008. Contrasting impacts of Dansgaard-Oeschger events over a western European latitudinal transect modulated by orbital parameters. *Quaternary Science Reviews* 27, 1136-1151.

Sanguino González, J., Montes Barquín, R., Martín Blanco, P., 2005. El Marco Cronoes-tratigráfico y Paleoclimático del Pleistoceno Superior Inicial de la Región Cantábrica, ¿un Gigante con Pies de Barro?. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.),

Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo. ADEMA, Soria, 127-138.

Schmidt, H.-H., 2006. Grundlagen der Geotechnik. Vieweg und Teubner Verlag, Wiesbaden.

Selley, R.C., 1992. Applied Sedimentology. Academic Press, London.²

Sponagel, H. (Hrsg.), 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Schweizerbart, Stuttgart.⁵

Stow, D.A.V., 2007. Sedimentary Rocks in the Field - A Colour Guide. Manson Publishing, London.³

Straus, L.G., 1990. Underground archaeology: Perspective on caves and rockshelters. Archaeological Method and Theory 2, 255-304.

Strübel, G., 2002. Mineralogie. In: Martin, C., Eiblmaier, M., Kreuzwald, L., Drews, I., Pretsch, H., Bischoff, N. (Hrsg.), Lexikon der Geowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, CD-ROM.

Valero-Garcés, B., González-Sampériz, P., Morrellón, M., Rico, M., Moreno, A., Navas, A., Machín, J., Mata, M.P., Rubio, J.C., 2007. Climate and Tectonics for the last 100 kyrs in the Iberian Range (NE Spain) based on the Villarquemado Lacustrine Record. Fourth International Limnogeology Congress, Barcelona Spain.

Vallverdú, J., Vaquero, M., Courty, M.-A., Carbonell, E., 2005. Procesos sedimentarios rápidos y ocupaciones humanas poco frecuentes. La sección del pleistoceno superior de la coveta nord del Abric Romaní (Capellades, Comarca de l'Anoia, Barcelona). In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo. ADEMA, Soria, 319-331.

Vallverdú i Poch, J., 2002. Micromorfología de las facias sedimentarias de la Sierra de Atapuerca y del Nivel J del Abric Romaní. Implicaciones geoarqueológicas y paleoetnográficas. Ph.D. Thesis (unpublished), Universitat Rovira i Virgili, Spain.

Vegas, J., Ruiz-Zapata, M., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, A., Gil-García, M.J., Pérez-González, A., Gallardo-Millán, J.L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 ca. ka BP from Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). Journal of Quaternary Science 25(7), 1051–1062.

Vega-Toscano, L.G., 1988. El Paleolítico Medio del Sureste español y Andalucía oriental. Thesis. Univ. Complutense, Madrid, 4 vols., 2364 pp.

Vera, J.A., 2004. Geología de España. Instituto Geológico y Minero, Madrid.

Warwick, G.T., 1976. Geomorphology and Caves. In: Ford, T.D., Cullingford, H.D. (Eds.), The Science of Speleology. Academic Press, London, 61-125.

Weniger, G.-C., Vött, A., Reicherter, K., 2009. C1: Continuity or Discontinuity? Patterns of Land Use and Climatic Changes in the Late Pleistocene of the Iberian Peninsula. Begehung durch die DFG Gutachter, Januar 2009, Köln.

Weise, O.R., 1983. Das Periglazial. Geomorphologie und Klima, in gletscherfreien kalten Regionen. Gebrüder Bornträger, Stuttgart.

- White, W.B., 2007. Cave Sediments and Palaeoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies* 69 (1), 76-93.
- White, W.B., 1976. Cave minerals and speleothems. In: Ford, T.D., Cullingford, H.D. (Eds.). *The Science of Speleology*. Academic Press, London, 267-316.
- Wigley, T.M.L., Brown, M.C., 1976. The Physics of Caves. In: Ford, T.D., Cullingford, H.D. (Eds.), *The Science of Speleology*. Academic Press, London, 329-344.
- Wilhelmy, H., 1974. *Klimageomorphologie in Stichworten*. Verlag Ferdinand Hirt, Coburg.
- Woodward, J.C., Bailey, G.N., 2000. Sediment Sources and Terminal Pleistocene Geomorphological Processes Recorded in North-West Greece. In: Foster, I.D.L. (Ed.), *Tracers in Geomorphology*. Wiley, Chichester, 521-551.
- Woodward, J.C., Goldberg, P., 2001. The Sedimentary Records in Mediterranean Rockshelters and Caves: Archives of Environmental Change. *Geoarchaeology: An International Journal* 16 (4), 327-354.
- Young, R.W., Young, A., 1992. *Sandstone Landforms*. Springer, Berlin.
- Zepp, H., 2004. *Geomorphologie*. Schöningh, Paderborn³.

Internet Quellen

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006b. Classes and Types of Soil Structure. ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e07.htm, 2011-10-11.
- Völker, D., 2002. Vorlesung chemische Sedimente. http://userpage.fu-berlin.de/~voelker/Vorlesung_Chemische/gliederung.htm, 2011-09-14.
- Weniger, G.-C., Reicherter, K., 2009. Continuity or Discontinuity? Patterns of Land Use and Climatic Changes in the Late Pleistocene of the Iberian Peninsula. http://www.sfb806.uni-koeln.de/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=46, 2011-10-05.

Anhang

Anhang I: Literatur zu Höhlensedimenten in Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel

Anhang II: Skalen der Korngrößenklassen

Anhang III: Feldbeschreibung der Textur- und Korngrößenklassen

Anhang IV: CD-ROM mit Datenbank und Taxonomien in digitaler Form

Anhang I: Literatur zu Höhlensedimenten in Fundstellen auf der Iberischen Halbinsel

Arrizabalga, A., Altuna, J., Areso, P., Falgueres, C., Iriarte, M.J., Mariezkurrena, K., Pemán, E., Ruiz-Alonso, M., Tarriño, A., Uriz, A., Vallverdú, J., 2005. Retorno a Lezetxiki (Arrasate, País Vasco): Nuevas Perspectivas de la Investigación. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. Soria, 81-98.

Arteaga, I., Angelucci, D.E., Carbonell, E., Courty, M.A., Vallverdú, J., 2001. Microfacies and stratigraphic position of the middle-upper palaeolithic boundary at Abric Romaní (Capellades, Spain). *Revista C & G* 15 (1-2), 15-30.

Aura Tortosa, J.E., Jordá Pardo, J.F., Pérez Ripoll, M., Rodrigo García, M.J., Badal García, E., Guillem Calatayud, P., 2002. The far south: the Pleistocene–Holocene transition in Nerja Cave (Andalucía, Spain). *Quaternary International* 93-94, 19-30.

Bergadá, M.M., Cortés, M., Simón, M.D., 2005. Secuencia geoarqueológica del Pleistoceno superior y Holoceno inicial en el sur de la Península Ibérica: Cueva Bajondillo (Torremolinos, Málaga). In: Rodríguez, J., Finlayson, C., Giles Pacheco, F. (Eds.), *Cuaternario Mediterráneo y poblamiento de homínidos*. Gibraltar Museum, 74, Gibraltar.

Bischoff, J.L., Soler, N., Maroto, J. & Juliá, R., 1989. Abrupt Mousterian/Aurignacian boundary at c. 40 ka bp: Accelerator ¹⁴C dates from L'Arbreda Cave (Catalunya, Spain). *Journal of Archaeological Science* 16, 563-567.

Bischoff, J.L., Ludwig, K., Francisco Garcia, J., Carbonell, E., Vaquero, M., Stafford Jr., T.W., Tull, A.J.T., 1994. Dating of the basal Aurignacian sandwich at Abric Romaní (Catalunya, Spain) by radiocarbon and uranium-series. *Journal of Archaeological Science* 21, 541-551.

Butzer, K.W., 1981. Cave Sediments, Upper Pleistocene stratigraphy and Mousterian facies in Cantabrian Spain. *Journal of Archaeological Science* 8, 133-183.

Carrión, J.S., 1992a. A palaeoecological study in the western Mediterranean area. The Upper Pleistocene pollen record from Cova Beneito (Alicante, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 92, 1-14.

Carrión, J.S., 1992b. Late Quaternary pollen sequence from Carihuela Cave, south-eastern Spain. *Review of Palaeobotany and Palynology* 71, 37-77.

Carrión, J.S., Munuera, M., 1997. Upper Pleistocene palaeoenvironmental change in Eastern Spain: new pollen-analytical data from Cova Beneito (Alicante). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 128, 287-299.

Carrión, J.S., Munuera, M., Navarro, C., 1998. The palaeoenvironment of Carihuela Cave (Granada, Spain): a reconstruction on the basis of palynological investigations of cave sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99, 317-340.

Carrión, J.S., Munuera, M., Navarro, C., Burjachs, F., Dupré, M., Walker, M.J., 1999. The palaeoecological potential of pollen records in caves: the case of Mediterranean Spain. *Quaternary Science Reviews* 18, 1061-1073.

Carrión, J.S., Finalyson, C., Fernández, S., Finalyson, G., Allué, E., López-Sáez, J.A., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G., González-Sampériz, P., 2008. A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: palaeoecological investigations in Gorham's Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Review* 27, 2118-2135.

Cortés-Sánchez, M., Ferrer Palma, J.E., Marqués Merelo, I., Baldoero Navarro, A., Simón Vallejo, M.D., 2005. Aportaciones Cronoestratigráficas de cueva Bajondillo al tránsito Paleolítico Medio-Superior en el sur de la Península Ibérica. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. Soria, 181-196.

Cortés-Sánchez, M., Morales-Muñiz, A., Simón-Vallejo, M.D., Bergadá-Zapata, M.M., Delgado-Huertas, A., López-García, P., López-Sáez, J.A., Lozano-Francisco, M.C., Riquelme-Cantal, J.A., Roselló-Izquierdo, E., Sánchez-Marco, A., Vera-Peláez, J.L., 2008. Palaeoenvironmental and cultural dynamics of the coast of Málaga (Andalusia, Spain) during the Upper Pleistocene and early Holocene. *Quaternary Science Reviews* 27, 2176-2193.

Ellwood, B.B., Harrold, F.B., Benoist, S.L., Straus, L.G., Gonzalez Morales, M., Petruso, K., Bicho, N.F., Zilhão, J., Soler, N., 2001. Paleoclimate and Intersite Correlations from Late Pleistocene/Holocene Cave Sites: Results from Southern Europe. *Geoarchaeology: An International Journal* 16 (4), 433-463.

Fernández, S., Fuentes, N., Carrión, J.S., González-Sampériz, P., Montoya, E., Gil, G., Vega-Toscano, G., Riquelme, J.A., 2007. The Holocene and Upper Pleistocene pollen sequence of Carhuela Cave, southern Spain. *Geobios* 40, 75-90.

Finalyson, C., Fa, D.A., Jiménez Espejo, F., Carrión, J.S., Finalyson, G., Giles Pacheco, F., Rodríguez Vidal, J., Stringer, C., Martínez Ruiz, F., 2008. Gorham's Cave, Gibraltar – The Persistence of a Neanderthal population. *Quaternary International* 181, 64-71.

Finalyson, G., Finalyson, C., Giles Pacheco, F., Rodríguez Vidal, J., Carrión, J.S., Rocio Espejo, J.M., 2008. Caves as archives of ecological and climatic changes in the Pleistocene – The case of Gorham's cave, Gibraltar. *Quaternary International* 181, 55-63.

Fumanal, M.P., Carrión, J.S., 1992. El tránsito del Paleolítico Medio-Superior en la Cova de Beneito (Muro, Alicante). Avance del estudio estratigráfico y sedimentopolínico. In: Utrilla, P. (Ed.), *Aragón-Litoral Mediterráneo: intercambios culturales durante la Prehistoria*, Institución Fernando el Católico. Fundación Pública de la Diputación de Zaragoza, 107-115.

Geraads, D., 1997. La grande faune associée aux derniers Néandertaliens de Zafaraya (Andalousie, Espagne) : systématique et essai d'interprétation. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 325, 725-731.

Kornprobst, P., Rat, P., 1967. Premiers résultats d'une étude géologique et paléoclimatique du remplissage paléolithique moyen et supérieur de la grotte de Lezetxiki (Mondragón – Guipúzcoa). *Munibe* 19, 247-260.

Maíllo Fernández, J.M., Valladas, H., Cabrera Valdés, V., Bernaldo de Quirós, F., 2001. Nuevas Dataciones para el Paleolítico superior de Cueva Morín (Villanueva de

Villaescusa, Cantabria). *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología* 14, 145-150.

Panera, J., Pérez-González, A., Rubio Jara, S., Sesé, C., 2005. El yacimiento Paleolítico de HAT en el valle del Jarama: Una aportación del Cuaternario de la Cuenca de Madrid al debate sobre el inicio del Paleolítico medio. In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. Soria, 251-260.

Sanguino González, J., Montes Barquín, R. & Martín Blanco, P., 2005. El marco cronoestratigráfico y paleoclimático del Pleistoceno superior inicial de la Región Cantábrica, ¿un gigante con pies de barro? In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. Soria, 127-138.

Vallverdú i Poch, J., 2002. El Abric Romaní y el Nivel Arqueológico J. Micromorfología de las facias sedimentarias de la Sierra de Atapuerca y del Nivel J del Abric Romaní. Implicaciones Geoarqueológicas y paleoetnográficas. Thesis

Vallverdú, J., Vaquero, M., Courty, M.-A., & Carbonell, E., 2005. Procesos sedimentarios rápidos y ocupaciones humanas poco frecuentes. La sección del pleistoceno superior de la coveta nord del Abric Romaní (Capellades, Comarca de l'Anoia, Barcelona). ? In: Santonja, M., Pérez-González, A., Machado, M.J. (Eds.), *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el Entorno Mediterráneo*. Soria, 319-331.

Anhang II: Skalen der Korngrößenklassen

Abbreviation	Wentworth Class*	Size range*	Phi (Φ) Units*	UK Soil Science Class Equivalent*	Size Range*	USA Soil Science Class Equivalent*	DIN 4022/ EN ISO 14688**	FAO***	Size Range***
B	Boulders	>256 mm	-8	Boulders	> 600 mm			Large Boulders	>600 mm
				Very Large Stones	200-600 mm			Boulders	200-600 mm
C	Cobbles	64-256 mm	-6 to -8	Large Stones	60- 200 mm		20-63 mm	Stones	60-200 m
P	Pebbles	4-64 mm	-2 to -6	Medium Stones	20-60 mm		6,3-20 mm	Coarse Gravel	20-60 mm
				Small Stones	6-20 mm		2,0-6,3 mm	Medium Gravel	6-20 mm
G	Granules	2-4 mm	-1 to -2	Very Small Stones	2-6 mm			Fine Gravel	2-6 mm
vcS	Very Coarse Sand	1-2 mm	0 -1			1-2 mm		Very Coarse Sand	1250-2000 μ m
cS	Coarse Sand	0.5-2 mm	1-0	Coarse Sand	0.6-2 mm	0.5-1 mm	0,6-2,0 mm	Coarse Sand	630-1250 μ m
mS	Medium Sand	250-500 μ m	02. Jan	Medium Sand	212-600 μ m	250-500 μ m	0,2-0,6 mm	Medium Sand	200-630 μ m

fS	Fine Sand	125-250 µm	03. Feb	Fine Sand	63-212 µm	100-250 µm	0,06-0,2 mm	Fine Sand	125-200 µm
vfS	Very Fine Sand	63-125 µm	04. Mrz			50-100 µm		Very Fine Sand	63-125 µm
cSi	Coarse Silt	31-63 µm	05. Apr	Coarse Silt	20-63 µm	Silt= 2-50 µm	0,02-0,06 mm	Coarse Silt	20-63 µm
mSi	Medium Silt	16-31 µm	06. Mai	Medium Silt	6-20 µm		0,006-0,02 mm		
fSi	Fine Silt	8-16 µm	07. Jun	Fine Silt	2-6 µm		2-6 µm	Fine Silt	2-20 µm
vfSi	Very Fine Silt	4-8 µm	08. Jul						
C	Clay	<4 µm	>8	Clay	<2 µm	<2 µm	<2 µm	Clay	<2 µm

* Goldberg & Macphail 2006: 12

** Schmidt 2006

*** FAO 2006

Anhang III: Feldbeschreibung der Textur- und Korngrößenklassen

Abbreviation	FullName	Description		
S	Sand	not possible to roll a wire of about 7 mm in diameter (about the diameter of a pencil)	not dirty, not floury, no fine material in the finger rills	
uS	unsorted Sand			if grain sizes are mixed
mSi	Medium Silt			according to applied scale
fSi	Fine Silt			according to applied scale
C	Clay			according to applied scale
cS	Coarse Sand			if most grains are very coarse (>0,6mm)
mS	Medium Sand			if most grains are of medium size (0,2 - 0,6 mm)
fS	Fine Sand			if most grains are of fine size (<0.2 mm) but still grainy
vfS	Very Fine Sand			if most grains are of very fine size (<0.12 mm), tending to be floury
IS	Loamy Sand			not floury, grainy, scarcely fine material in the finger rills, weakly shapeable, adheres slightly to the fingers
sL (clay-poor)	sandy loam		similar to the above but moderately floury	
SiL (clay-poor)	Silt Loam	Possible to roll a wire of about 3-7 mm diameter (about half the diameter of a pencil)		some grains to feel
Si	Silt			no grains to feel

sL (clay-rich)	Sandy Loam	but breaks when trying to form the wire to a ring of about 2-3 cm in diameter, moderately cohesive adheres to fingers	moderately cohesive, adheres to fingers, has a rough and ripped surface after squeezing between fingers and	very grainy and not sticky
L	Loam			moderate sand grains
SiL (clay-rich)	Silt Loam			not grainy but distinctly floury and somewhat sticky
sCL	Sandy Clay Loam			rough and moderate, shiny surface after squeezing between fingers and is sticky and grainy to very grainy
sC	Sandy Clay	possible to roll a wire of about 3 mm diameter (less than half the diameter of a pencil) and to form the wire to a ring of about 2-3 cm in diameter, cohesive sticky, gnashes between teeth, has a moderatley shiny to shiny surface after squeezing between fingers	very grainy	
CL	Clay Loam		some grains to see and to feel, gnashes between teeth	moderate plasticity, moderately shiny surfaces
C	Clay			high plasticity, a shiny surface
siCL	Silty Clay Loam		no grains to see and to feel, does not gnash between teeth	low plasticity
siC	Silty Clay			high plasticity, moderatley shiny surfaces
hC	Heavy Clay			high plasticity, shiny surfaces

Anhang IV: CD-ROM mit Datenbank und Taxonomien in digitaler Form