

Karl-Heinz Pfeffer

Karst

Entstehung – Phänomene – Nutzung

Studienbücher der **Geographie**



Borntraeger

Studienbücher der Geographie

früher: Teubner Studienbücher der Geographie

www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg

Löffler, Ernst; Honecker, Ulrich; Stabel, Edith: **Geographie und Fernerkundung**. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten
2005. 3. neubearb. und erweit. Aufl., 287 S., 105 Abb., 9 Tab., 16 Farbtafeln, ISBN 3-443-07140-6. € 29.00

Bendix, Jörg: **Geländeklimatologie**
2004. 282 Seiten, 127 Abb., 15 Tab., ISBN 3-443-07139-2. € 28.00

Henkel, Gerhard: **Der Ländliche Raum**. Gegenwart und Wandlungsprozesse seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland
2004. 4. ergänzte und neubearb. Aufl. 419 S., 89 Abb., 15 Tab., ISBN 3-443-07109-0. € 29.00

Scholz, F.: **Geographische Entwicklungsforschung**. Methoden und Theorien
2004. 297 S., 66 Abb., 5 Tab., ISBN 3-443-07138-4. € 29.00

Heinritz, G.; Klein, K. E.; Popp, M.: **Geographische Handelsforschung**
2003. 257 S., 54 Abb., 16 Tab., 7 Photos, ISBN 3-443-07137-6. € 28.00

Weischet, Wolfgang: **Regionale Klimatologie Teil 1**. Die Neue Welt: Amerika Neuseeland Australien
1996. 468 S., 45 Abb., 38 Tab., 7 Karten, ISBN 3-443-07107-4. € 39.80

Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried: **Regionale Klimatologie Teil 2**. Die Alte Welt: Europa Afrika Asien
2000. 625 S., 118 Abb., 24 Tab., 9 Karten, ISBN 3-443-07119-8. € 66.00

Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried: **Einführung in die Allgemeine Klimatologie**
2008. 7. vollständig neu bearb. Aufl. 342 S., 109 Abb., 13 Tab., 1 Tafel, ISBN 978-3-443-07142-4. € 29.00

Kuls, Wolfgang; Kemper, Franz-Josef: **Bevölkerungsgeographie**. Eine Einführung.
2002. Unveränd. Nachdruck d. 3. neubearb. Aufl. 304 S., 130 Abb., 33 Tab., ISBN 3-443-07112-0. € 24.00

Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite

Studienbücher der Geographie

früher: Teubner Studienbücher der Geographie

www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg

Bahrenberg, Gerhard; Giese, Ernst; Mevenkamp, Nils; Nipper, Josef: **Statistische Methoden in der Geographie 1**. Uni- und bivariate Statistik
2010. 5. vollst. Neu bearb. Aufl., 282 S., 81 Abb., 69 Tab., 1 Tab. Anhang ISBN 3-443-07144-8. € 29.00

Bahrenberg, Gerhard; Giese, Ernst; Mevenkamp, Nils; Nipper, Josef: **Statistische Methoden in der Geographie 2**. Multivariate Statistik
2008. 3. neu bearb. Aufl., 386 S., 112 Abb., 24 Tab., ISBN 3-443-07144-8. € 29.00

Gather, Matthias; Kagermeier, Andreas; Lanzendorf, Martin: **Geographische Mobilitäts- und Verkehrsforschung**
2008. 304 S., 112 Abb., 24 Tab., ISBN 987-3-443-07143-1. € 29.00

Düwel, Jörn; Gutschow, Niels: **Städtebau in Deutschland im 20. Jahrhundert**. Ideen Projekte Akteure
2005. 2. unveränd. Aufl., 331 S., 138 Abb., ISBN 3-443-07141-4. € 48.00

Kraas, Frauke; Stadelbauer, Jörg: **Fit ins Geographie-Examen**. Hilfen für Abschußarbeit, Klausur und mündliche Prüfung
2000. 152 S., ISBN 3-443-07127-9. € 12.00

Blümel, Wolf Dieter: **Physische Geographie der Polargebiete**
1999. 239 S., 100 Abb., ISBN 3-443-07128-7. € 25.00

Voppel, Götz: **Wirtschaftsgeographie**. Räumliche Ordnung der Weltwirtschaft unter marktwirtschaftlichen Bedingungen
1999. 267 S., 48 Abb., 25 Tab., ISBN 3-443-07129-5. € 26.00

Hagel, Jürgen: **Geographische Interpretation topographischer Karten**
1998. 144 S., 33 Abb., 2 Beil., ISBN 3-443-07130-9. € 25.00

Lichtenberger, Elisabeth: **Stadtgeographie**. 1: Begriffe, Konzepte, Modelle, Prozesse
1998. 3. Aufl., 366 S., 132 Abb., 14 Tab., ISBN 3-443-07113-9. € 26.00

Schäfer, Alois: **Biogeographie der Binnengewässer**. Eine Einführung in die biogeographische Areal- und Raumanalyse in limnischen Ökosystemen
1997. 258 S., 68 Abb., ISBN 3-443-07132-5. € 19.80

Preisänderungen vorbehalten



Borntraeger Science Publishers Stuttgart

E-mail: mail@borntraeger-cramer.de <http://www.borntraeger-cramer.de>



Borntraeger Science Publishers Stuttgart

E-mail: mail@borntraeger-cramer.de <http://www.borntraeger-cramer.de>

Studienbücher der
Geographie

Karl-Heinz Pfeffer

Karst
Entstehung – Phänomene – Nutzung



Studienbücher der **Geographie**

(Früher: Teubner Studienbücher der Geographie)

Herausgegeben von

Prof. Dr. Roland Baumhauer, Würzburg

Prof. Dr. Jörg Bendix, Marburg

Prof. Dr. Hans Gebhardt, Heidelberg

Prof. Dr. Paul Reuber, Münster

Die Studienbücher der Geographie behandeln wichtige Teilgebiete, Probleme und Methoden des Faches, insbesondere der Allgemeinen Geographie. Über Teildisziplinen hinweggreifende Fragestellungen sollen die vielseitigen Verknüpfungen der Problemkreise sichtbar machen. Je nach der Thematik oder dem Forschungsstand werden einige Sachgebiete in theoretischer Analyse oder in weltweiten Übersichten, andere hingegen stärker aus regionaler Sicht behandelt. Den Herausgebern liegt besonders daran, Problemstellungen und Denkansätze deutlich werden zu lassen. Großer Wert wird deshalb auf didaktische Verarbeitung sowie klare und verständliche Darstellung gelegt. Die Reihe dient den Studierenden zum ergänzenden Eigenstudium, den Lehrern des Faches zur Fortbildung und den an Einzelthemen interessierten Angehörigen anderer Fächer zur Einführung in Teilgebiete der Geographie.

Karst

Entstehung – Phänomene – Nutzung

von

Prof. Dr. Dr. h.c. Karl-Heinz Pfeffer

Mit 283 Abbildungen und 54 Tabellen



Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung
Stuttgart 2010

Prof. Dr. Dr. h.c. **Karl-Heinz Pfeffer**

Geboren 1939 in Frankfurt am Main, Studium der Naturwissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Mai 1960–1966, 1966 Promotion mit einer Dissertation zu Karst- und Glazialmorphologie der Abruzzen. Habilitation im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Frankfurt am Main mit einer vergleichenden Studie zu den Karstlandschaften Jamaikas, Apuliens und der Cyrenaika.

1972 Professor am Geographischen Institut der Universität Frankfurt.

1975 Professor am Geographischen Institut der Universität Köln.

1986–2004 Inhaber des Lehrstuhles für Physische Geographie am Geographischen Institut der Universität Tübingen.

Mitglied der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Ehrenmitglied des Verbandes der Deutschen Höhlen- und Karstforscher.

Seit 2002: Ehrendoktor der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Szeged in Ungarn.

Titelfoto: Felsbrücke, Montpelier Le Vieux (Foto: K.-H. PFEFFER)

ISBN ebook (pdf) 978-3-443-01140-6

ISBN 978-3-443-07147-9

ISSN 1618-9175

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2010 Gebr. Borntraeger, Stuttgart

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Johannesstr. 3A, 70176 Stuttgart, Germany
mail@borntraeger-cramer.de www.borntraeger-cramer.de

Druck: Typofactory GmbH, Stuttgart
Printed in Germany

Inhalt

1 Karst – Einführung in eine multidisziplinäre und interdisziplinäre Wissenschaft	1
1.1 Karst – eine Landschaft in Slowenien	1
1.2 Zur Klassifizierung von Karstlandschaften	3
2 Karst und Mensch – von der Vorzeit bis heute	13
2.1 Höhlen – Archive der Menschheitsgeschichte	13
2.2 Die geisteswissenschaftlich-kulturhistorische Seite des Karstes	21
2.3 Der naturwissenschaftlich-technische Mensch und der Karst	23
2.4 Karst – eine interdisziplinäre Wissenschaft an den Universitäten	28
3 Petrographische Grundlagen zum Karstphänomen	31
3.1 Das Verhalten der Gesteine in der Natur	31
3.2 Die Karstgesteine	36
3.3 Salzgesteine	39
3.4 Sulfatgesteine	48
3.5 Karbonatgesteine	58
3.5.1 Kalk	60
3.5.2 Dolomit	78
3.6 Silikatkarstgesteine	85
4 Die Karsthydrographie	91
4.1 Karst und Fließgewässer	91
4.2 Die Karsthydrographie in den Karbonatgesteinen	99
4.2.1 Grundlagen zur Genese der unterirdischen Entwässerung	103
4.2.2 Zur Genese der unterirdischen Entwässerung	108
4.2.3 Höhlen im Karbonatgestein und unterirdische Entwässerung	113
4.2.4 Karst barré	122
4.2.5 Klimaeinflüsse auf die Karsthydrographie	126
4.3 Hydrographie und Höhlen in Sulfatgesteinen	130

VI Inhaltsverzeichnis

4.4 Salzgesteine und Karsthydrographie.....	138
4.5 Karstwasser – eine wertvolle und gefährdete Ressource	140

5 Oberflächenformen in den Karstgebieten151

5.1 Lösungsformen sowie Karst-überprägte und -konservierte Formen ...	151
5.2 Bestimmungen des Kalkabtrages	158
5.2.1 Lösungsraten aus Fließgewässern	158
5.2.2 Messungen des Kalkabtrages innerhalb der Karstgebiete.....	163
5.2.3 Abtragungsbestimmungen mit Hilfe von Geländeformen	171
5.2.4 Indirekte Messungen an Hand der Lösungsrückstände	174
5.3 Karren	176
5.4 Dolinen	189
5.5 Karstwannen	208
5.6 Vollformenkarst	214
5.7 Poljen.....	243
5.8 Verebnungen	269

6 Karstökologische Besonderheiten279

6.1 Terra rossa	279
6.2 Dolinen – lokale Kaltluftseen.....	284
6.3 Sekundärformationen der Karstvegetation.....	290

7 Ausblick301

8 Quellen und Literatur307

8.1 Photos	307
8.2 Diplomarbeiten.....	307
8.3 Literatur	307

Stichwortverzeichnis.....331

Vorwort

Mit dem Beginn des Sommersemesters 1960 am Geographischen Institut der Universität Frankfurt am Main wurde ich von Herbert LEHMANN, Alfred BÖGLI und Armin GERSTENHAUER in die Wissenschaft des Karstes eingeführt. Schon nach den ersten Vorlesungen wurde mir deutlich, dass Karst ein Oberbegriff für viele Facetten eines Phänomens ist und dass es in vielen naturwissenschaftlichen und auch kulturwissenschaftlichen Fächern eine Beziehung zum Karst gibt. Kontakte zu Höhlenforschern und Naturschützern offenbarten eine Karstforschung und einen Schutz der Karstlandschaft auch außerhalb des universitären Bereiches. Letztlich öffnete sich über Exkursionen zu kalkverarbeitenden Firmen und Wasserwerken in den Karstgebieten ein Zugang zu praxisorientierten Themen.

Diese breite Palette war Tenor meiner Lehr- und Forschungstätigkeiten an der Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Main, der Universität zu Köln und letztlich an der Eberhard Karls Universität in Tübingen.

Das vorliegende Buch, das auf Erfahrungen eigener Forschungsaufenthalte in den unterschiedlichsten Karstregionen, auf Symposien und Exkursionen mit vielen namhaften Kollegen und auf den Lehrveranstaltungen aufbaut, soll einen Überblick über die Breite, über Grundlagen und Anwendungen des Phänomens Karst geben und zugleich eine Bestandsaufnahme zum Wissen über diese multidisziplinäre Wissenschaft sein.

Tübingen, im Januar 2010

Karl-Heinz Pfeffer

1 Karst – Einführung in eine multidisziplinäre und interdisziplinäre Wissenschaft

1.1 Karst – eine Landschaft in Slowenien

Karst ist der deutsche Name (slowenisch – Kras, italienisch – Carso) für eine von Kiefernwäldern, Wiesen und Weiden geprägte Landschaft Sloweniens im Hinterland von Triest (Abb. 1.1). Topographisch ist die Region ein 40 km langes und 13 km breites Nordwest-Südost streichendes Kalkplateau in einer Höhenlage von ca. 500 m im Südosten, das nach Nordwesten auf ca. 200 m abfällt.

In einer Sammlung von landeskundlichen Beiträgen (KRANJ 1997) wird die Geschichte der Landschaft dokumentiert. Der Name geht auf das Erscheinungsbild vor den heutigen Aufforstungen zurück. Über Jahrhunderte prägten

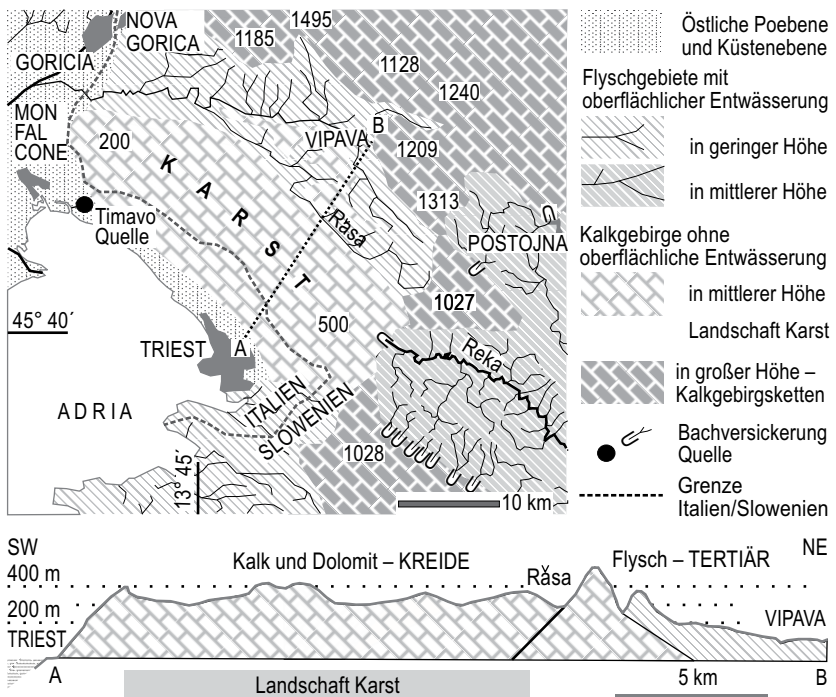


Abb. 1.1: Die topographische und geologische Lage der Landschaft Karst – gezeichnet nach Text und Darstellung in KRANJ (1997), Profil erstellt nach GAMS (1974, 198).

nackte Gesteinsflächen als Ergebnis von Entwaldung, Überweidung und Bodenerosion die Region. Bereits in römischer Zeit war der Name der seit dem Jahre 200 v. Chr. dem römischen Imperium eingegliederten Region „carsus“. 804 n. Chr. siedelten slawische Stämme in Istrien, und eine Urkunde von 1177 enthält die Bezeichnung „grast“, die wohl älteste Schreibweise der gegenwärtigen slowenischen Namensbezeichnung. Die Mercator Karte von 1642 weist die Region als „Karstia“ aus und in Publikationen des 16.–19. Jahrhunderts ist der heutige Namen erkennbar. Alle diese Bezeichnungen gehen auf die prae-indo-europäische Wurzel ka(r)n / ga(r)n zurück, was soviel wie „Stein“ bedeutet.

Die Landschaft Karst weist gegenüber anderen Regionen eine Reihe von Besonderheiten auf. Trotz hoher Niederschläge und humider Klimabedingungen prägen abflusslose trockene Hohlformen und fehlender oberflächlicher Abfluss das Landschaftsbild, und es gibt 587 bekannte Höhlen. Der Fluss Reka verschwindet am südöstlichen Rand des Plateaus in der Höhle von San Kanžian, und am nordwestlichen Rand schütten die Timavo Quellen mit über 30.000 Liter pro Sekunde.

Diese markanten Phänomene waren schon seit der Antike Ziele von Studien (z.B. POSIDONIUS von APAMEIA 135–50 v. Chr., VERGIL 90–19 v. Chr., KIRCHER 1665) und vom 16.–19. Jahrhundert wurde der Landschaftsname Karst mit diesen spezifischen Phänomenen verbunden. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts führten Geographen und Geologen den Landschaftsnamen in allgemeine Begriffe ein, so enthalten die 1848 von A. von MORLOT erstellten Erläuterungen der geologischen Karte von Istrien Begriffe wie „Karstkalk“ und „Karstlandschaft“. Ende des 19. Jahrhunderts war das heutige Slowenien Teil der Donaumonarchie und Wien ein bedeutendes Zentrum geowissenschaftlicher Forschung. Unter Leitung von Albrecht PENCK begann eine systematische Forschung, und in seiner Dissertation „Das Karstphänomen“ führte sein Schüler Jovan CVIJIC (1893) Karst als Typenbegriff in die wissenschaftliche Terminologie ein. Seit dieser grundlegenden Arbeit ist Karst ein Wissenschaftsbegriff, der sich international durchsetzte und heute übergeordnet eine multidisziplinäre und interdisziplinäre Wissenschaft kennzeichnet. Zeitgleich gelangte auch die unterirdische Entwässerung in den Fokus hydrologischer Studien. Rückblickend zeigt sich aber, dass sowohl die in Europa als auch in Amerika vorgelegten Studien nur regionalen Gegebenheiten behandelten, da Sprachbarrieren hemmten und kein wissenschaftlicher Austausch erfolgte.

Literaturauswahl zur Ergänzung und Vertiefung: CVJIĆ 1893 – Lehrbuch zum Karstphänomen, GAMS 1993 – Zum Karstbegriff, FORD & WILLIAMS 2007 – Lehrbuch zur Karsthydrogeologie und Karstgeomorphologie, KLIMCHOUK et al. (Hrsg.) 2000 – Aufsatzsammlung zum Stand der Karsthydrologie, ROGLIC 1972 – Historische Betrachtung der Karstmorphologie.

1.2 Zur Klassifizierung von Karstlandschaften

Gemeinsame Geofaktoren sind die unabdingbaren Voraussetzungen für eine Karstlandschaft. Lösliche Gesteine (s. Kapitel 3), die in einem so hohen Maße mit Wasser oder wässrigen Lösungen reagieren, dass an der Landoberfläche Lösungsformen (Korrosionsformen) und im Untergrund erweiterte Kluftsysteme und Höhlen entstehen. Überwiegend unterirdische Entwässerung (s. Kapitel 4) und nicht die in humiden Klimaten normale, oberflächliche durch Fließgewässer, oder flächenhaften Abfluss oder Süßwasserseen in Hohlformen gekennzeichnete Hydrographie. Korrosionsbedingte spezifische Oberflächenformen (s. Kapitel 5), die in ihrer Verbreitung auf die mit diesen petrographischen und hydrographischen Grundlagen ausgestatteten Regionen beschränkt sind, bestimmen das Landschaftsbild.

Solche Gebiete und Phänomene werden in der wissenschaftlichen Literatur unter dem Begriff „Karst“ erfasst. Gebiete, die klimatisch azonal ohne oberflächlichen Abfluss sind, werden als „verkarstet“ bezeichnet, ausgenommen Regionen, wo Lockergesteine mit großer Porosität, wie z.B. Kies, Löss, vulkanischer Tuff, eine oberirdische Entwässerung weitgehend unterbinden.

Alle in Karstlandschaften auftretenden Phänomene, Prozesse und vorhandenen ökologischen Ausstattungen werden heute weltweit unter dem Begriff „Karst“ subsumiert. Damit finden sich unter diesem Stichwort Teilbereiche der Petrographie, der Geologie, der Paläontologie, der Archäologie und der Geomorphologie.

Die Geofaktoren bewirken durch ihr Zusammenspiel spezifische Standortfaktoren, so dass auch Teilbereiche der Bodenkunde, der Klimatologie und der Biologie zum „Karst“ gehören.

Letztlich bringen die Interaktionen der für die Karstlandschaften typischen geoökologischen Parameter mit der Biosphäre und den menschlichen Eingriffen besondere ökologische Verhältnisse hervor, deren Quantifizierungen zum Naturpotenzial und seiner Veränderungen durch den wirtschaftenden Menschen Grundlagen für Bewertungen, Nutzungen und Planungen liefern. Somit sind auch Teilbereiche sozioökonomischer Wissenschaften in der Wissenschaftsdisziplin „Karst“ integriert.



Abb. 1.2: Karstlandschaft in Montenegro nahe Cetinje – eine Holokarstlandschaft.

Karst präsentiert sich somit heute als eine vielfältige auf spezifische Geofaktoren zurückgehende multidisziplinäre und interdisziplinäre Wissenschaft.

Beginnend mit den grundlegenden Arbeiten der Wiener Geographen wurden zur Klassifizierung von Karstlandschaften Definitionen vorgelegt, die für alle Teilgebiete der Wissenschaft „Karst“ von Bedeutung sind.

Als Holokarst (Ganzkarst) wird ein Landschaftsteil nach CVJIĆ (1925) bezeichnet, der nur einen Karstgesteinskomplex aufweist und in dem ein breites Spektrum von Karstformen entwickelt ist. Beispielhaft hierfür ist das Dinarische Gebirge (Abb. 1.2).

Als Merokarst (Halbkarst) (CVJIĆ 1925) wird ein Landschaftsteil bezeichnet, in dem Abfolgen von Karstgesteinen mit denen von Nichtkarstgesteinen wechseln und daher in der Landschaft Karstformen mit Formen von fluvialer Abtragung wechseln. Beispiele hierfür finden sich in den gefalteten Teilen des dinarischen Gebirges, in denen Karstgesteine mit Flysch kleinräumig wechseln oder die Karstgebiete in Kentucky (Abb. 1.3) und Indiana, die in der Schichtenfolge einen Wechsel geringmächtiger Karstgesteine und Nichtkarstgesteine aufweisen.

Die Begriffe werden heute aber international nur noch vereinzelt angewandt.

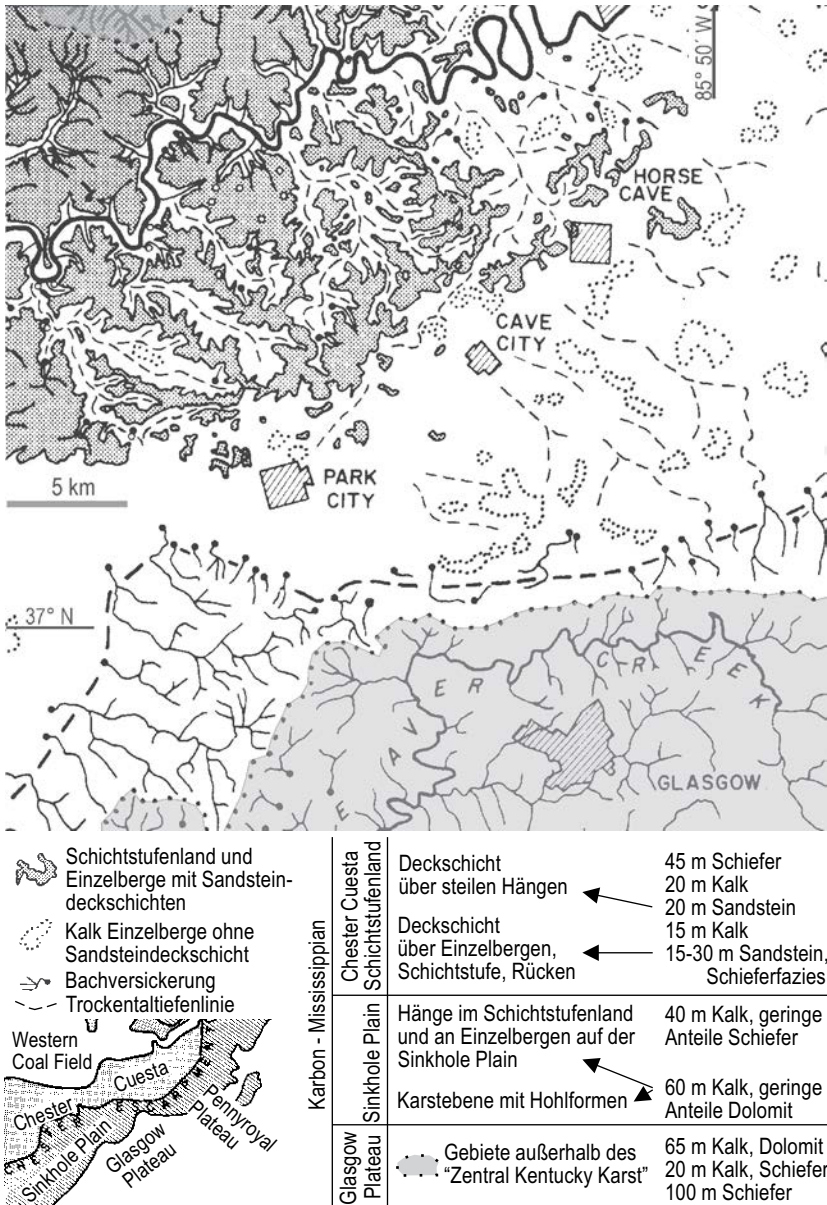


Abb. 1.3: Merokarstlandschaft in Kentucky. Ausschnitte aus QUINLAN (1969, 236, 242).

Nackter Karst (oberflächlicher Karst) (Abb. 1.4, 1.5) (Cvijić 1893, 1925) liegt vor, wenn das lösliche Gestein offen ohne eine Bedeckung zutage tritt. Natürliche Verbreitungsgebiete sind die Karstlandschaften oberhalb der Baumgrenze in den Alpen und die Übergangsregionen in die ariden Räume.

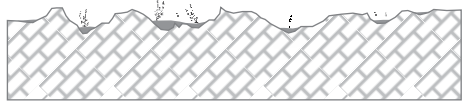


Abb. 1.4: Nackter Karst, freiliegende Felsflächen mit vereinzelt Rohböden (Rendzinen).

Weit verbreitet sind aber nackte Karstgebiete, die erst nach Rodungen und ackerbaulicher Nutzung bzw. nachfolgender Überweidung ihre Bodendecke verloren haben. Nachweisbar ist dies durch die Reste von Böden in Bodenzapfen oder durch in Kulturterrassen und Hohlformen (Abb. 1.6) zusammen geschwemmtes Bodenmaterial mit Kulturschutt Beimengungen.

Auch mittels archäologischer Befunde (Abb. 1.7) kann eine Bodenbedeckung vor den menschlichen Eingriffen nachgewiesen werden. Das Erscheinungsbild mediterraner Karstgebiete (Abb. 1.8) geht auf diese, durch Quellen zu belegende anthropogenen Eingriffe in die Naturlandschaft zurück. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts begannen in den mediterranen Karstgebieten Meliorationen, die neue Forstgebiete und Agrarbauflächen entstehen ließen (Abb. 1.9, 1.10).



Abb. 1.5: Nackter Karst oberhalb der Baumgrenze – Gottesackerplateau bei Oberstdorf.

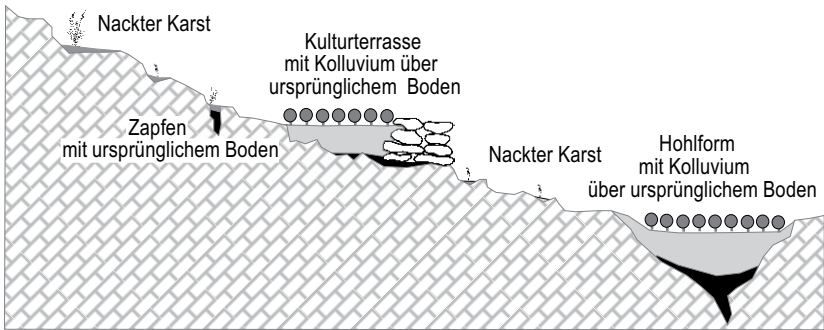


Abb. 1.6: Nackte Karstlandschaft – entstanden nach Rodungen und Bodenerosion.

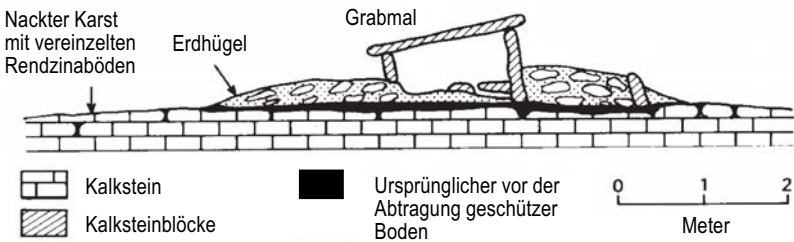


Abb. 1.7: Archäologische Belege für eine Bodenbedeckung vor den menschlichen Eingriffen im Burren District in Irland, TRUDGILL (1985, 118).



Abb. 1.8: Nackter Karst nach Rodungen und Bodenerosion im Dinarischen Gebirge.



Nackter Karst im Mediterrangebiet

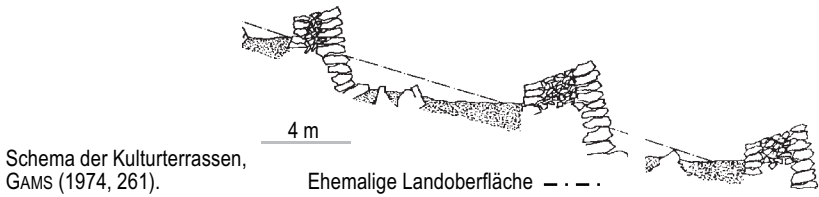
Nach Rodung des Waldes und Bodenerosion treten die anstehenden Kalke an der Landoberfläche offen zu Tage. Aufschlüsse zeigen, dass Reste des Bodens erosionsgeschützt in Zapfen zwischen den Gesteinspartien erhalten sind.



Aufforstungen in Slowenien

Bäume wurden zwischen die anstehenden Kalke in die Bodenzapfen gepflanzt.

Abb.1.9: Verteilung von Kalkfels und Bodenresten im nackten Karst des Mediterrangebiet – Möglichkeiten zur Aufforstung.



Für die **Melioration** zu Agrarland wurde die Landoberfläche des nackten Karstes etwa einen halben Meter mechanisch oder mit Sprengungen aufgebrochen. Das Gemisch aus Kalkgestein und Boden aus den Bodenzapfen wurde mechanisch getrennt und die Gesteinstrümmer entweder zu Trockenmauern aufgeschichtet oder es wurde eine Kassettenstruktur angelegt. Der grobsteinfreie Boden wurde dazwischen eingefüllt. Die wenige Meter breiten Terrassen bzw. nur wenige Quadratmeter großen Kassetten dienen dem Anbau, in den abgebildeten Regionen in Kroatien wurden Oliven und Wein angepflanzt und Gemüse angebaut.



Abb.1.10: Umwandlung nackter Karstgebiete Kroatiens in Agrarland, PFEFFER (2009, 22).

Der Begriff des bedeckten Karstes war ursprünglich sehr weit definiert, er galt primär für alle Karstgebiete, wenn über dem Kalk unlösliche Deckmassen lagern, die erst im Laufe der Verkarstung entstanden oder über dem Kalk ausgebreitet wurden (RICHTER 1908). Dieser Begriff wurde neu definiert. Bedeckter Karst (Abb. 1.11) ist eine Region, in der Boden und Vegetation über dem löslichen Gestein vorhanden sind (APEL 1971, ZÖTL 1974). Beispiele hierfür sind mit Böden und Vegetation überzogene Kalkgebiete etwa in den Alpen unterhalb der Waldgrenze.

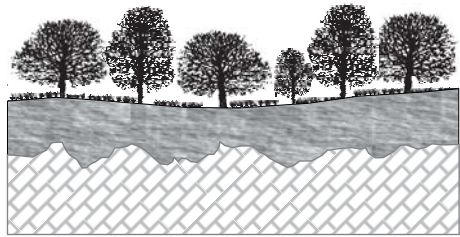


Abb. 1.11: Bedeckter Karst.



Abb. 1.12: Überdeckter Karst.

Überdeckter Karst (Abb. 1.12) liegt vor, wenn jüngere Ablagerungen über einer alten Karstoberfläche lagern (APEL 1971, ZÖTL 1974). Dies sind Bereiche der Mittelgebirge mit Lössauflagen aus der letzten Kaltzeit, in denen Braunerden und Parabraunerden entwickelt sind, meist mit einem im unteren Teil des Bodenprofils älteren sehr tonigen Lehm.



Abb.1.13: Unterirdischer Karst in Florida nördlich Orlando am Citrus Tower. Marines, nichtverkarstungsfähiges Quartär lagert über tertiären Kalken. Diese verkarsten nach Ablagerung der Deckschichten und oberflächlich entstehen durch Nachsacken wassergefüllte Hohlformen.

Unterirdischer Karst (Abb. 1.14) ist vorhanden, wenn Deckschichten über dem löslichen Gestein lagern und die Verkarstung erst nach der Bedeckung begonnen hat (KATZER 1905). In den nicht-verkarstungsfähigen, über dem Karstgestein lagernden Schichten entstehen Hohlformen mit Seen. Die Gebiete am südlichen Harzrand und die mittleren Regionen von Florida (Abb. 1.13) sind hierfür Beispiele.

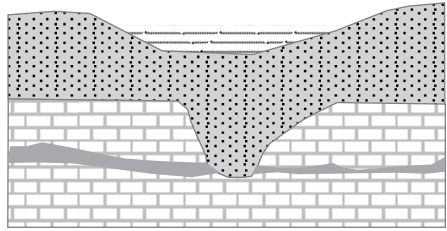


Abb. 1.14: Unterirdischer Karst.

Paläokarst ist die Bezeichnung für Karstphänomene und Karstlandschaften, wenn die Karstentwicklung zum Stillstand gekommen ist. Dies kann durch lagebedingte Veränderungen sowie durch sedimentäre und klimatische Ereignisse bedingt sein.

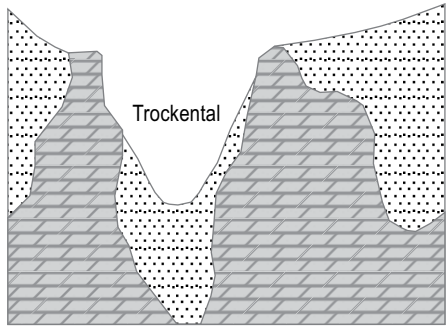


Abb. 1.15: Vollformen im Juradolomit, verschüttet unter marinen oberkretazischen Sanden, in Trockentälern teilweise exhumiert. Veldensteiner Forst, Frankenalb.

Ein Anstieg des Meeres, gleich ob regional tektonisch bedingt oder durch einen allgemeinen Meeresspiegelanstieg, blockiert die weitere Entwicklung des Karstes. Daher können an Steilküsten mit Salzwasser gefüllte inaktive große Höhlensysteme weit unter dem heutigen Meeresspiegel gefunden werden. Weiterhin können auf Grund von Veränderungen der Höhenlage die Karstlandschaften mit terrestrischen oder marinen Sedimenten überschüttet werden, so dass ein begrabener Karst entsteht (Abb. 1.15).

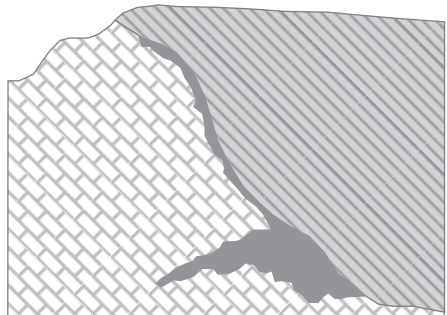


Abb. 1.16: Dinarisches Gebirge - Bauxit (dunkel) in Karstformen auf kretazischen Kalken (Backsteinsignatur) auf einer von ober-oligozänen Sedimenten (Streifensignatur) überlagerten und gefalteten alttertiären Landoberfläche, BOGNAR et al. (1987, 174).

Dieser wird dann in den folgenden Erdzeiten von der geologischen und geomorphologischen

Entwicklung der Region beeinflusst und kann auch partiell wieder freigelegt werden. Paläokarst tritt in gefalteten Gebirgen (Abb. 1.16) auf oder kann teilweise wieder freigelegt werden (Abb. 1.15). Mitunter sind Höhlen ohne Höhlendächer an der Landoberfläche Zeugen für einen Paläokarst. Letztlich können sowohl ein Klimawandel von humiden Bedingungen zu ariden Verhältnisse ebenso wie kaltzeitliche periglaziale Phasen eine Karstentwicklung stoppen.

Paläokarst ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, da sich im Paläokarst Lagerstätten von Blei, Zink, Bauxit (Abb. 1.16), Uran, Eisen, Tonerde und auch Öl befinden.

Paläokarst ist aufgrund der plattentektonischen Vorgänge, der lokalen Tektonik sowie der Paläoklimaschwankungen weltweit verbreitet (BOSÁK et al. 1989).

Zur Kennzeichnung der Karstgebiete werden neben den bereits dargelegten Kriterien die anstehenden Gesteine herangezogen – Salzkarst, Gipskarst, Karbonatkarst und hierbei speziell noch Dolomitkarst. Auch die Dominanz einzelner Oberflächenformen und Formengemeinschaften wird zur Kennzeichnung einzelner Karstlandschaften genutzt.

Literaturauswahl zur Ergänzung und Vertiefung: BECK & WILSON (Hrsg.) 1987 – Abhandlungen zu Ingenieurgeologie und Karst, BINDER (Hrsg.) 1993 – Abhandlungen zu allen Teilgebieten des Karstes der Schwäbischen Ostalb, BÖGLI 1978 – Lehrbuch zu Karst und Höhlen, BOSÁK et al. (Hrsg.) 1989 – Abhandlungen zum Paläokarst, DREW & HÖTZL (Hrsg.) 1999 – Abhandlungen zur Karsthydrogeologie und dem Menschen, EK (Hrsg.) 1984 – Abhandlungen zur angewandte Karstforschung, FORD & WILLIAMS 2007 – Lehrbuch zur Karsthydrogeologie und Karstgeomorphologie, GUNN (Hrsg.) 2004 – Enzyklopädie zu allen Teilgebieten des Karstphänomens, KUNAVAR (Hrsg.) 1987 – Abhandlungen zu Mensch und Umwelt im Karst, LEHMANN 1987 – Abhandlungen zur Karstmorphologie, PFEFFER (Hrsg.) 1988, 1990a – Abhandlungen zu Mensch und Umwelt im Karst, PFEFFER 2002 – Lexikonbeiträge, SPONHOLZ 2002 – Lexikonbeiträge, SWEETING (Hrsg.) 1981 – Abhandlungen zur Karstgeomorphologie, TRIMMEL 1968 – Fachwörterbuch zu Karst und Höhlenkunde, WILLIAMS (Hrsg.) 1993 – Abhandlungen zu Mensch und Umwelt im Karst, ZÖTL 1974 – Lehrbuch Karsthydrogeologie. Die ergänzende Literatur zu den einzelnen Teildisziplinen wird in den folgenden Kapiteln angegeben.

2 Karst und Mensch – von der Vorzeit bis heute

2.1 Höhlen – Archive der Menschheitsgeschichte

Vor der neolithischen Siedlungsphase boten Höhlen über einen langen Zeitraum den prähistorischen Menschen eine Unterkunft. Wandmalereien innerhalb der Höhlen und Grabungen in Sedimenten im Höhlengangsbereich lieferten mit Skelettresten, Werkzeugen, Feuerstellen, Resten von Mahlzeiten und Kunstgegenständen wesentliche Informationen zu einzelnen Epochen der Menschheitsgeschichte und sind Bausteine für die Rekonstruktion von prähistorischen Lebensräumen.

Die Fundstellen werden stratigraphisch aufgenommen (Abb. 2.1) und einzelne Horizonte und Einzelfundstücke paläomagnetisch eingeordnet. Die Sedimente werden sedimentpetrographisch und geochemisch analysiert und auf Beimengungen von Holzkohlenstückchen, Pollen oder auf Klima anzeigende Schnecken untersucht (SCHMID 1958). Skelettreste werden anatomisch betrachtet und bestimmt, Artefakte nach ihrem Bearbeitungszustand einzelnen Kulturstufen (Tab. 2.3) zugeordnet. Je nach Substrat erfolgen mittels der in den Geowissenschaften üblichen Methoden Datierungen (Tab. 2.1) der Fundgegenstände.

Die Analysen erbringen einerseits Daten für die Entwicklungsgeschichte vom Menschen, von Tieren und Pflanzen, sowie andererseits bei interdisziplinären

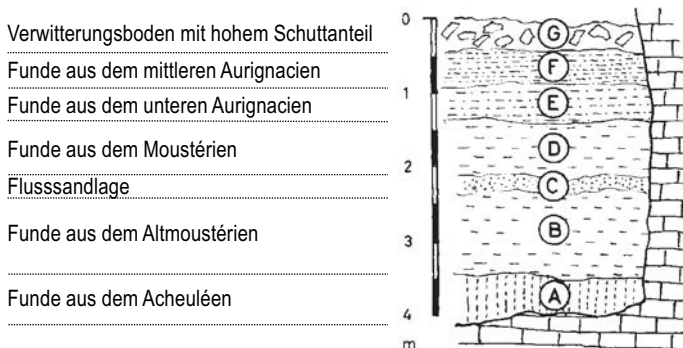


Abb. 2.1: Sedimentablagerungen mit Artefakten in der Höhle von Le Moustier bei Les Eyzies im Périgord (Département Dordogne, Südwest Frankreich). TRIMMEL (1968, 160).

Tab. 2.1: Datierungsmethoden – zusammengestellt nach WAGNER 1995.

SUBSTRAT	METHODE	ZEITRAUM
Holz	Dendrochronologie	Bis 12.000 Jahre
Holz Holzkohle Knochen organisches Material	^{14}C – Radiokohlenstoff	Maximalalter 35.000–65.000 Jahre
Tropfsteine, Knochen Zahnschmelz	Uran–Thorium	10.000–550.000
Keramik, gebrannter Ton Quarzkörner, Feldspäte, Kalkausscheidungen Tropfsteine	TL (Thermolumineszenz) OSL (Optisch stimulierte Lumineszenz) IRSL (Infrarot stimulierte Lumineszenz)	Bis zu 1 Million Jahre
Kalkausscheidungen, Zahnschmelz, Feuerstein	ESR Elektronenspinresonanz	10.000–1 Million Jahre
Obsidian	Obsidian-Hydratation	Bis zu 1 Million Jahre
Vulkanische Gläser Gesteinsabschläge Obsidian	Spaltspuren	Bis zu 1 Million Jahre
Sedimente, Keramik	Paläomagnetik	Bis zu 5 Millionen Jahre
Sande Gesteinsabschläge	Beryllium -10	10.000 bis 10 Millionen

Auswertungen viele Informationen über die jeweiligen paläoökologischen Gegebenheiten (Abb. 2.5).

Es liegen inzwischen weltweit so viele Grabungsergebnisse vor, dass Auflistungen den Rahmen dieser Darstellung sprengen würden. Aufgezeigt werden soll an ausgewählten Marksteinen die Bedeutung von Funden in Höhlen zur Entwicklung des Menschen (Tab. 2.2).

Die nördlich von Johannesburg gelegenen Höhlen Kromdraai, Sterkfontein und Swartkraus wurden 1999 als „Wiege der Menschheit“ in das UNESCO-Welterbe aufgenommen. In diesen Höhlen wurden Skelettreste von *Australopithecus africanus* gefunden. Der jüngste Fund im Sterkfontein Höhlensystem, ein als „Little Foot“ bezeichnetes, gut erhaltenes Skelett mit Kopf (CLARK 1998) wurde mit Paläomagnetik zwischen 3,30 und 3,33 Millionen Jahren datiert (PARTRIDGE et al. 1999).

Die ältesten, auf 780.000 Jahre datierten Menschen Europas wurden in der Höhle Gran Dolina bei Atapuerca nordöstlich von Burgos in Spanien gefunden und dem *Homo (erectus) heidelbergensis* zugeordnet. Zeugnisse aus der jüngeren Menschheitsgeschichte finden sich nach der Migration des Menschen aus Afrika in den Höhlen Mitteleuropas und des Mittelmeergebietes, die während des Eiszeitalters von auf Jagdzügen umherstreifenden Steinzeitmenschen immer wieder aufgesucht wurden. Auch die Schädeldecke des ebenfalls dem *Homo erectus* zugeordneten „Pekingmenschen“ wurde in einer Höhle (Zhoukoudian Höhle bei Peking) gefunden.

1856 wurden bei Arbeiten in einem Steinbruch aus der Kleinen Feldhofer Grotte stammende Knochen gefunden, die einem Menschen zugeordnet wurden, der sich aber vom heute lebenden unterschied. Dieser Fund war der Beginn der Forschungen zur Evolution des Menschen.

Die auf 42.000 Jahre datierten Skeletteile waren nach der Lage der Fundstelle im Neandertal bei Düsseldorf namensgebend für eine Hominidengruppe.

Der anatomisch heutige Mensch (*Homo sapiens*), wurde nach den ersten Funden unter einem Felsdach bei Les Eyzies als Cro-Magnon Mensch bezeichnet. Die Reste des ältesten Jetztmenschen wurden in der Höhle Qafzeh in Israel in der Nähe von Nazareth gefunden und mit TL, ESR und Uran-Thorium Datierungen auf 110–120.000 Jahre eingestuft.

Vom eiszeitlichen Menschen sind in den Höhlen der Schwäbischen Alb kulturelle Zeugnisse überliefert. In den Höhlen Hohler Fels und Geißenklösterle bei Blaubeuren

Tab. 2.2: Entwicklung der Hominiden.

Sahelanthropus tchadensis
7–6 Millionen Jahre
BRUNET et al. (2002, 2005)
Orrorin tugenensis
6 Millionen Jahre
SENUET et al. (2001)
Es ist noch umstritten, ob diese Funde von direkten Vorfahren des Menschen stammen.
Ardipithecus ramidus kadabba
5,8–5,2 Millionen Jahre
Ardipithecus ramidus
4,4 Millionen Jahre
Australopithecus anamensis
4,1 Millionen Jahre
Australopithecus afarensis
3,2 Millionen Jahre („Lucy“, Bezug für andere Ausgrabungsfunde).
JOHANSON & BLAKE (2006)
Kenyanthropus platyops
3,5–3,2 Millionen Jahre
Australopithecus africanus
3–2,5 Millionen Jahre
Australopithecus aethiopicus
2,5–2,3 Millionen Jahre
Australopithecus boise
2,4–1,1 Millionen Jahren
Homo rudolfensis
2,4–1,8 Millionen Jahre
Homo habilis
2,1–1,6 Millionen Jahre
Australopithecus robustus
2,0–1,0 Millionen Jahre
Homo ergaster
1,8–1,5 Millionen Jahre
Homo erectus
1,8–40.000 Jahre
Homo heidelbergensis
600.000–200.000 Jahren
Homo neanderthalensis
in Europa
200.000 bis vor ca. 28.000 Jahren
Homo sapiens
seit 160.000 Jahren,
seit 65.000 Jahren in Europa

sowie Vogelherd und Hohlenstein-Stadel im Lonetal wurden figürliche Darstellungen und Plastiken (Abb. 2.2) gefunden, die aus Knochen und Elfenbein geschnitzt und dem Aurignacien zugeordnet wurden. Datierungen ergaben für die Vogelherdfundstelle ein ^{14}C Alter von 28–36.000 Jahren.

Im Geißenklösterle wurden aus dem Sediment aus Vogelknochen geschnitzte Flötentile und eine Elfenbeinflöte geborgen. Für diese ergaben ^{14}C Daten ein Alter von 30.–36.000 Jahren, eine TL Datierung sogar 37.000 Jahre. Diese Datierungen belegen die Funde als weltweit älteste figürliche Kunstwerke und Musikinstrumente. Die Grabungen im Vogelherd brachten nicht nur die bereits geschilderten Kunstwerke zu Tage, sondern RIEK (1934) fand auch Skelette des jetztzeitigen Menschen. Diese zusammengehörend beschriebenen Funde waren ebenso wie die gemeinsamen Funde von Werkzeugen und Skeletten vom anatomisch neuzeitlichen Menschen in der Höhle von Cro-Magnon in Südwestfrankreich der Beleg für die Paläoanthropologie, dass der moderne Mensch mit der Schaffung von Werkzeugen und Kunstwerken eine neue Epoche der Menschheitsgeschichte eingeleitet hat. Die Kulturgüter des Aurignacien wurden über 70 Jahre dem anatomisch modernen Menschen zugerechnet.

Neuere Datierungen (CONARD et al. 2004) der seinerzeit in der Vogelherdhöhle gefundenen Homo sapiens Skelettreste ergaben aber nur ein ^{14}C Alter von 3.900–5.000 Jahren. Die Kunstgegenstände

Tab. 2.3: Steinzeitkulturen in Europa.

PALÄOLITHIKUM vor mehr als 2 Millionen Jahren bis 8000 v. Chr.
Geröllgeräte – Industrien 2,4 Mill. bis 1 Mill. Jahre Behauene Steingerölle
Protoacheuléen von 1,2 Mill. bis 600.000 Jahren Altacheuléen vor etwa 600.000 bis 350.000 Jahren Jungacheuléen vor etwa 350.000 bis 150.000 Jahren Spätaacheuléen vor etwa 150.000 bis 100.000 Jahren Roh gefertigte Faustkeile unregelmäßige Seitenkanten
Micoquien vor etwa 125.000 bis 70.000 Jahren Moustérien vor etwa 125.000 bis 40.000 Jahren Levalloistechnik, asymmetrische Faustkeile, Dreieckspitzen
Aurignacien vor etwa 35.000 bis 29.000 Jahren Gravettien vor etwa 28.000 bis 21.000 Jahren Magdalénien vor etwa 15.000 bis 11.500 Jahren Schmale leichte Feuersteingeräte, beginnende Mikrolithisierung
Spätpaläolithikum vor etwa 11.500 bis 10.000 Jahren Federmesser
MESOLITHIKUM vor etwa 8.000 bis 5.000 v. Chr.
Jagdwaffen mit kleinen Feuerstein- abschlägen, Mikrolithe
NEOLITHIKUM vor etwa 5.500 bis 2.300 v. Chr.
Siedlungen, Ackerbau, Tier - und Pflanzen Domestikation Linienbandkeramische Kultur von etwa 5.500 bis 4.900 v. Chr Tongefäße mit Bandverzierungen

wurden wie oben angeführt aber als Aurignacien verifiziert. Folglich können die im Vogelherd gefundenen jungsteinzeitlichen jettzeitigen Menschen nicht die Hersteller der paläolithischen Kunstwerke sein. Eine jungsteinzeitliche Begräbnisstätte in älteren Höhlensedimenten wird diskutiert. Diese Deutungen werden dadurch gestärkt, dass es eine Reihe von Höhlen gibt, in denen jungsteinzeitliche Bestattungen nachgewiesen wurden. Datierungen in Cro Magnon selbst ergaben ebenfalls jüngere Alter für die mit den Werkzeugen parallelisierten Skelettreste. Durch diese neuen Skelettdatierungen fehlen die zeitgleichen Ablagerungen von Aurignacien Kulturen mit Skeletten des anatomisch modernen Menschen. Da zum Zeitpunkt der Herstellung der Aurignacien Werkzeuge, Skulpturen und Musikinstrumente sowohl der Neandertaler als auch der moderne Mensch in Europa lebten, ist es zurzeit offen, ob die Aurignacien Funde aus den Höhlen vom Neandertaler oder vom Homo sapiens stammen.

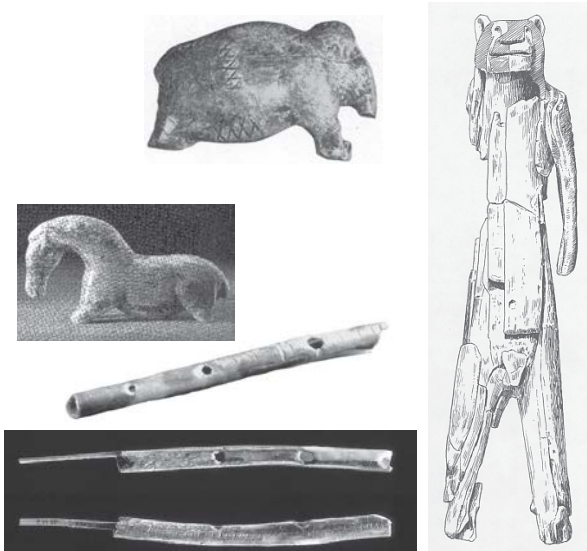


Abb. 2.2: Kunstwerke aus Höhlen der Schwäbischen Alb. Vogelherdhöhle im Lonetal: Aus Elfenbein geschnittenes Mammut (5 cm) und Wildpferd (5 cm), RIEK (1963, 84). Höhle Hohlenstein-Stadel im Lonetal: Löwenmensch, SCHMID (1989, 68). Höhle Geißenklösterle bei Blaubeuren: Flöten – (obere Abbildung) aus Schwanenknochen (12,6 cm) und Elfenbein (18,7 cm), CONARD (Pressemitteilung der Universität Tübingen 2004).

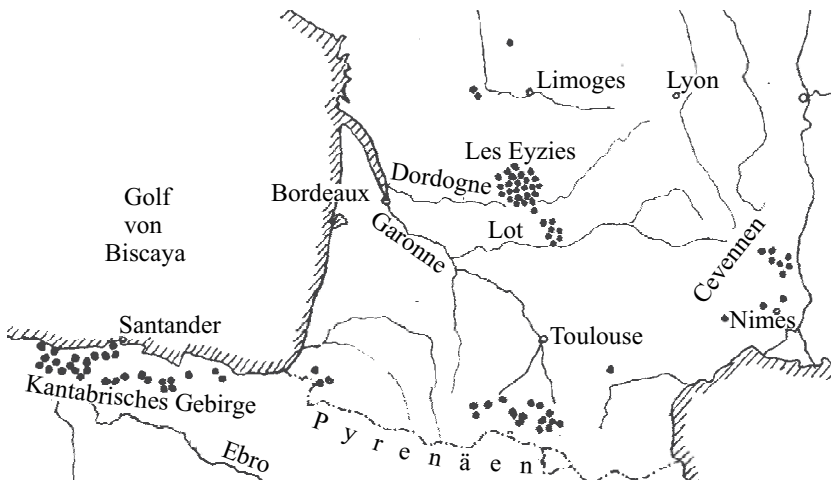


Abb. 2.3: Höhlen mit Wand-, Deckenmalereien und Gravuren in Südwestfrankreich und Nordwestspanien, TRIMMEL (1968, 166).

Viele Aussagen zur kulturellen Bedeutung des anatomisch modernen Menschen insbesondere auch im Hinblick auf den Neandertaler bedürfen durch die neuesten Datierungen einer Überprüfung (CONARD et al. 2004, MELLARS 2004, 2006). Andererseits ergaben Vergleiche mit Funden in eindeutigen Neandertaler Plätzen deutliche Abweichungen, so dass der *Homo sapiens* als Hersteller der Kunst wohl die wahrscheinlichere Zuordnung ist.

Dem modernen Menschen sind die in vielen Höhlen anzutreffenden Wandmalereien zuzuordnen. Eine große Häufung findet sich im südwestlichen Europa zwischen Dordogne und Kantabrischen Gebirge (Abb. 2.3). Besonders zu erwähnen sind über Holzkohle ^{14}C datierte 16–14.000 Jahre alte Bisondeckenmalereien in der Höhle von Altamira beim Dorf Santillana de Mar in der spanischen Provinz Santander. Die Höhlen im Vezere Flusstal im Perigord in der Dordogne sind UNESCO Weltkulturerbe und Les Eyzies nennt sich Welthauptstadt der Prähistorie. Die dortigen Höhlen weisen eine große Zahl von Wandmalereien und Gravuren auf (Abb. 2.4). In der Höhle von Lascaux sind in den Höhlenräumen 600 Gemälde von Aurochs, Pferden, Hirschen sowie 1500 meist Pferde darstellende Gravierungen zu sehen. Diese Höhle enthält auch die größten bekannten figürlichen Darstellungen des Eiszeitalters, ein bis zu 5 m Länge aufweisendes Aurochsgemälde. Die Entstehung dieser Kunstwerke wird mittels ^{14}C Datierungen der Holzkohlen vom Höhlenboden auf die Zeitspanne von 15.000 bis 7.000 Jahren fixiert.

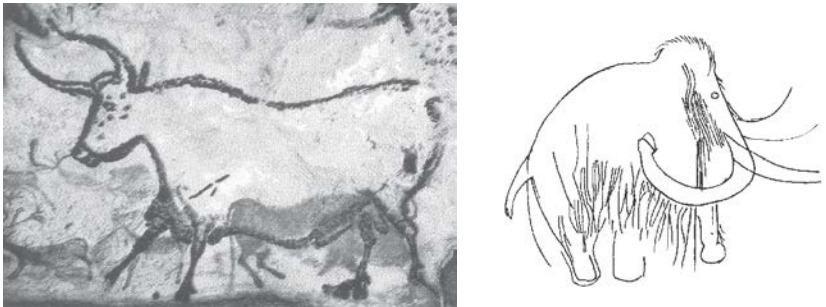


Abb. 2.4: Neolithische Wandmalereien und Felsritzzeichnungen in den Höhlen bei Les Eyzies in Südwestfrankreich. Bison Wandgemälde in der Höhle von Lascaux, GUNN (2004, Plate 4i), Mammut Ritzzeichnung in der Höhle von Combarelles, TRIMMEL (1968, 168).

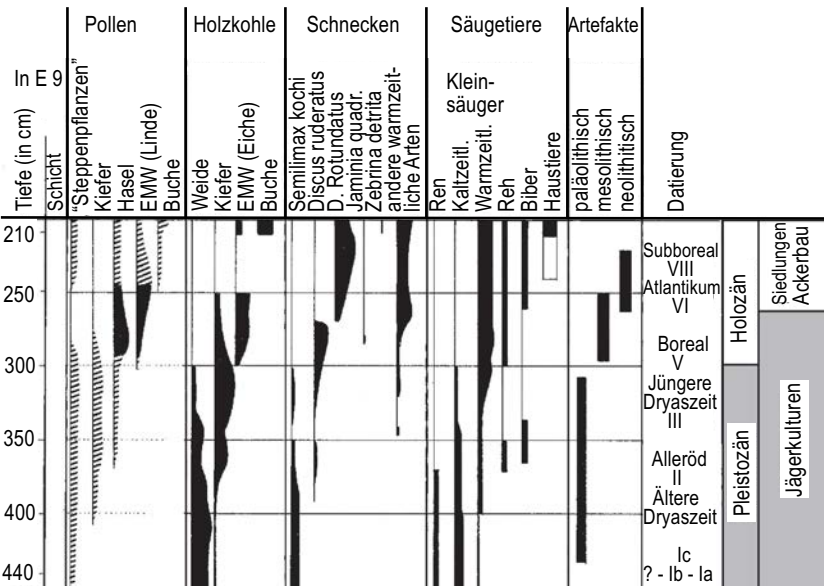


Abb. 2.5: Die ökologischen Veränderungen an der Grenze vom Pleistozän zum Holozän, dokumentiert an Höhlensedimenten der Burghöhle von Dietfurt, von KÖNIGSWALD (1983, 211). Kaltzeitliche Pflanzen und Tiere werden ab einer Tiefe von 300 cm von warmzeitlichen Formen abgelöst. Veränderungen der Feuerspuren in der Höhle weisen auf einen Nutzungswandel hin.

Mit dem Ende des Eiszeitalters ändert sich in Mitteleuropa das ökologische Umfeld und mit dem mitteleuropäischen Neolithikum auch die Bedeutung der Höhlen (Abb. 2.5).

Mit dem Sesshaftwerden des Menschen, den Möglichkeiten des Hausbaus und dem Beginn des Ackerbaus sind die Höhlen nicht mehr direkter Lebensraum, sie dienen entweder noch als gelegentliche Jagdunterkünfte oder als Begräbnisstätten mit informativen Grabbeigaben.

Aber auch aus der Phase des Sesshaftwerdens können Höhlen weltweit viele Informationen zu den Lebensgewohnheiten, zum Ökosystem und seiner Beeinflussung durch die Änderung der Wirtschaftsweise des Menschen beitragen. Höhlensedimente enthalten wichtige Informationen zur Domestikation von Haustieren und Ackerpflanzen (Abb. 2.6).

Mit dem Beginn schriftlicher Überlieferungen lassen sich zwei Einstellungen zu den Karstphänomenen erkennen. Mythen, Sagen, Märchen, philosophische und religiöse Bezüge, Gemälde und Romane zeigen die geisteswissenschaftliche Seite der Karstphänomene, während naturbezogene Beobachtun-

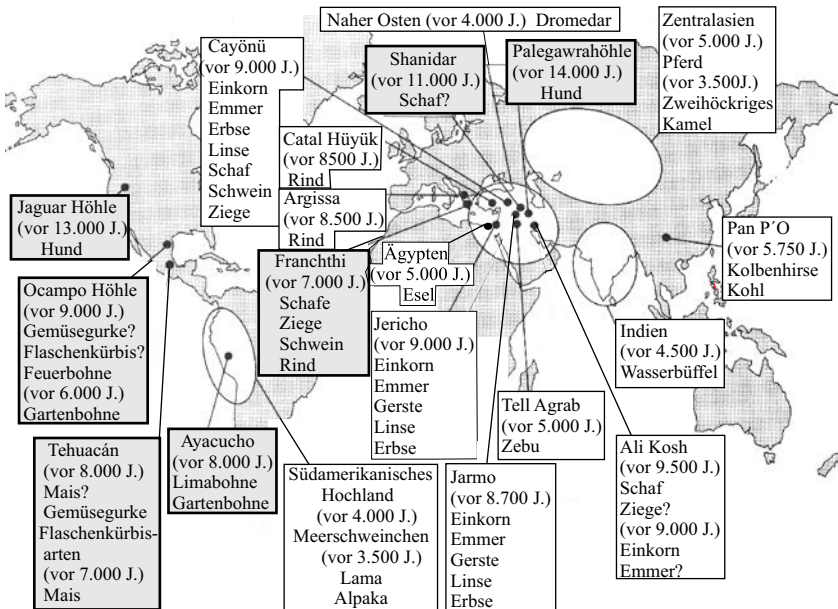


Abb. 2.6: Zeitmarken der Domestikation von Pflanzen und Tieren, GOUDIE (1990, 17), ergänzt – die in den Höhlen nachgewiesenen Pflanzen und Tiere wurden grau unterlegt.

gen, rationale Erklärungen zu den Phänomenen und technische Eingriffe in die Karstökosysteme Naturwissenschaften und Technik präsentieren.

Literaturauswahl zur Ergänzung und Vertiefung: BOLUS & SCHMITZ 2006 – Zum Neandertaler, CLEYET-MERLE & BOUCHARD 1990 – Höhlen und Funde bei Les Eyzies, CONARD (Hrsg.) 2006 – Abhandlungen zum Verhältnis Neandertaler - Moderner Mensch, CONARD (HRSG.) & BLIN 2006 – Abhandlungen zur Menschheitsgeschichte, FREEDEN & SCHNURBEIN 2002 – Zur Archäologie und Geschichte in Deutschland, GOUDIE 1990 – Lehrbuch zum Einfluss des Menschen auf die Umwelt, GUNN 2004 – Enzyklopädie zum Karst mit 29 separaten Beiträgen zu „Höhlen – Archäologie“, JOHANSON & BLAKE (2006) – Lehrbuch zur Paläoanthropologie, MÜLLER-BECK 2004 – Lehrbuch zur Steinzeit, PROBST 1986 – Deutschland von der Urzeit bis in die Eisenzeit, PROBST 1991 – Deutschland in der Steinzeit, TRIMMEL 1968 – Lehrbuch zu Höhlenkunde, WAGNER 1995 – Lehrbuch zu Altersbestimmungen.

2.2 Die geisteswissenschaftlich-kulturhistorische Seite des Karstes

Die bibliographischen Quellen zeigen schon in den ältesten Aufzeichnungen die geisteswissenschaftlich-kulturhistorischen Seiten der Karstphänomene.

Höhlen sind in der mystischen Welt der Antike eng mit dem Götterkult verbunden und einzelne Höhlen sind Kultstätten (Tab. 2.4). Im religiösen Bereich dienen Höhlen weltweit als Meditationsplätze und besonders im buddhistischen asiatischen Raum finden sich viele Tempelhöhlen.

Höhlen wurden im Laufe der Geschichte in Kriegszeiten als Zufluchtstätten genutzt und waren auch Orte zum Verbergen von legalen oder auch durch Raubzüge gewonnenen Schätzen sowie wertvollen Dokumenten. Die in den Höhlen von Qumran am Toten Meer gefundenen Handschriften belegen dies eindrucksvoll.

Weiterhin zeigen Höhlen mit an die Landoberfläche führenden Schächten, dass nach kriegesischen Ereignissen oder Epidemien

Tab. 2.4: Höhlen mit Bezügen zu Mythen und zur Religion.

Höhlen und Mythen

Im vorderasiatischen Kulturkreis

Der Gott Mythra
ist in einer Höhle geboren

Kultstätten der Mythras Mysterien
in Höhlen

In der griechischen Mythologie

Der Gottvater Zeus
Geburt in der Höhle Psychro (Kreta)

Der Gott Vulkan
hat seine Schmiede in einer Höhle

Pluto, der Gott der Unterwelt
residiert in einer Höhle

Höhlen und Religion

Siddhartha Gautama (563–483 v.Chr.)
Der Buddha nutzte in Bihar die
Mahakala Höhle zur Meditation

Mohammed hatte 610 n.Chr. in der
Höhle am Berg Hira nahe Mekka
die erste Offenbarung

die Toten durch Schächte in die Höhlen geworfen wurden. Ein Brauch, der auch bei durch Seuchen verendeten Tieren üblich war.

Die ins Dunkel führenden Gänge und Schächte und im Untergrund verschwindende Gewässer werden von der Antike bis weit in die Neuzeit im Sinne des Jenseitsglauben als Tor zum Jenseits gewertet, und die Höhlen gelten weit verbreitet als Wohnorte von bösen Geistern, Fabelwesen und sogar des Teufels. Es sind Schreckgestalten, die jedem auflauern, der eine Höhle betritt. Daher gibt es seit dem ersten durch eine Inschrift am Höhleneingang belegten Besuch einer Durchgangshöhle im Quellgebiet des Tigris in der Türkei 1100 v. Chr. durch den assyrischen König Tiglath Pileser I. bis in die Neuzeit nur vereinzelte Hinweise auf Höhlenbesuche. Erst ab dem 16. Jahrhundert mehren sich Hinweise auf Höhlenbesuche, die dann besonders in der Romantik in Mode kamen.

In vielen Märchen spielen Höhlen eine Rolle und nahezu für alle lange bekannten Höhlen finden sich in Überlieferungen Hinweise auf Sagen von Fabelwesen oder von verborgenen Schätzen (Tab. 2.5).

Im mediterranen und vorderasiatischen Raum haben die aus Quellen am Rande von Karstgebieten oder auch aus Höhlen austretenden Flüsse eine besondere Stellung. In den sommertrockenen Regionen sind diese Gewässer ganzjährig fließend, und in der klassischen Mythologie werden Nymphen und Quellnixen diesen zugeordnet.

Tab. 2.5: Höhlen mit Bezug zu Sagen, Märchen und Literatur.

Höhlen und Märchen, Sagen

1000 und 1 Nacht

Ali Baba

Aladin

Gebrüder Grimm

Der starke Hans

Das tapfere Schneiderlein

Hans Christian Andersen

Der Garten des Paradieses

Eduard Mörike

Das Stuttgarter Hutmännchen
(Historie von der schönen Lau)

Wilhelm Hauff

Die Höhle von Steenfol
Reußenstein

Griechische Philosophie

Plato (427–347 v. Chr.)

Politeia,

im 7. Buch das Höhlengleichnis

Klassische Romane

Dante Alighierie

1321 Die Göttliche Kommödie

Novalis

1802 Heinrich von Ofterdingen

Wilhelm Hauff

1826 Lichtenstein

Edgar Allan Poe

1838 Die Abenteuer Gordon Pym

David Friedrich Weinland

1878 Rulmann

Klassische Reiseberichte

August Kopisch

1836 Entdeckung der Blauen Grotte
auf der Insel Capri

Ferdinand Gregorovius

1857 Wanderjahre in Italien

Höhlen, im Untergrund verschwindende Bäche und stark schüttende Quellen bilden seit der Antike Handlungsbezug für die unterschiedlichsten Darstellungen (Tab. 2.5), die von philosophisch-religiösen Themen über Märchen, Sagen und Romanen mit romantischem oder auch pseudohistorischem Hintergrund reichen. In der Romantik kommen noch Reiseberichte hinzu, die den Besuch von Höhlen schildern und auch in der zeitgenössischen Kunst zeigt sich dieses neue Verhältnis zu den Höhlen (RÖDER 1985).

Aktuell gibt es eine nicht mehr zu erfassende Anzahl von Publikationen zum Themenkomplex Höhlen mit Bezug zu allen angesprochenen Teilgebieten, wobei besonders im Internet die Vielzahl von Erfahrungsberichten über Höhlen weltweit mit hervorragenden Bilddokumentationen zu erwähnen sind.

2.3 Der naturwissenschaftlich-technische Mensch und der Karst

Waren es im geisteswissenschaftlichen-kulturhistorischen Komplex die Höhlen, die primär die Menschen beschäftigten, so ist es bei naturwissenschaftlich-technischen Betrachtungen die hydrologische Situation der Karstgebiete. Wasserversorgung, die Gewinnung von Kulturland und die Bewässerung von Anbauflächen spielten bei den alten Hochkulturen eine wesentliche Rolle.

Tab. 2.6: Frühe wissenschaftliche Berichte zum Karstphänomen.

Anaxagoras (500–428 v. Chr.)

Sophokles (496–406 v. Chr.)

Plato (427–347 v. Chr.)

Aristoteles (384–322 v. Chr.)

Erastosthene (275–194 v. Chr.)

Naturwissenschaftlich orientierte Berichte über Flussversickerungen, Höhlen, und Karstquellen.

Strabo (63 v. Chr.–20 n. Chr.)

17 Geographiebücher – im 8. Buch wird das Karstphänomen im Zusammenhang mit den Poljen behandelt.

Seneca (4 v. Chr.–65 n. Chr.)

“Naturales Questiones” darin Lösungsvorgänge, Höhlengeneese, Karsthydrologie

Rasa'il-e Ikhwanus Safa
(Episteln der Brüder der Reinheit)

Im 3.–4. Jahrhundert des Islam (900–1000)
52 Briefe galten als eine “Enzyklopädie des Wissens”, die Epistel 52 enthält die Geographie

Anasthasius Kirchner (1665)
“Mundus Subterraneus”

**Johann Weichard,
Freiherr von Walsor** (1689)
“Die Ehre des Herzogstums Crain”
8 landeskundliche Bücher mit den Plänen slowenischer Höhlen

Thomas Jefferson (1787)
Beschreibung und Höhlenplan der Madison's Cave in Virginia

Immanuel Kant (1801, 1802)
Vorlesungen über Physische Geographie

Die Reiche der Antike sind klimageographisch Gebiete mit einer ausgeprägten Sommertrockenheit, die die lokalen Fließgewässer temporär nahezu versiegen lässt. Nur Fremdflüsse aus anderen Klimaregionen und die am Rande von Karstgebieten vorhandenen Quellen und Höhlenausflüsse sichern ganzjährig die Wasserversorgung. Bereits in den naturwissenschaftlichen Berichten und Lehrbüchern seit der Antike (Tab. 2.6) finden sich daher Abhandlungen und auch bereits Diskussionen über die Ursachen von Flussversickerungen, Höhlen und den ganzjährig stark schüttenden Quellen.

Mit technisch anspruchsvollen Wasserbauten wurden bereits ab der Eisenzeit Quellen durch Wasserbauten genutzt. Die älteste Wasserbaumaßnahme an einer Karstquelle erfolgte in Jerusalem. Zur Zeit des Königs Hiskia wurde 701 v. Chr. von

der unterirdisch in einer Höhle entspringenden Gihonquelle ein 500 m langer Tunnel zu dem innerhalb der Stadtmauern gelegenen Siloah Teich gegraben. Über die Baumaßnahmen berichten eine nach der Fertigstellung in dem Tunnel angebrachte Tafel in althebräischer Inschrift und die Bibel (2. Buch der Könige 20, 20, 2. Chronik 32, 20). Radiocarbonatierungen und Uran-Thorium Analysen bestätigten die Alterszuordnung (FRUMKIN et al. 2003).

Dieser erste Wasserbau an einer Karstquelle wird in der Literatur fast ausschließlich unter religiösen Gesichtspunkten behandelt, da hier eine in der Bibel erwähnte Lokalität aus der israelischen Geschichte archäologisch gesichert vorliegt. Auch die technische Meisterleistung des erstmals im Gegenfortrieb entstandenen Bauwerkes wird von dem „Tunnel des Eupalinos“ überstrahlt. Dieser 1036 m lange und zweite in der Geschichte bekannte

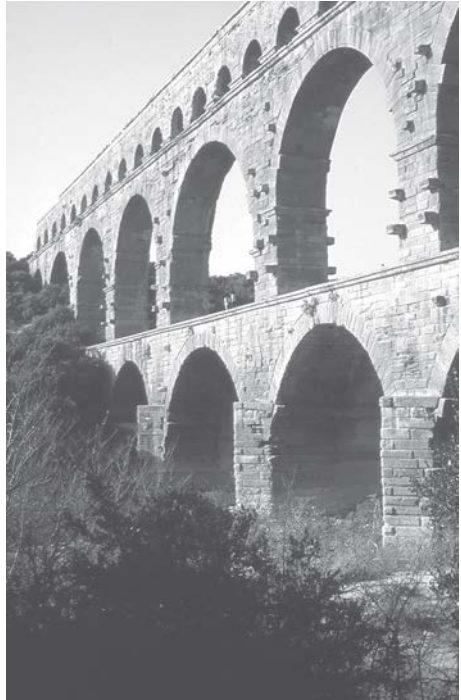


Abb. 2.7: Die Pont du Gard über den Fluss Gardon bei Remoulins in Südfrankreich, ein 275 m langes und 49 m hohes Teilstück eines 50 km langen römischen Aquädukts von der Karstquelle Eure bei Uzès nach Nîmes.

Tunnel ist Teil einer Wasserleitung, die von einer Quelle ebenfalls im Gegenvortrieb im 6. Jahrhundert v. Chr. zur Versorgung der griechischen Stadt Samos auf der gleichnamigen Insel durch ein Kalkmassiv gebaut wurde. Er ist heute eine Touristenattraktion und zum größten Teil begehbar. In der Literatur wird die technische Meisterleistung in der Messtechnik beim Gegenvortrieb in einer Zeit vor den griechischen Mathematikern intensiv behandelt (APOSTEL 2004).

Mit der Technik der Aquädukte (Abb. 2.7), die oft an Karstquellen beginnen, wurde in der Antike die Wasserversorgung der Städte sichergestellt. Das mit 94,5 km zweitlängste Aquädukt der römischen Baukunst ist die Eifelwasserleitung, die das antike Köln mit täglich 20.000 m³ Wasser aus den Karstquellen der Sötenicher Kalkmulde versorgte (Abb. 2.8).

Diese wesentlich auf Gravitationsfließen beruhende Technik wurde noch 1873 und 1910 bei der ersten (118 km) und zweiten (200 km) Wiener Hochquellenleitung von den Karstquellen des Hochschwab der Ostalpen zur Wasserversorgung der Stadt Wien angewandt (BAUER 1969).

Die großen Becken, die Poljen, innerhalb der verkarsteten Gebirge eignen sich einerseits durch lokale Quellen und ebenem Beckenboden hervorragend für eine landwirtschaftliche Nutzung, weisen aber andererseits vielfach im Mediterrangebiet die Eigenschaft auf, dass es in den Becken Sumpfbereiche und Seen mit stetig stark schwankendem Seespiegel gibt. In feuchteren Witterungsabschnitten kommt es in vielen Becken zu Inundationen (Abb. 2.9), die in ihrer Intensität und Periodizität stark schwanken und die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen gefährden. Bereits ab der Antike bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Wasserbauten in den Karstgebieten vorgenommen, um Anbauflächen zu sichern. Es wurden Emissare angelegt, die entweder als Tunnelbauten das Wasser aus den Becken in die tieferen Reliefeinheiten der umliegenden Gebirgszüge ableiteten (Abb. 2.10) oder

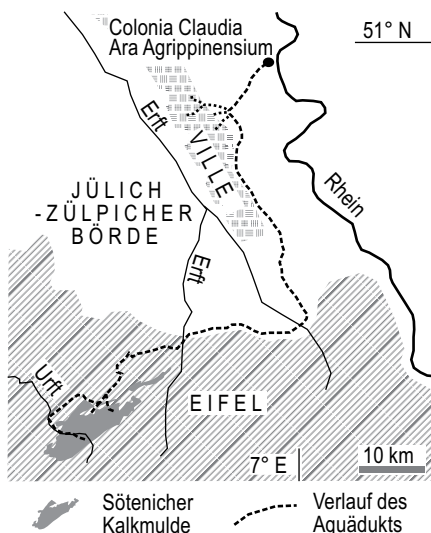


Abb. 2.8: Verlauf des römischen Aquädukts von den Karstquellen nach Köln. Gezeichnet nach BREUER (1984, 178), GREWE (1986).

die durch Erweiterung oder Ausräumung von natürlichen unterirdischen Abflussbahnen (Abb. 2.11) Wasser in erhöhtem Maße abführen sollten. Einige dieser Maßnahmen waren erfolgreich (Abb. 2.12), andere konnten bleibende Überflutungen oder für die Landwirtschaft ungeeignete Sumpfflächen nicht beseitigen.

Nach dem zweiten Weltkrieg war die Gewinnung von landwirtschaftlichen Flächen nicht mehr das zentrale Thema bei Wasserbauten in den Karstgebieten, sondern Trinkwasserreservoir, Speicherreservoir für die Energiegewinnung und Freizeitflächen standen im Zentrum von Wasserbauten in den Poljen.



Abb. 2.9: Das in feuchten Witterungsperioden überflutete Planinsko Polje in Slowenien.

Literaturauswahl zur Ergänzung und Vertiefung: DREW & HÖTZL (Hrsg.) 1999 – Abhandlungen zum Karstwasser und Eingriffe des Menschen, GUNN (Hrsg.) 2004 – Enzyklopädie zu Karst und Höhlen mit Beiträgen zur prähistorischen und historischen Bezügen des Menschen zum Karst, KUNAVAR (Hrsg.) 1987 – Abhandlungen zu Karst und Mensch, KUSCH & KUSCH 2001 – Kulthöhlen in Europa, NICOD et al. 1996 – Eine historische Betrachtung zur Nutzungen des Karstes durch den Menschen, ROSENDAHL & KRAUSE 1996 – Abhandlungen zu Höhlen, Höhlenforschung, Höhlensagen in Deutschland, SOLIMAN (Hrsg.) 1998 – Abhandlungen zu Karstwasser und Umwelt, SHAW 1992 – Geschichte der Höhlenforschung bis 1900.