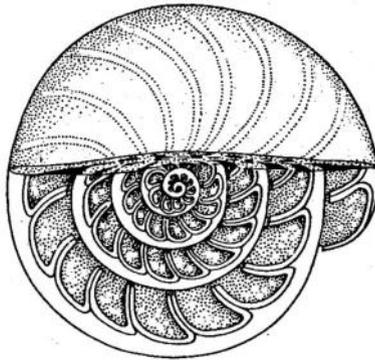


Zoltan Magyar

# BETON

Betonieren vom Neolithikum bis ins Jahr 2000



[minifanal.de](http://minifanal.de)

**Zoltan Magyar:**  
**Beton.**  
**Betonieren vom Neolithikum bis ins Jahr 2000**

ISBN 978-3-95421-173-9

Verantwortlich für den Inhalt:  
Zoltan Magyar  
Wielandtstraße 9, 76137 Karlsruhe

Verlag: minifanal  
© Dirk Friedrich 2021  
Dorfstr. 57a, 53125 Bonn

Covergestaltung: minifanal nach einem Entwurf des Autors



[zoltan@magyar.de](mailto:zoltan@magyar.de)

## INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort: Beton.....	5
Einführung.....	9
Jahrmilliarden der Urzeit.....	17
Die frühen Hochkulturen .....	27
... versus Europa.....	45
Beton im Mittelalter?.....	70
Frühe Neuzeit.....	82
Industrielle Revolution.....	92
Eisenbeton – Stahlbeton.....	103
Epilog.....	136

**Erstveröffentlichung:** Eine Vorverfassung zur Verwendung von Beton in Ungarn erschien im Bulletin der Abteilung für die Technischen Wissenschaften der Ungarischen Akademie der Wissenschaften:

Építés-Építészettudomány, Budapest. Bd. 39 Nr. 3-4 2011.

**Überarbeitet:** Als Vortrag an der Fakultät für Bau der Universität von Montenegro in Podgorica, Sommersemester 2016.

**Bildnachweis:** Für Auswahl und Bearbeitung der verwendeten Bilder ist der Autor Zoltan Magyar verantwortlich. Manches ist aus der zitierten Literatur entnommen, vieles selbst fotografiert, nachgebildet oder wurde spontan für die Magisterarbeit 1996, die Dissertation 2001 und für die oben erwähnte Veröffentlichung und den Vortrag angesammelt. Wo es noch nachvollziehbar war, wird die Bildquelle angegeben.

## Vorwort: Beton

Der Bauhistoriker Zoltan Magyar präsentiert die spannende Historie des ewigen Baustoffes Beton, eingebettet in die Menschheitsgeschichte, mit der Entwicklung der Bauwissenschaften von den vorgeschichtlichen Anfängen über das *opus caementitium* bis heute.

Nach der Erörterung der verschiedenen Zusammensetzungen und ihrer Eigenschaften schildert er die einzelnen Epochen: Die Glanzzeit bei den Römern, das Vergessen im Mittelalter, die Wiederentdeckung in der frühen Neuzeit, die Erweiterung der Möglichkeiten durch die Kombination mit Eisen/Stahl-Stäben Mitte des 19. Jahrhunderts, wobei die Wissenschaft und Mechanik dem neuen Baustoff Stahlbeton deduktiv ein Rechen- und Konstruktionsverfahren aufzwang, jedoch ohne Berücksichtigung der Eigenschaften des Betons selbst. Nun, da man die mathematische Struktur berechnen konnte, eröffneten sich unbegrenzte Möglichkeiten im Tief- und Hochbau. Der Stahlbeton wurde die wichtigste Bauart des 20. Jahrhunderts. Man war aber nicht bemüht, die „Sprache“ des armierten Betons zu erkunden, die Verfahren unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Bedingungen zu optimieren. Man war und ist nicht bereit, zu erkennen, dass die Bewehrungsführung den Spannungsverlauf im Beton bestimmt. Wichtig war die mathematische Erfassbarkeit. So drang der Beton in die Architektur ein. Neben vielen Missverständnissen tauchten zahlreiche neue Konstruktionsarten, Bauformen, z.B. Flächentragwerke, begehbare Kunstobjekte auf. Der (Stahl-)Beton dominiert die Baukunst bis heute. Unsere Häuser, unsere Städte sind ohne ihn gar nicht mehr vorstellbar.

Im Epilog stellt der Autor dann dar, wie der Stahlbeton die Architektur des 20. Jahrhunderts bereichert hat.

*Prof. Stefan Polónyi*

## **MANIFESTO DELL'ARCHITETTURA FUTURISTA**

PROCLAMO: Che l'architettura futurista è l'architettura del calcolo, dell'audacia temeraria e della semplicità, l'architettura del cemento armato, del ferro, del vetro, del cartone, della fibra testile e di tutti quei surrogati del legno, della pietra e del mattone che permettono di ottenere il massimo della elasticità e della leggerezza.

Antonio Sant'Elia 1914

Die Zukunftsarchitektur wird aus Kunstmaterialien erbaut, wie das auch der bewehrte Beton ist.

B E T O N – **ein Schimpfwort** für den Baustil des 20. Jahrhunderts. Anfangs wurde er allerdings euphorisch begrüßt und so ab der Mitte des Jahrhunderts prägend. Dann aber verstärkten sich eben durch die gestalterische Simplizität und Serienhaftigkeit der sich zunehmend internationalisierenden Moderne, besonders in den 60er Jahren, die kritischen Stimmen<sup>1</sup>: Es wurden *»nicht nur Staatspolitik und Sozialsystem kritisiert (Studentenaufstand), auch die „moderne Stadt“ wurde hinterfragt. Vermisst wurden Charme, Individualität und Atmosphäre, die Neubauten wurden anonym und steril erlebt und fleißig begrünt, besprüht oder anderwärtig „verschönert“ (Fassadenmalerei). Beton stand für die Unmenschlichkeit und Sturheit von Stadtplanern und Politikern, welche als „Betonköpfe“ beschimpft wurden – ein Begriff, der sich bis heute in deutschen Sprachraum gehalten hat. Darüber hinaus fungierte der Beton als Schlagwort für den Gegensatz zu allem Natürlichen und Lebendigen. „Betonwüsten“ wurden als krasser Gegensatz zum Aufruf „Zurück zur Natur“ im Zuge der Hippibewegung erlebt.«*

---

1 Imela Benz: Ansichtssache Sichtbeton: Vergleich der Experten- und Laienperspektive zum Einsatz von Sichtbeton in der Architektur. Diplomarbeit, betreut von Dr. Rikler Rambow, an der Technischen Universität Dresden, 2008. S. 32.

*Beton ist ein künstlicher Stein, der aus einem Gemisch Zement, Betonzuschlag und Wasser – gegebenenfalls auch mit Betonzusatzmitteln (Betonzusätze) – durch Erhärten des Zementleims (Zement-Wasser-Gemisch) entsteht.*

DIN 1045: Beton und Stahlbeton

Das moderne Bauen mit Zement und Beton basiert auf einer Vielzahl von richtungweisenden Erkenntnissen. Einige davon reichen in die Antike zurück und haben bis heute nichts von ihrer Gültigkeit verloren ... Die Erkenntnis der hydraulischen Eigenschaften bestimmter Materialkombinationen ermöglicht die Entwicklung des „Opus Caementitium“, des römischen Betons

Beton Atlas: Entwicklung der Betontechnologie

*... im Wasser zu machende Mauer sind so zu verfertigen: Man lasse Staub (Puzzolanerde) ... kommen ... und vermische diesen mit Mörtel so, dass er sich zu Demselben wie Zwei zu Eins verhalte ... und endlich samt Bruchsteinen oben Beschriebene Gemisch aus Mulden hinein schütten, bis der ganze innere Raum der (schalungs-)Kisten mit diesem Mauerwerk angefüllt ist.*

Vitruvius:

De architectura libri decem. V. Buch, XII. Kapitel

## Einführung

BETON SEIT DER URZEIT, ist das nicht etwas zu weit gegriffen? Wir sind es gewohnt unter dem Begriff „Beton“ jenes Baumaterial zu verstehen, das durch industrielle Produktion des Zements erst in den letzten zwei Jahrhunderten geläufig geworden ist. Diese Vorstellung wurde ja zu einer technologischen Norm erhoben: Nur Zement ergebe ein „*Gemisch*“, der Beton genannt werden darf.

Jedoch, das lateinische „*caementum*“ – *caedo*: ich zerschlage! – bedeutet nichts anderes als „Bruchstück“, bzw. „*cæmentitius*“ etwas aus Bruchstücken Bestehendes. Der heutige Begriff „Zement“, als Bindemittel, ist demgemäß eine willkürliche Umdeutung, welche im archäologischen Begriff „*opus cæmentitium*“ (Bruchstückwerk) die Herstellungsart (*Opus*) begrifflich verändert und den konstruktiven Zuschlag (*Aggregat*) ignoriert. So werden neuerdings auch der Zahnhals und die Klebstoffe der Dentalmedizin als Zement bezeichnet – womit der normierte Wortlaut des Betonbestandteils schon relativiert ist. Überhaupt wird unter „zementieren“ ganz verallgemeinert ein besonders festes Fügen verstanden – sinngemäß gänzlich umgekehrt – ohne jede etymologische oder technologische Rücksichtnahme.

Kurz gesagt: man hat für den heutigen Beton den Begriff Zement – fälschlicherweise! – als *Opus* eingesetzt und das eigentlich tragende Schotter- oder Kiesaggregat ignoriert. Zwar hängt die Tragfähigkeit einer Betonkonstruktion auch von der Zementqualität ab, die Stärke dieses Bindemittels übersteigt aber nicht die Tragfähigkeit des Zuschlags. Exakt gesagt also: „Zement“ ist nur eine Ausführungsart – ein spezifischer *Opus*! – von zahlreichen möglichen Betonarten.

Das ist so, weil das lateinische „*bitumen*“ – zähe Masse – von den Franzosen fachspezifisch zu „*béton*“ umbenannt wurde. Allerdings existiert gleichbedeutend auch ihr „*concrète*“ – etwas Erhärtetes oder Formbeständiges! Das-

---

1 Vitruv zählt die Baumaterialien in Kapitel I/2 auf, unten anderem: *cæmenta* – Bruchsteine.

selbe sagt man auch auf englisch, und zwar ohne den schwammigen Betonbegriff. Das spanische „hormigón“ bedeutet nur etwas Formbares. Und sogar das italienische „calcestruzzo“ greift gänzlich auf die technologischen Wurzeln zurück: Einfach „Kalklösung“. Zu Deutsch: die Fixierung auf „Beton“, als würde es sich dabei ausschließlich um ein modernes Baumaterial handeln, ist willkürlich.

Das deutsche Wort „Beton“ ist nur ein regional **relativierter**, eng gefasster Fachausdruck, mit dem sich die historische, Jahrtausende zurückliegende, **absolute** Entwicklung kaum erfassen lässt. So verlieren sich die Archäologen stets in amorpher Terminologie, wie Füllung, Estrich, Plaster (engl.) und sogar Stuck und wagen sich nur manchmal, auch „Beton“ (in Ausführungszeichen!) zu sagen. Dieses Wagnis möchte man, als Historiker des Betonierens, mit folgender Definition zur Regel erheben:

Beton ist eine zähe Masse zur Verwendung in Baukonstruktionen, bestehend aus Zuschlag und Bindemittel, die nach dem Einbau verhärtet.

Demgemäß ist es irrelevant, wie oder womit (opus: Zement, Kalk, Lehm, Harz u.a.) ein Zuschlag (cæmentum: Schotter, Kies, Bruchziegel, Sand u.a.) gebunden wird. Mit Lehm oder Naturharz lässt sich dies physisch durch Eintrocknen oder Auskühlen bewerkstelligen, während mit Gips, Kalk, Zement oder irgendwelchen neuen Kunststoffen die Erhärtung chemisch zustande gebracht wird. In der **historischen Auffassung** leistet diese Definition mehr Verständnis für die gedankliche Entwicklung des „Betonierens“ als eine streng technologische Begrifflichkeit. Wobei der moderne Ingenieur-Begriff des „Betons“ aber unberührt bleibt.

Wenn man den Beton in der Urzeit betrachten will, stößt man erst einmal auf entsprechende geologische Strukturen: zuerst die Entstehung des Kalksteins, dann die mehr oder weniger gefestigten – „zementierten“ – Erosionsprodukte dieses Kalksteins (auch sonstigen Gesteins): Konglomerate, Breccia, Sand- und Mergelsteine. Schon der Urmensch hat nachweislich die künstliche „Ze-

mentierung“ mit dem Kalk entdeckt. Durch weitere Fortschritte traten die bautechnischen Bindemittel zunehmend auch kulturell in Erscheinung. Und gerade das kann man historisch verfolgen: Kalkstein und Mensch...

Bevor man aber in die Komplexität der Betongeschichte eintaucht, sollte man erst einmal – aufgrund der oben formulierten Definition von Beton – die grundlegenden Kriterien erfassen. Man kann dazu das Handbuch „Baustoffkenntnis“, herausgegeben von Prof. Dipl. Ing. Wolfram Hiese (Düsseldorf 1999) heranziehen. Hier für den oben skizzierten Bedarf kurz zusammengefasst:

Der grundlegende Rohstoff des Betons ist der Kalkstein. Er ist unentbehrlich zur Herstellung des mineralischen Bindemittels – des „Zements“ – und oft bildet er auch den Zuschlag der Betonmasse selbst. Es ist ein Sedimentgestein, das sich durch Metamorphosen oder Erosionsumformungen verändert. Natursteine in Form von Schotter und Kies bilden den inaktiven, physischen Zuschlag der Betonmasse. Das aktive Bindemittel wird durch die chemische Verarbeitungen des Kalksteins, tonhaltigen Kalksteins oder kalkhaltigen Tons (Mergel) hergestellt.

**GIPSSTEIN** ist ein Doppelhydrat  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – gut spaltbar, aber so weich, dass es mit dem Fingernagel ritzbar ist, und auch witterungsanfällig, weil wasserlöslich. Durch Brennen wird das gebundene Kristallwasser herausgetrieben, zuerst als Halbhydrat, und bei steigender Temperatur zu  $\text{CaSO}_4$  gewandelt. Bei besonderer Erhitzung unter Dampfdruck wird eine kompaktere Form mit erhöhter Festigkeit hergestellt. Alle diese Produkte werden bei Vermischung mit Wasser wieder zu Doppelhydrat. Stuckgips wird schon bei Temperaturen von 120-190°C gewonnen, Putzgips erfordert höher Hitze, während für den Estrichgips schon 800-1000°C nötig sind.

**KALK** – Calcium Ca ist das 20. chemische Element, ein unedles Metall, in der Natur nur in Verbindungen vorhanden. Hinter den Elementen Sauerstoff (O = Oxigen), Silizium (Si), Aluminium (Al) und Eisen (Fe = Ferrum) die häufigste Materie auf der Erde. Das chemisch reine Kalzium gewann erstmals H. Davy 1808 per Elektrolyse: Einen sehr reaktionsfähigen Stoff, der sich

leicht durch den Sauerstoff aus der Luft zu Calciumoxid –  $\text{CaO}$  – wandelt. Das ist „gebrannter Kalk“ – industriell aus dem Kalkstein  $\text{CaCO}_2$  gewonnen –, der bekanntlich mit Wasser heftig zu „gelöschtem Kalk“  $\text{Ca(OH)}_2$  reagiert. Die Verwandlung des gelöschten Kalks in erhärtetes Bindemittel erfolgt dann durch die Bindung mit der Luft und führt wieder in den Zustand des Kalksteins –  $\text{CaCO}_2$  –, nun als geschlossener chemischer Prozess.

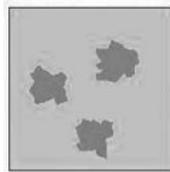
Die Bindung des gelöschten Kalkes erfolgt also nicht durch physisches Trocknen, etwa per Heizung, sondern durch einen chemischen Prozess, zusammen mit Luft, was durch Lüftung beschleunigt werden kann. Es kam vor, dass man in meterdicken mittelalterlichen Mauern noch – aufgrund mangelnden Luftzugangs – weichen Mörtel vorfand. So braucht der Kalk eine verhältnismäßig lange Bindungszeit, während der er auch nass gehalten werden muss. Dabei liegt der wesentliche Nachteil darin, dass man mit Kalk nicht unter Wasser bauen kann, und auch sonst ist die Erhärtung von der Masse einer Konstruktion abhängig – je massiver, desto später belastbar. Wünschenswert ist deshalb Unabhängigkeit von Luft, also ein innerer chemischer Prozess durch Reaktion mit beigegebenem Wasser. Diese Anforderung erfüllen die „hydraulischen Kalke“ – als Übergangssubstanzen zum Zement.

Die chemische Bindung mit Wasser ist eine Hydratbindung – „Hydratation“ genannt – mit danach folgender Wasserunlösbarkeit. „Hydraulisch“ bedeutet also zweierlei: Hydratationsfähigkeit und Wasserfestigkeit. Die erforderliche Substanz bilden Kalk und Hydraulefaktoren: Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisenoxid ( $\text{FeO}_3$ ). Beim Brennen des tonhaltigen Kalksteins oder des Mergels entstehen Hydraulefaktoren aus dem Kalk, und diese reagieren mit Wasser erhärtend, ohne Luftzufuhr. Die Härte der hydraulischen Kalke steigt mit dem Anteil hydraulischer Faktoren bei Abnahme von  $\text{CaO}$ .

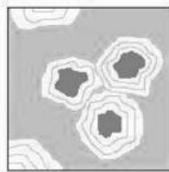
Eine Besonderheit sind vulkanische Tuffsedimente aus angereicherter Kieselsäure, die mit gelöschtem Kalk hydraulisch erhärten und zum zementartigen Kalziumsilikat reagieren. So wurde schon im Altertum Santorinerde (griechische Insel Thera) und Puzzolanerde (Pozzuoli bei Neapel) für Unterwasser-

bau verwendet. Ähnlich ist der deutsche Trass (bei Andernach), womit auch heute der Zementbeton verdichtet und aggressionsbeständiger gemacht wird.

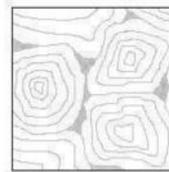
Die **ZEMENTE** sind hydraulische Bindemittel mit rapider Bindezeit und hoher Festigkeit. Ihrer Eigenschaft nach sind sie nur industriell herstellbar. Die Rohstoffe werden wissenschaftlich dosiert; gebrannt wird bei sehr hohen Sinter-temperaturen und das Mahlen des glasharten Halbfertigprodukts erfolgt maschinell. Ausgangsstoffe sind Kalziumsilikate und Kalziumkarbonate nebst sonstigen Zutaten. Der moderne „Portlandzement“ wurde 1824 in England patentiert, in Deutschland begann die Produktion um 1850. Die Hydratation des Zements erfolgt so, dass sich um die einzelnen Mehlkörner des Zements im Wasser ein geräumiges Gel bildet, das dann zum Zementstein erhärtet.



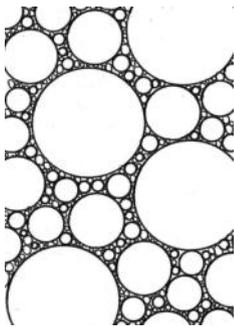
*Wasser und  
Zementkörner*



*Vergehlung*



*Umwandlung mit  
Wasserkapillaren*



Aus dem **BETON** verdunstet also das überflüssige Wasser und lässt Kapillarräume zurück, weshalb die Festigkeit des Betons auch von der Wasserdosierung beim Einbau abhängt. Die Umwandlung von verschiedenen großen Mehlkörner beansprucht unterschiedliche Zeitspannen, womit die Tragfähigkeit der Konstruktion dauernd zunimmt. Entscheidend für die Festigkeit ist auch die Aggregatgüte. Hartes Steinmaterial, wie Granit, ergibt größere Druckfestigkeit als der Sandstein. Aber nicht weniger entscheidend ist die optimale Kornmischung des Aggregats. Größere Körner sparen Zement, aber nur, wenn ihre Zwischenräume mit bestens vermischten kleineren Körnern, bis hinunter zu Sand und Steinmehl, ausgefüllt sind. Zur Bestimmung der Mischung hilft ein „Sieblinie“-Diagramm. Diese Struktur wird mit einem dem Festigkeitsanspruch entsprechend dosierten Zementfilm

vollständig umhüllt. Insgesamt ist die Betongüte normativ klassifiziert: es gibt normale und hochwertige Betonklassen. Außerhalb dieser Normierung ist aber auch Sparbeton (Mineralbrocken in der Betonmasse) und Magerbeton für Füllungen gebräuchlich. Gesondert zu erwähnen sind die „Leichtbetone“ mit Verwendung von leichten Zuschlägen – schon von den Römern erprobt – oder mit neutechnischer Aufschäumung. Ihrem Wesen nach sind sie als Ortsbeton für Tragwerke nicht geeignet, sondern zu Füll- und Isolationszwecken. Leichtbeton-Blöcke gehören wiederum ins Mauer-Wesen. Aus der aktuellen Betongeschichte heraus fallen die neuesten Konstruktionserfindungen, wie die Faserbetone – allerdings im Lehm- und Ziegelbau historisch auch schon bekannt – bzw. sonstige ganz zukunftsweisende Betonierungsexperimente.

Zuletzt noch wegen des Begriffsverständnisses: **MAUER-** und **PUTZMÖRTEL** sowie **ESTRICHE** haben nur Korngrößen bis zu 4 mm. Die Wassermenge wird nach dem Bearbeitungsbedarf dosiert, gemäß Bindemittelbeimischung gibt es Mager-, Normal- und Fettmörtel oder auch Kalk-, Kalkzement-, Zementkalk- und Zementmörtel bzw. Gipsmörtel und Gips- und Kalkkombinationen. Gesondert zu betrachten sind die Tonmörtel. Der Verputz erfolgt meist in zwei Schichten: grobe Unterlage und feine Oberfläche, wobei die obere Schicht nicht fester sein soll als die Unterschicht. Die Estriche sind entweder selbst schon begehbare Nutzflächen oder bekommen einen Belag. Herauszuheben ist der dekorative „Terrazzoboden“, bei dem das Bindemittel mit polierfähigen bunten Steinen aufgemischt wird oder man solche Steine in den frischen Estrich reindrückt, um nach der Erhärtung alles aufwendig zu polieren.

Es bleibt noch, den **ASPHALT** zu erwähnen, eine gegebenenfalls auch betonhaft korngestufte Mischung, jedoch mit organischem Bindemittel – seit dem Altertum vergessen und erst im 18. Jahrhundert wiederentdeckt. Gemäß DIN 55946 gilt heute begrifflich:

- 1) *Bituminös* sind Stoffe die Bitumen, Teer und/oder Pech erhalten. Bituminöse Stoffe kommen entweder in der Natur vor oder werden technisch hergestellt.
- 2) *Bitumen* sind bei schonender Aufarbei-

tung von Erdölen gewonnene Kohlenstoffgemische und lösliche Anteile von Naturasphalten. 3) *Asphalte* sind Gemische von Bitumen und Mineralien, vorwiegend technisch hergestellt und für Straßenzwecke verwendet. Solche Asphalte sind: Sandasphalt, Asphaltbeton, Gussasphalt, Asphaltmakadam (grobkörnig) und Asphaltmastix (mit Steinmehl). Naturasphalte sind natürlich vorkommende Gemische von Bitumen und Mineralstoffen.

Es muss nun gesagt werden, dass der Beton technikgeschichtlich nur sporadisch und archäologisch terminologisch kaum definiert ist. Die zum Studium der Geschichte des Betons zunächst unentbehrliche Literatur lässt leider in dieser Hinsicht manches zu wünschen übrig. Es ist nicht nur eindeutig, dass die archäologischen Berichte mit dem Begriff „Beton“ hadern, es kommt sogar vor, dass dasselbe Bauelement auf derselben Buchseite unterschiedlich genannt wird. Ein Beispiel: zu Tiryns: An der vorgriechischen Burg auf dem Peloponnes arbeiteten deutsche Archäologen um 1930, deren Berichte bis heute maßgebend sind. Auf Seite 235 des Bandes über die Architektur<sup>2</sup> sprechen sie von „Stuck“<sup>3</sup>, in den Innenräumen „mit ganz feinen Steinchen vermengt“, und in den Höfen „ein sehr viel gröberer Stuck, mit größeren Steinchen reichlich durchgesetzt“. Schliemann jedoch erkannte da schon den Beton. Und auf der genannten Seite steht ganz unten das Zitat eines englischen Gutachters: „The floor concrete“ – klipp und klar **Beton!** Warum aber wagt der deutsche Archäologe das nicht zu sagen? Wegen der DIN-Definition des Betons?

Das ist hier nur ein altes Beispiel, der Wirrsal zieht sich jedoch bis in die aktuelle Literatur durch. Nun aber entschuldige mir der geneigte Leser erst einmal

---

2 Kurt Maler: Die Ergebnisse der Ausgrabungen... Band III. Augsburg 1930. Aus der Reihe „Tiryns“, Ausgrabungen des Deutschen Archäologischen Instituts in Athen.

3 Brockhaus Enzyklopädien (1973): **Stuck** – (ital. stucco), plast. Ausformung von Kalk- und Gipsmörteln auf verputzten Decken, Gewölben und Wänden. S. wird nach Materialien unterschieden: Kalk- S... Gips-S. Mörtel unterschiedlicher Verwendung.

diese ausgedehnte Einführung, die historisch undefinierte Terminologie zwang mich dazu.

Ich möchte hier an die Lehre meines Professors für Technikgeschichte Rolf-Jürgen Gleitsmann am KIT in Karlsruhe erinnern, beispielhaft daran, dass bei der Entwicklungsgeschichte der Dampfmaschine entscheidend ist, dessen gesellschaftliche Auswirkung zu betrachten. Auch bedanke ich mich bei Herrn Prof. Jürgen Vogeley für den kritikreichen Gedankenaustausch zu diesem Buchprojekt – es ist schon sehr lange her –, während ich noch zwei Jahrzehnte daran brütete. Meine Hochachtung gilt auch der hervorragenden Bibliothek des Instituts für Baugeschichte und der dortigen ergiebigen Literatur. Ferner der umfangreichen internationaler Literatur der Bibliothek des Archäologischen Instituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften in Budapest.

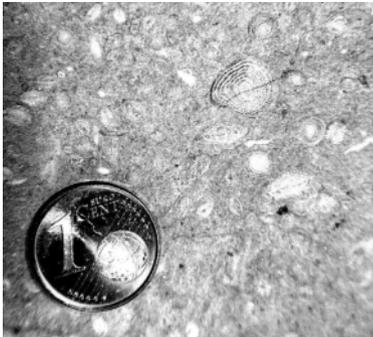
#### Literatur:

- Beton-Atlas. Entwerfen mit Stahlbeton im Hochbau. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation München, Beton Verlag Düsseldorf, 1995.
- DIN 1045 und 55946
- Gleitsmann, Rolf-Jürgen – Rolf-Ulrich Kunze – Günther Oetzel: Technikgeschichte. Konstanz 2005
- Hisse, Wolfram Prof. Dipl. Ing. (Hrsg.): Baustoffkenntnis. Düsseldorf 1999.
- Troitzsch, Ulrich und Gabriele Wohlauf: Technikgeschichte. Frankfurt/Main 1980.
- Vitruv: Baukunst. Übersetzt von August Rode. Reprint 2 Bde. Zürich-München 1987.

## Jahrhundert der Urzeit

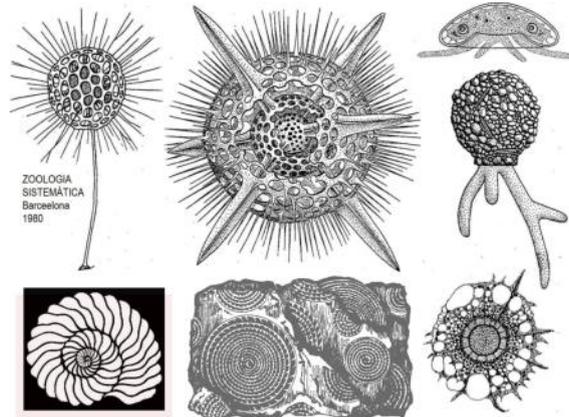
Ganze Berge des Calciumcarbonats ragen überall in den Himmel. Wo nun aber von Karbon- bzw. Kohlenstoff die Rede ist, trifft man sogleich auf den Begriff „organische Materie“. Und damit stehen wir bereits vor dem *Leben*. Die Fähigkeit des Kohlenstoffs, seine Atome auf die mannigfaltigste Weise zu verketteten und schier Hunderttausende von Kohleverbindungen zu schaffen, bildet auch die substanzielle Grundlage für die lebenden Organismen. Die pflanzliche Assimilation der Sonnenenergie – und damit das gesamte irdische Leben – ist eigentlich auf Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>) aufgebaut.

Calciumcarbonat und Calciumphosphat sind ja die lebenswichtigen Stoffe für Pflanzen, Tiere und Menschen. Pflanzen nehmen den Kalzium-Kalk mit ihren Wurzeln aus dem Boden auf, Tier und Mensch resorbieren es durch ihren Darm und führen es gleichfalls in das Zytoplasma ihres Zellkonglomerats ein, wo das Kalzium die übrige Stoffaufnahme von einzelnen Zellen beeinflusst und damit eine wesentliche Rolle für den Organismusaufbau spielt – für die Stütz- und Schutzorgane: Knochen, Schalen, Panzer oder Korallenskelette. Darüber hinaus gibt es auch „Kalk-Algen“, deren Zellen unmittelbar aus dem Wasser verkrusten. Der Kalk entsteht also durch das Phänomen des Lebens, schätzungsweise seit 3 Milliarden Jahren. Diese Zeitspanne entspricht etwa der Hälfte der astronomischen Existenz der Erde überhaupt! Reichlich Zeit, um Berge von den abgelagerten Resten aller verstorbenen Lebewesen aufzutürmen. Und zwar die schönsten Berglandschaften. Es bildet



das oberste Sediment über den ältesten, abgekühlten Magmamassen. Manchmal ist die organische Zusammensetzung dieser Felsen noch mit bloßem Auge sichtbar: fossile Muscheln, Schnecken, Krustentiere, Korallen – auch hoch in tektonisch aufgetürmten Bergen – zeugen in entblößtem Karst von dem längst versteinerten Leben.

Am Anfang der Pflanzen- und Tierwelt standen die einzelligen Lebewesen und, als unterste Stufe zwischen Botanik und Zoologie, die noch heute existenten *Protozoen*. Durch die Verschiedenheit selbst dieses niedrigen Lebens bildete sich



schon damals eine fast unendlich diversifizierte Formenwelt aus. So verzweigen sich schon die zur primitivsten Tierwelt gehörigen *Amöben* zu Arten, die eine Besonderheit vorweisen: die *Testacea* überstülpen sich mit einer porösen Kruste, während die *Foramifera* diese Eigenschaft von mikroskopischer Größe zu stattlichen Schnecken- oder Muschelformen entwickelt haben. Ferner gibt es als Bestandteil des in Wasser schwebenden Planktons die Einzeller *Heliozoa*: meist kugelförmig mit fein-tentakelartig verzweigtem äußeren Plasma. Wohl zur Unterstützung dieser Strahlententakel entwickelten einige Arten auch harte Stacheln, andere umhüllten sich mit einer durchlöchernten Kruste, aus der die Strahlen herausragen konnten. Die *Radiolaria* entwickelten dies zu einer handfesten Ästhetik – zu einer geometrisch wohlgeformten Komplexität, die den Naturforscher und Philosophen Ernst Haeckel (1834-1919) zu jener Bewunderung verleiten ließ, dass sich die Natur gar in ästhetischen Formen äußere.<sup>1</sup> Denkbar ist auch, solche natürlich-rationellen Strukturen als Baukonstruktionen zu untersuchen. Abermilliarden dieser abgestorbenen mikroskopischen Krusten rieselten nun durch Jahrmilliarden zum Meeresboden herab, schichteten sich berghoch auf, zusammengepresst und versteinert. Die geologischen Bewegungen hoben diese Kalksteinablagerungen an, falteten sie, bildeten Verwerfungen mit übereinandergeschobenen Schichten – wobei auch die alten, zerbrochenen kristallinen Magmafelsen wieder an der Oberflä-

1 Zoologie: Stämme des Tierreichs, aus der spanischen Ausgabe von Adolf Remane, Volker Storch, Ulrich Welsch: Zoologia sistemática, Barcelona 1980.

che erscheinen konnten. Sie wurden stellenweise entweder vulkanisch neu übergossen oder aufgestreut. Die Witterung nahm sich all dieser Felsenmassen an, lies ihre Materie herunterrieseln und neue Schichten in den Tälern auferodieren: Schotter, Kies, Sand, Lehm und Ton, auch verschiedentlich kalkgesättigte Mergelmassen. Diese Erosionsmassen versteinerten wieder zu aggregatgemischten Konglomeraten und Breccia – von der Natur gemischte Betonfelsen! – oder bildeten Sandsteine und Schieferschichten.

Irgendwann belebte sich das öde Festland, das Leben kroch aus dem Wasser heraus. Während der Karbonzeit (vor 300-350 Millionen Jahren) wimmelte es schon auf den selbstgeformten neuen Humusschichten. Die kriechenden Lebewesen entwickelten Knochen und Beine, manche sogar Flügel. Einige Arten konnten sich auch aufrichten und sich auf nur zwei Beinen bewegen.



Es geschah vor 3,5 Millionen Jahren im heutigen Tansania: Dort spuckte der Vulkan Sadiman dicke Wolken glühender Asche, die sich in der umgebenden Ebene aufschichtete. Danach regnete es. Die schlammig gewordene Bodenschicht begann hydraulisch zu binden<sup>2</sup>. Durch diese graue Ebene kreuzten Tiere, ihre Fußspuren in der plastisch gewordenen Masse deutlich hinterlassend. Darunter auch drei sonderbare Wesen. Sie bewegten sich wie wir Menschen, ähnelten aber eher den Affen: Hominiden! Zwei Erwachsene und ein Kind, deren Fußstapfen für die Ewigkeit ausbetoniert blieben, auf der mit einer Unterbrechung erhaltener Strecke von etwa 23 Metern, nahe des Dorfes Laetoli<sup>3</sup>. Aber nicht irgendwie. Ein erwachsenes Mitglied dieser Fa-

---

2 Heute eine Tuffsteinschicht. Neville Agnew und Martha Demas: Rettung der Hominiden-Spuren von Laetoli. In: Spektrum der Wissenschaft. Die Evolution des Menschen. Dossier-ND 2/2004, Heidelberg. Auf Seite 25: Das Besondere an den Auswürfen dieses Vulkans war der hohe Gehalt an Carbonit, das sich mit Wasser wie Zement bindet.

3 Mario García Bartual: Las pisadas de Laetoli. In Historia y Vida, 459/06 Barcelona, S. 20-24.

milie bewegte sich spielerisch, in die Fußstapfen des Vorausgehenden tretend. Sie, oder er, verwischte damit etwas die Fährte – bereits Beton gestaltend.

Es dauerte noch sehr lange – geschah erst vor zwei Millionen Jahren – bis der Mensch, mit seinen Händen Steine zu Werkzeug formte. Es sind zuletzt vier verschiedene Menschenarten gewesen, aber nur eine überlebte bis heute. Vielleicht deshalb, weil diese Menschen – wir! – in der Lage waren, auch zu planen. Damit konnten sie unter allen Umständen überleben und so – erst während der letzten hunderttausend Jahre – dann den ganzen Globus für sich erobern. Weil man aber nicht überall geeignete natürliche Unterkünfte vorfand, ersann man die künstlichen Unterkünfte, gebaut aus umliegender Materie: Aufgerichtete Äste bedeckt mit Laub oder Schilf – auch Mammut- und Hirschknochen mit Fell überzogen – und fixiert mit Steinen. So erfand man das rudimentäre Mauerwerk, auch mit geschichteten Steinen und noch besser in Lehm gebettet. Flechtwerke konnten gleichfalls mit Lehm undurchlässig gemacht werden. Relativ aufwändige Überdachungen entstanden vor 10.000-30.000 Jahren. Diese konnten ganze Sippen unter sich aufnehmen, die auf dem gestampften Lehmboden hausten. Offensichtlich siedelte man ziemlich dauerhaft, lebte allerdings weiterhin vom Jagen und Sammeln.

Lehm mit Sand gemischt und gegebenenfalls auch mit weichen Fasern „armiert“ ist eine Art Baumaterie der „Jungsteinzeit“ gewesen, um 10.000-3.000 v. Chr. Irgendwann ist aber die bindende Kraft des Kalks erkannt worden. Man kann sich das so vorstellen: Um eine offene Feuerstelle wurden Kalksteine ungeplant gebrannt. Ein Regen löschte diesen Kalk und so verbanden sich die Steine miteinander und dienten als Beispiel. Damals änderte sich die



Lebensweise insgesamt, durch Klimaerwärmung und beginnende Landwirtschaft. Im besonders günstigen Klima in Vorderasien entstanden sozial geregelte Dörfer und sogar die ersten monumentalen Steinbauten der Welt, fast sensationell erstmals vorgestellt in der Frühjahrsausstellung 2007 des Badi-

schen Landesmuseums in Karlsruhe<sup>4</sup>. Außergewöhnlich sind die Heiligtümer am Oberlauf des Euphrat-Flusses, zu Göbekli Tepe, und auch der wenig später aus buntem Schotter betonierte erste grobe Terrazzoboden im benachbarten Nevalı Çori aus dem späten 9. Jahrtausend v. Chr.

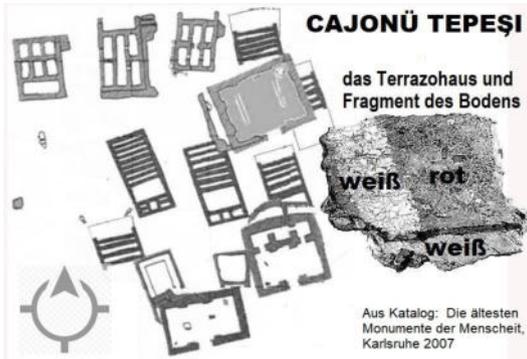
Ganz hervorragend etwas weiter nördlich: Cayönü Tepesi. In einem Dorf noch aus der vorkeramischen Jungsteinzeit, auf dem Hügel über dem Tal eines Nebenflusses des Tigris. Der Boden dieses Tals besteht aus kalkhaltigem rötlichen Lehm, gesäumt von Felsblöcken aus Kalkstein<sup>5</sup>. Die Siedlung selbst hat 21 periodische Schichten übereinander. Man kann so die Entwicklung der Baustile studieren, von althergebrachten runden Wohnhütten bis hin zum abstrahierten Rechteck. Das ältere ist deutlich gröber, aber in der Grundauffassung gleicht sich alles. Man errichtete zuerst zwei sorgfältig gestapelte parallele „Wangenmauern“, um ihren Zwischenraum, dann unregelmäßig aufzufüllen. So entstand eine Bauart, die noch viele Jahrtausende überdauerte, und griechisch **EMPLEKTON** genannt wird.



Aber zum Beton selbst in Cayönü Tepesi: Zwischen diesen Bruchsteingemäuern befindet sich ein „Terrazzogebäude“<sup>6</sup>, freigelegt in der von oben gezählten 2. Periodenschicht, mit zwei beträchtlichen Fragmenten eines echten Terrazzo-Fußbodens mit einer ursprünglichen Größe von 9,80x7,50 Meter. Ein Bruchstück dieses Bodenbelags war auch während der Ausstellung in Karlsruhe zu sehen<sup>7</sup>. Die fein geschliffene Oberfläche besteht aus einem Gemisch

- 
- 4 Badisches Landesmuseum (Hrsg.): Vor 12.000 Jahren in Anatolien. Die ältesten Monumente der Menschheit. Katalog, Karlsruhe 2007.
  - 5 Halet Çambel, Robert J. Braidwood: Çayönü Tepesi, Schritte zu neuen Lebensweisen. In: R.M. Boehmes und H. Hauptmann (Hrsg.): Beiträge zur Altertumskunde Kleinasiens. Festschrift für Kurt Bittel. Mainz am Rhein 1983. S. 155f.
  - 6 Wulf Schirmer: Drei Bauten des Çayönü Tepesi. In: Vergl. 5. Neu von Erhan Biçakci: Untersuchungen zu den Bauten und Schichtungen der akera-misch-neolithischen Subphasen 5. und 6. Institut für Baugeschichte in Karlsruhe, 2001.
  - 7 Badisches Landesmuseum: Exponat Nr. 35, Fußbodenfragment aus dem „Terrazzogebäude“ 7500-7100 v. Chr. Kalkstein u. Kalkmörtel. L 16 cm, B 15 cm, H 11

von rötlich-farbigen Kalksteinchen, die mit einer gleichfalls rötlich gefärbten Masse gebunden sind. Diese dünne Oberflächenschicht ist auf eine stärkere Schicht von gemeinen Kalksteinschotter aufgebracht, die ebenfalls mit Binde-



masse zusammengehalten wird – insgesamt eine um die 20 cm starke Betonierungsarbeit. Das erstellte Gutachten erkannte darin gebrannten Kalk als Bindemittel. Die präzise Nivellierung des Fußbodens und besonders die verblüffend sorgfältige

Glattschleifung – an sich schon eine damals außergewöhnliche technische Leistung! – werden noch bedeutsamer durch zwei Doppelstreifen aus exakt eingelassenen weißen Kalksteinchen, womit der Boden im Kontrast zur Eintönigkeit der roten Fläche dekoriert wurde. Die Schleifarbeit konnte nur bei sehr gut erhärteter Oberfläche ausgeführt werden, um dabei die Steinchen nicht auszureißen. Darauf aber wollte man offensichtlich nicht monatelang warten. Der rötliche Erdboden des Tals ist ja mergelhaltig und die Optimierung konnte mit dem Durchsieben dieses Lehms als Kalkzutat erreicht werden – zur Herstellung des selbstbindenden Hydraulikalks. Jedenfalls beruht die Vollkommenheit dieser Bodenbeschaffenheit gewiss auf langer Erfahrung bei der Herstellung des Stampfbetons.

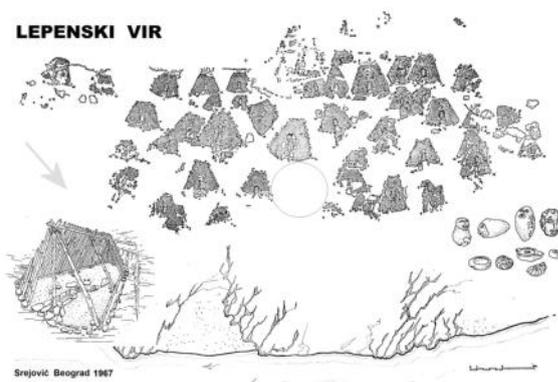
Unbekannt ist, wie es zu einer so hohen technischen und ästhetischen Leistung gekommen ist, und warum diese Fertigkeit wieder verloren ging. Es scheint nur eine kulturelle bzw. bautechnische Aufbloderung gewesen zu sein – obwohl gut ein Jahrtausend anhaltend. Dieses hervorragende, noch vorke-ramisch-neolithische Baudenkmal stellt auf längere Sicht nur eine Zufälligkeit dar. Denn schon das naheliegende Jericho offenbart nichts Neues mehr zur Frage des Betons: Die biblische Stadt nahe der Jordan-Mündung in das Tote Meer war seit dem 7. Jahrtausend v. Chr. bis in die Bronzezeit bewohnt und

---

cm. Bewahrt im Institut für Baugeschichte, Uni Karlsruhe.

ist noch nicht vollständig archäologisch erforscht. In den Wohnhäusern fand man bisher nur gestampfte Fußböden aus Lehm. Ein solcher, außergewöhnlich gut erhaltener Boden ist mehrschichtig gebildet, wobei der oberste Estrich sorgfältig geglättet wurde und auch auf den vorhandenen Mauerresten als Sockel hinaufgeführt ist.<sup>8</sup> Sonstige Betonierungsarbeiten gibt es in Jericho nicht.

Offensichtlich wurde die Idee des dauerfesten Betonierens – bis in die neueste Zeit – an verschiedenen Orten immer wieder erfunden und wieder vergessen. Wie das im Falle der völlig unvermittelten Erscheinung des Betons auf dem Balkan



auch geschehen sein dürfte. Dort wo die Donau die Staatsgrenze zwischen Serbien und Rumänien bildet und die Gebirge durchbricht, etwa 10 km nordwestlich von Donji Milanovac – heute von einem Stausee überflutet –, liegt eine einmalige archäologische Fundstelle: Lepenski Vir (Lepen-Strudel), auf einem engen Ufergestade auf der rechten Flussseite zwischen steilen Berghängen. Die hier im 6. vorchristlichen Jahrtausend lebenden Menschen waren, auch im europaweiten Vergleich, Träger des ersten postglazialischen Kulturaufschwungs. Sie schufen eine wunderbar glanzvolle Kultur, und zwar ohne irgendeine äußere Beeinflussung<sup>9</sup>. Es war nur eine kleine Siedlung von Fischern, Jägern und Sammlern mit insgesamt 85 Behausungen, in 9 sukzessiv entstandenen Bauhorizonten.

8 Kathleen M. Kenyon: The architecture and stratigraphy of the Tell. In: Thomas A. Holland (Ed): Excavations at Jericho. Vol. III Text-Plates. British School of Archaeology in Jerusalem, London 1961 – S.80, Pl. 222a und 241e.

9 Aus dem vielfach übersetzten Originalbuch von Dragoslav Srejević: Lepenski vir. Nova praistorijska kultura u Podunavlju. Beograd 1969. S. 9f und 18f.



LEPENSKI VIR Betonboden einer Hütte

Srejović 1969

Die Gestaltung dieser Behausungen ist einmalig: alle Grundrisse sind proportional gleich: in gleichschenkelige Dreiecke eingefasst, deren Spitzen so abgeschnitten sind, dass der Grundriss ein Trapez bildet und zwar mit rund ausgeführter Basis –

womit die toten Ecken eliminiert werden. Der Überbau stützte sich in die Löcher an den Rändern des Betons, ohne Gemäuer. Alles Wesentliche befand sich im Innenraum, so auch die axial eingesetzte Feuerstelle.

Festzustellen ist nun: der „Stampfbeton“ war, in Mitteleuropa, schon vor sieben-einhalb Jahrtausenden erfunden. Das technologische Rezept war aber in dieser Siedlung vielleicht nicht mal einfach nur „Kalkmörtel“ gewesen, weil sonst längere Zeit mit dem Beginn des Oberbaus hätte gewartet werden müssen. Man darf vermuten, dass man beim Brennen des mergelhaltigen Kalksteins (optimal 20% Tonmischung) schon in Lepenski Vir „hydraulischen Kalk“ erzeugt hat.

Die geistige Kultur dieser offensichtlich von Fischerei lebenden Menschen ist mehrfach durch eigenartige Skulpturen und Kultgegenstände bezeugt. Wie entstand diese Kultur und wie ging sie unter? Die Donau war immer ein Migrationsweg gewesen. In diesem Dorf hat man aber keine Gewaltspuren gefunden. Die späteren Siedler der III. Kulturbene scheinen nichts mehr von ihren Vorfahren gewusst zu haben. Sie bauten so, wie es unter der allgemein europäischen Azilienkultur üblich war<sup>10</sup>. Sie stampften ihre Fußböden in Lehm – wieder so, wie auch die weit entfernten Jerichoer.

---

10 Srejović, S. 161ff.

## Literatur:

- Agnew, Neville u. Martha Demas. Rettung der Hominiden-Spuren von Laetoli. In: Spektrum der Wissenschaft. Die Evolution des Menschen. Dossier-ND 2/2004. Heidelberg.
- Badisches Landesmuseum (Hrsg.): Vor 12.000 Jahren in Anatolien. Die ältesten Monumente der Menschheit. Katalog, Karlsruhe 2007.
- Bartual, Mario-Garcia: Las pisadas de Laetoli. In: Historia y Vida 459/2006, Barcelona.
- Biçaki, Erhan: Untersuchungen zu Bauten und Schichtungen der akera-mischen Subphasen 5. und 6. Institut für Baugeschichte in Karlsruhe, 2001.
- Çambel, Halet und Robert J. Braidwood: Çayönü Tepesi, Schritte zu neuen Lebensweisen. In: R.M. Boehmes und H. Hauptmann (Hrsg.): Beiträge zu Altertumskunde Kleinasiens. Festschrift für Kurt Bittel. Mainz am Rhein 1964.
- Istvánfi Gyula: Népi építészet (Volksarchitektur, Urzeit). Az építészet története. Óskor. Budapest 1997.
- Kenyon, Kathleen M: The architecture and stratigraphy of the Tell. In: Thoms A. Holland (Ed.): Excavations of the Jericho. Volume III. Text – Plates. British School of Archeology in Jerusalem. London 1981.
- Müller Beck, Hansjürgen: Die Steinzeit. Der Weg der Menschen in die Geschichte. München 2004. Aus dem Inhaltsverzeichnis: Altpaläolithikum bis 200.000 vor heute; Mittelpaläolithikum 200.000-40.000; Jungpaläolithikum 40.000-10.000; Neolithisierung 10.000-6.000; späte Steinzeit 6.000-1000 n. Chr.
- Müller, Friedrich: Gesteinskunde. Ulm an der Donau 1991.
- Remane, Adolf – Volker Storch – Ulrich Welsch: Zoologia sistemática (spanische Ausgabe: Systematische Zoologie. Stämme des Tierreichs) Barcelona 1980.

- Schirmer, Wulf: Drei Bauten des Çajönü Tepesi. In: R.M. Boehmes und H. Hauptmann (Hrsg.): Beiträge zu Altertumskunde Kleinasiens. Festschrift für Kurt Bittel. Mainz am Rhein 1983.
- Schnuchel, Werner: Von rund zu Eckig. In: Damals 2/2007, Leinfelden-Echterdingen.
- Srejić Dragoslav: Lepenski Vir. Nova preistorijska kultura u Podunavlju. Beograd 1969.