Steinarbeit *basics*

Sonntag, 16. April bis Freitag, 28. April 2023



H. Beer

Seite

2 Inhaltsverzeichnis

3 Kursziele

4 Arbeitsplatz einrichten und Unfallverhütung

5 Steine Spalten

7 Flächen ersehen und hauen

8 Handwerkzeug

9 Pflege von Handwerkzeug

11 Handwerkzeug historisch

13 Heben und Bewegen gewichtiger Blöcke

15 Stein schleifen und polieren

16 Handmaschinen zur Steinbearbeitung

17 Gesteinsbildung

18 Kreislauf der Gesteine

20 Cristallina Marmor – Vorkommen und Abbau

21 Steingewinnung – Material, Lage und Technik

27 Industrielle Verarbeitung - Techniken

28 Flußsteine – Alter und Gefüge

30 Ausrüstung, Werkzeug, Literatur

Kursziele

Für den fachgerechten, handwerklichen Umgang mit Stein sind Kenntnisse der Stein-Eigenschaften und der Handhabung, der für die Verarbeitung zur Verfügung stehenden Werkzeuge notwendig.

Praktische Arbeit am Stein:
In *Steinarbeit basics* erarbeiten wir in verschiedenen aufeinander folgenden Schritten aus einem rohen Stück Cristallina Marmor eine Form, mit winklig zueinander stehenden, ebenen Flächen.

Dabei erlernst Du den Umgang mit:

- Bohrhammer und Spaltwerkzeug
- Klassischem Handwerkzeug für die Steinbearbeitung
- Elektrischen und pneumatischen Handmaschinen
- Einfachen Hilfsmitteln für das Bewegen schwerer Steine

Im Kurs schmiedest und härtest Du ferner ein eigenes Spitzeisen.

Theorieblöcke:

- Infrastruktur eines Arbeitsplatzes für die Steinbearbeitung
- Einfache Techniken zum Bewegen von Werkstücken
- Wichtige Grundsätze der Unfallverhütung
- Handhabung, Pflege und Unterhalt von Maschinen u. Handwerkzeug
- Elektrische und pneumatische Handmaschinen
- Erdgeschichte, Steinkunde
- Marmor-Vorkommen im Val di Peccia TI
- Gewinnung und Verarbeitung von Naturstein
- Flußstein-Alter und -Gefüge



Absolventinnen und Absolventen des WBK führen ein Arbeitsbuch und unterbreiten dies im Verlauf des Kurses dem Kursleiter zur Durchsicht.

Arbeitsplatz einrichten und Unfallverhütung

Einfache Massnahmen können frühzeitiges Ermüden verhindern und Unfallrisiken bei den Arbeiten am Stein reduzieren.



Beim Einrichten des Arbeitsplatzes ist folgendes zu beachten:

- Eine bequeme Arbeitshöhe und eine aufrechte Körperhaltung verhindern frühzeitiges Ermüden.
- Ein gedeckter Arbeitsplatz im Freien ist für Arbeiten am Stein ideal.
- Für das Werkzeug ist eine passende Ablage vorzusehen.

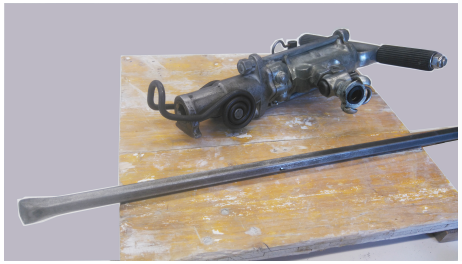
Selbstschutz:

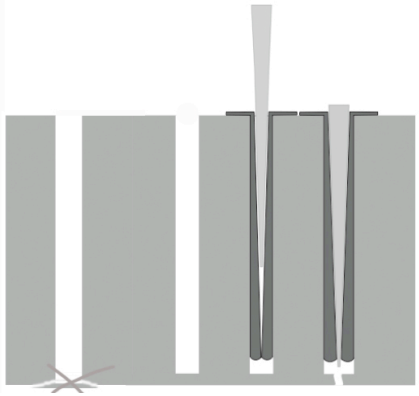
- Die Augen müssen bei allen Arbeiten am Stein mit einer geeigneten Brille geschützt werden.
- Solides Schuhwerk (ev. mit Stahlkappe) gewährleistet für die Arbeit auf dem Werkplatz optimales Stehvermögen und Schutz.
- Unsachgemässer Umgang mit dem Werkzeug erhöht das Unfallrisiko.
- Beim Einsatz von Handmaschinen ist nebst Schutzbrille ein Gehörschutz unverzichtbar.
- Bei Staubentwicklung ist es sinnvoll im Freien zu arbeiten.
- Bei starker Staubentwicklung müssen die Atemwege geschützt werden.

Transport:

- Vor dem Transportieren von Werkstücken musst der Transportweg von allfälligen Hindernissen befreit werden.
- Am Zielort sind für das Abladen des Werkstücks passende Vorkehrungen zu treffen.
- Wenn mehrere Personen am Transport eines Blockes beteiligt sind, ist eine Person zu bestimmen, die die Anweisungen gibt.
- Beim Bewegen von Werkstücken ist stets auf eine hindernisfreie Fluchtmöglichkeit.

Spalten mit Federkeilen





Bohren Spaltvorgang

Die Genauigkeit einer Spaltung ist vom Steingefüge, der Schichtung (=Textur)/Schieferung(=Metamorphose) und vom Abstand der Bohrlöcher abhängig. Die Löcher müssen im Minimum den doppelten Lochdurchmesser Abstand voneinander haben und parallel zueinander verlaufen. Ein Ineinanderlaufen der Bohrungen ist unbedingt zu vermeiden. Beim Cristallina-Marmor hat sich ein Lochabstand von 8 cm bewährt. Das Durchbohren durch den Stein führt zu unnötigem Materialverlust führen, da je nach Druck und Schichtung die letzen fünf oder mehr Zentimeter Material ausbrechen können.

Die Keillänge ist ideal, wenn der Keil einem grossen Teil der Lochlänge entspricht (Abbildung). Sitzen die Keilbleche am Bohrlochende auf oder hat ein Keile nicht die genau zum Loch passende Grösse, ist seine Spaltkraft eingeschränkt oder entfällt sogar.

Eine in der Trennrichtung unter den Block gelegte, schmale Unterlage (z.B. Bohrstange, Dachlatte, Kantholz), unterstützt den Spaltvorgang und die Spaltrichtung. Damit der umkippende Stein nicht platt auf den Boden fällt, liegen zwei Kanthölzer zu dessen Aufnahme bereit. Während dem Einschlagen der Keile und dem erwarteten Auseinanderfallen der Stein-Teile darf sich niemand im Fallbereich aufhalten.

Beim Hineintreiben der Keile muss auf eine optimale Verteilung und Ausrichtung der Spalt-Kräfte geachtet werden. Bei den Schlägen auf die Metall-Keil ist die Tonhöhe ein aufschlussreicher Indikator für die Grösse der treibenden Kraft. Kann die Frequenz der Schwingung beim Anschlagen nicht erhöht werden ist dies ein untrügliches Zeichen, dass der Keil am Bohrlochende auf. Es kann aber auch sein, dass der Stein bereits am Auseinanderbrechen ist.

Unfallgefahren

- Stahl wird beim Behämmern spröd. Kleine abgesprengte Metallsplitter können zu ernsthaften Verletzungen führen.
- Spaltvorgänge im Stein sind oft zuerst hörbar, dann sichtbar. Die Teile fallen aber häufig in einem überraschenden Moment auseinander. Wichtig ist deshalb, sich über den eigenen Standort in Bezug auf den Stein bewusst zu sein.
- Der Fluchtweg hinter sich muss immer hindernisfrei sein.
- Beim Auseinanderfallen eines Blocks können sich beide Teile bewegen, weshalb es auch sinnvoll ist, beide mit entsprechenden Kantholz-Unterlagen zu sichern.

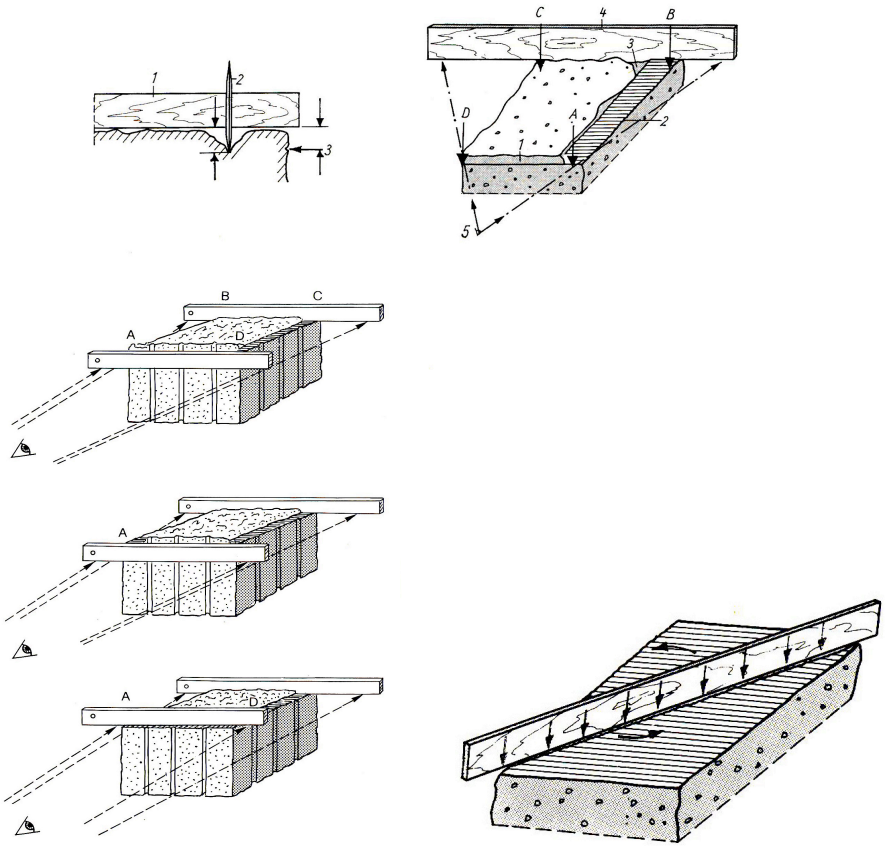
Der Schraubenkompressor der Scuola di Scultura:
Der erzeugte Druck von ca. 8 bar ist für den Betrieb eines Bohrhammers oder der Hand-Drucklufthämmer gerade ideal.
Luftverbrauch von Drucklufthämmern:
- Bohrhammer: 1.5 m^3/min.
- Cuturi: 100 – 290 l/min.
- Meissel-Hammer: 250 l/min.
- Geradeschleifer: 250 l/min.





Flächen ersehen und hauen.

Für das Fertigen eines Werkstückes musst du die erste Fläche besonders sorgfältig erarbeiten, da sich alle Anschlussflächen an ihr orientieren.



Richtscheit nicht zu fest auf dem Stein reiben

Hat der zu bearbeitende Block eine sehr rohe Form, so kann er vorerst mit dem Spitzhammer (Pressluft) oder dem Stielsetzer gerichtet werden.

Der tiefste Punkt einer Seitenfläche des Blockes ist maßgebend für die anzureißende erste Linie AB. Mit dem Handsetzer wird das überstehende Material an der Kante weg geschlagen. Danach kann die Kante mit dem Beizeisen und Zahneisen gesichert und der „Bossen“ risikofrei weggespitzt werden.
Mit dem Beiz- oder dem Schlageisen musst du dann die Kante solange weiter bearbeiten, bis das Richtscheit vollkommen eben aufliegt. Ein weiterer Riss in gewünschter Richtung BC ergibt den dritten Punkt, der zu hauenden Fläche. Mit ihm ist die Fläche bestimmt, der vierte Punkt D liegt in dieser Ebene.

Ist der Randschlag an den vier Seiten fertig, so kannst du das überstehende Material in der Fläche grob zurückspitzen. In parallelen Bahnen kannst du nun mit großer Sicherheit und Genauigkeit die ganze Ebene erarbeiten.

Mit dem Richtscheit wird die ganze Ebene der gehauenen Fläche überprüft. Vorsicht, an bombierten Flächen wird das Richtscheit bei häufigem Überprüfen durch das Scheuern beschädigt!

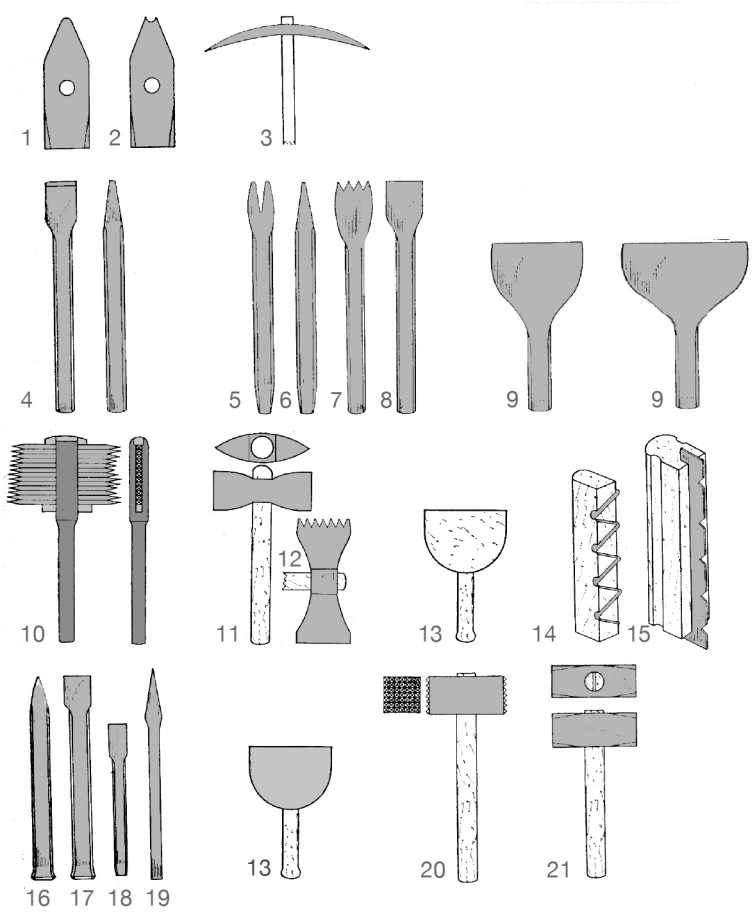
Folgende weitere Bearbeitungen sind nun möglich:

- punktspitzen
- stocken oder zahnen
- flächen oder scharrieren
- schlägeln
- schleifen
- polieren

Falls eine Fläche geschliffen werden soll, ist beim Marmor bei den Vorarbeiten darauf zu achten, dass die Kristallstruktur möglichst nur oberflächlich beschädigt (milchig weiße Kristalle) wird.

Klassisches Handwerkzeug - Form und Pflege

Mit diesen verschiedenen Werkzeugen können weiche oder harte Steine bearbeitet werden. Je nach dem ob du mit dem Eisen- oder Stahlfäustel oder mit einem Knüpfel arbeitest, muss das Werkzeug ein entsprechendes Schaftende besitzen.



1. Kopf eines Finnhammers, zum seitlichen Anschlagen beim Spalten
2. Kopf eines Stielsetzers
3. Zweispitz
4. Handsetzer
5. Zweizahn (Hundszahn)
6. Spitzeisen
7. Zahneisen
8. Schlageisen (24 – 30 cm)
9. Scharriereisen 130 bis 150 mm (Breiteisen)
10. Krönel
11. Fläche
12. Zahnfläche
13. Holz- und Kunststoffknüpfel; harter und weicher Schlag
14. Stein-Hobel
15. Handsäge
16. Spitzeisen für Knüpfel
17. Schlageisen
18. Beizeisen
19. Nuteisen
20. Stockhammer
21. Stahlfäustel/Eisenfäustel hart-explosiv/weich-tief

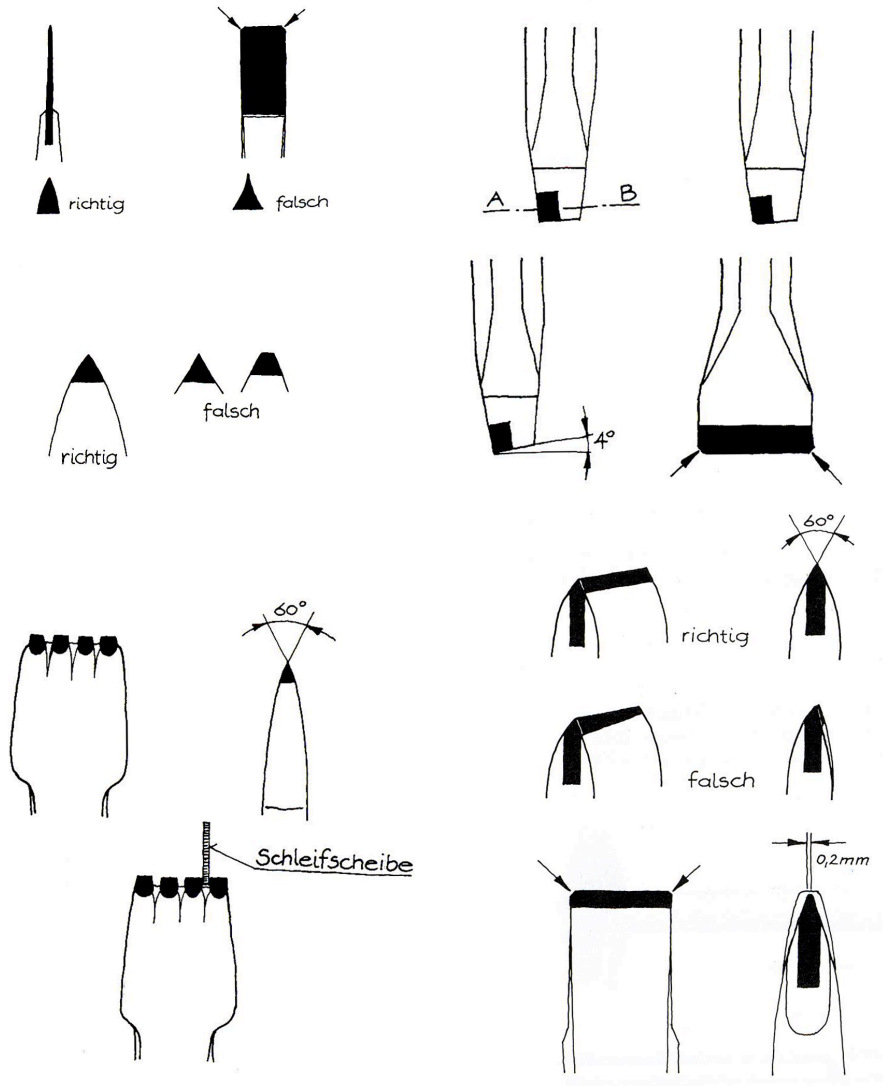
Geschmiedetes Werkzeug

Geschmiedete Werkzeuge sind bei uns aus Steinbohrstahl. Die Rohlinge sind achtkantig und werden in glühendem Zustand geschmiedet. Die Zusammensetzung: Eisen (Fe) ca. 98%, Kohlenstoff (C) 1.05%, Silizium (Si) 0.2 %, Mangan (Mg) 0.2%.
Schmieden: Vor dem Ausschmieden zu einer Spitze bekommt der sechskantige Rohling ein vierkantiges Schaftende mit quadratischem Querschnitt. Soll ein Schlageisen entstehen, wird das Schaft-Ende flach ausgeschmiedet.

Härten: Nach der Formgebung wird das geschmiedete Ende nochmals erhitzt (kirschrot) und im demineralisierten Wasser (z.B Regenwasser) abgeschreckt, so dass die Glut in den Schaft zurückgeschockt wird und dann mit den Anlauffarben langsam wieder zur Spitze vordringt. Die Anlauffarben-Skala: blau-violett-kastanienbraun-gelb-weiß. Beim Crystallina-Marmor härten wir, wenn gelb schon in die Spitze gelaufen ist, auf kastanienbraun. Das fertig geschmie-dete Spitzeisen wird zum Erkalten in einem Wasserbad (demineralisiertes Wasser oder Regenwasser) 5 mm tief eingestellt und härtet so durch.

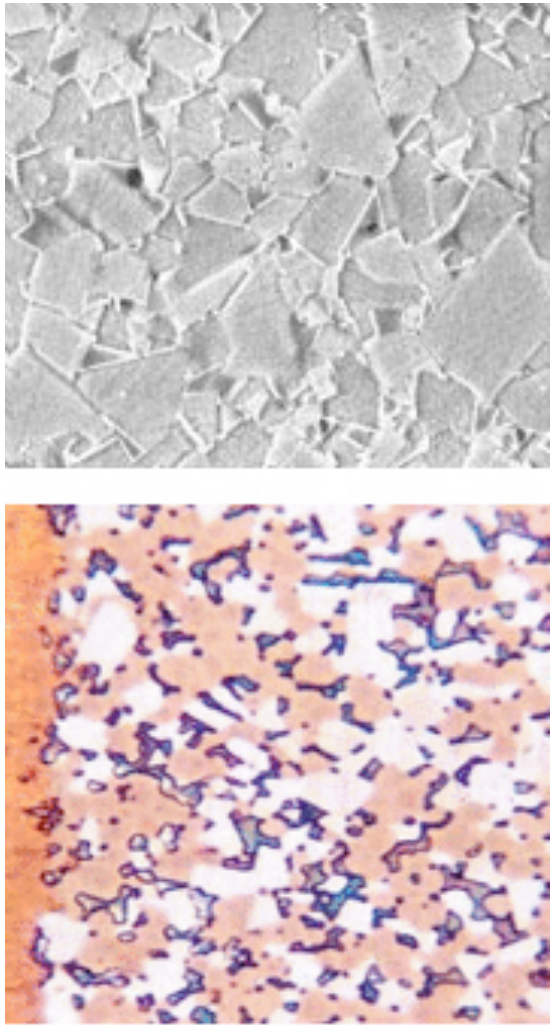
Schleifen: Gut angeschliffene Werkzeuge sind eine wichtige Voraussetzung für effiziente Arbeit am Stein.
Das Spitzeisen schärfen wir von Hand auf der Schleifplatte (mit Wasser). Dieser Vorgang muss viele Male wiederholt werden. Ist die Spitze zu dick geworden, gehen wir an die Maschine. Geschmiedete Spitzeisen, auch die roten Muller-Eisen müssen beim Schleifen ca. alle 3 Sekunden im Wasser gekühlt werden. Werden sie zu heiß (blaue Anlauffarbe) verlieren sie ihre Härte.
Die Spitzeisen werden quer zur Laufrichtung der Schleifmaschine, an der **roten Scheibe** (Elektrokorund, Korn 46) geschliffen. Sie bekommen wie-der eine lange, schlanke Form.

WIDIA. Gesinterte Hartmetalleinsätze haben eine viel grössere Abrieb-festigkeit und Härte. Widia-Werkzeug ist zwar teuer, besitzt aber eine viel längere Standzeit. Widia in einem pulvermetallurgischen Verfahren, mit Wolfram-, Tantal- oder Titankarbiden mit Kobalt hergestellt.
Die zugeschnittenen Hartmetall-Stücke sind in entsprechend vorbereitete Stahl-Schäfte eingelötet

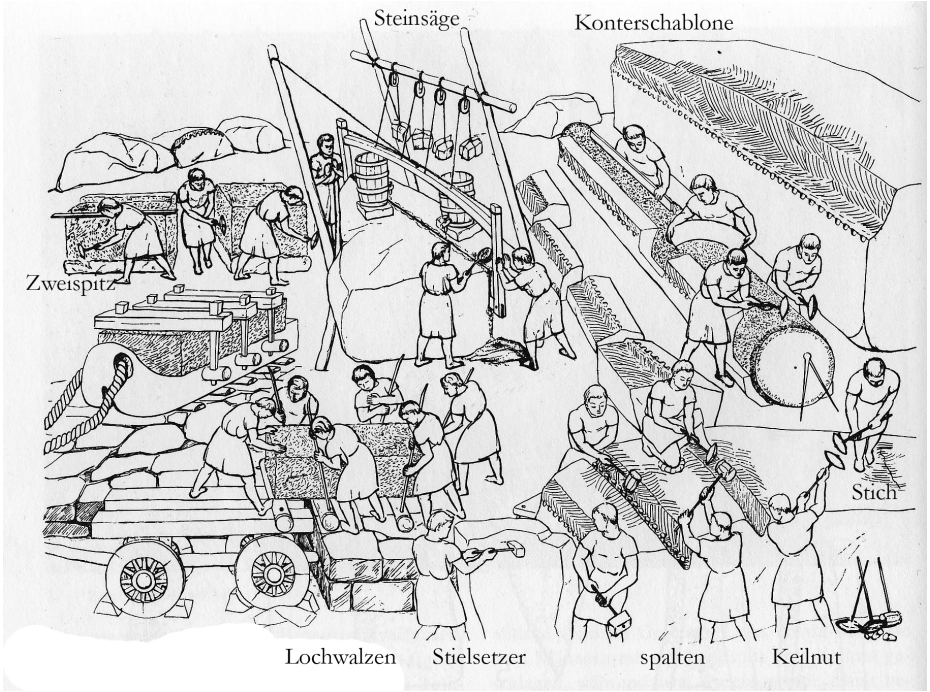


Abbildungen mit wichtigen Hinweisen, für das Anschleifen von Werkzeug mit Hartmetalleinsätzen.

Schärfen von Widia-Werkzeug. Der Schleifvorgang besteht aus zwei Teilen, dem groben Anschleifen an der Maschine (grüne Siliciumcarbid-Scheibe) und dem feinen Nachschleifen von Hand, auf der so genannten "Rutscherplatte", die hier an der Scuola mit Industrie-Diamant-Splittern bestückt ist.
Das **Nachschärfen** von Hand auf der Rutscherplatte wird mehrmals wiederholt, bevor es wieder nötig wird, die Form an der Maschine zu erneuern. An der Schleifmaschine (grünen Scheibe, Siliziumcarbid, Korn 80) wird das Eisen frisch geschliffen. Die Schleifscheibe muss immer gerade abgerichtet sein, darf keine Rillen haben und soll weder rund noch hohl abgenutzt sein. „Greift“ die Schleifscheibe ungenügend, kann ein zwei- bis dreimaliges Reinigen mit der Stahlbürste Abhilfe schaffen.
Widia-Eisen dürfen nicht mit Wasser gekühlt werden. Ein Abschrecken führt zu kaum sichtbaren Spannungsrissen in der Lötnaht, denn die verschiedenen Metalle (Hartmetalleinsatz, Buntmetall-Lot und Stahlschaft)ziehen sich unterschiedlich stark zusammen bzw. dehnen sich aus. Die gesinterten Widia-Einsätze können sich ausserdem auf der ganzen Länge aufspalte, womit das Werkzeug ruiniert wäre.
Beim Anschleifen an der Maschine ist darauf zu achten, dass das Metall gleichmäßig abgetragen wird, wobei wir hinter der Lötnaht anfangen zu schleifen und uns dann allmählich zur Schneide vorarbeiten. Das seitliche Hin- und Herfahren mit dem Eisen dient zur gleichmäßigen Abnutzung der Schleifscheibe.
An der **grünen Siliziumkarbidscheibe** wird der Hartmetalleinsatz geschliffen, der Stahlschaft des Werkzeuges (Halter) an der roten Karborundumscheibe. Beim Zahneisen müssen die Zwischenräume von Hand mit der Feile nachgeschliffen werden. Es ist immer darauf zu achten, dass die Form des Eisens, von der Seite aus betrachtet, derjenigen eines spitzen gotischen Bogens gleicht.
Achtung: Schleift man immer an der gleichen Stelle der Schleifscheibe, wird das Rund (Radius) der Schleifscheibe auf das Eisen übertragen und an Stelle des kontinuierlich zulaufenden gotischen Bogens erhalten wir einen Hohlschliff, welcher das Eisen schwächt und den Steg vernichtet.



Makro-Aufnahme einer Hartmetalllegierung. Wolfram, Cobalt, Kohlenstoff, Titan.



Handwerkzeuge historisch

Ägyptologen vermuten, dass in den Steinbrüchen Steinbearbeitungs-Werkzeuge wie Beile, Hämmer und Meißel, zusammen mit den gehärteten Kupfer- und Bronzeeinsätzen auch Hartsteinsplitter wie Korund und Diamant eingesetzt wurden. Entsprechende Funde gibt es allerdings nicht. Die härtere Bronze und später Eisen und härtbarer Stahl revolutionierten die handwerkliche Steinbearbeitungstechnik.

Heute werden anstelle der früher handgeschmiedeten Werkzeuge häufig hartmetallbestückte "Eisen" eingesetzt. Für Marmor und Sandstein wird teilweise auch noch heute mit handgeschmiedetem Schlag-, Beiz- und Scharriereisen gearbeitet.

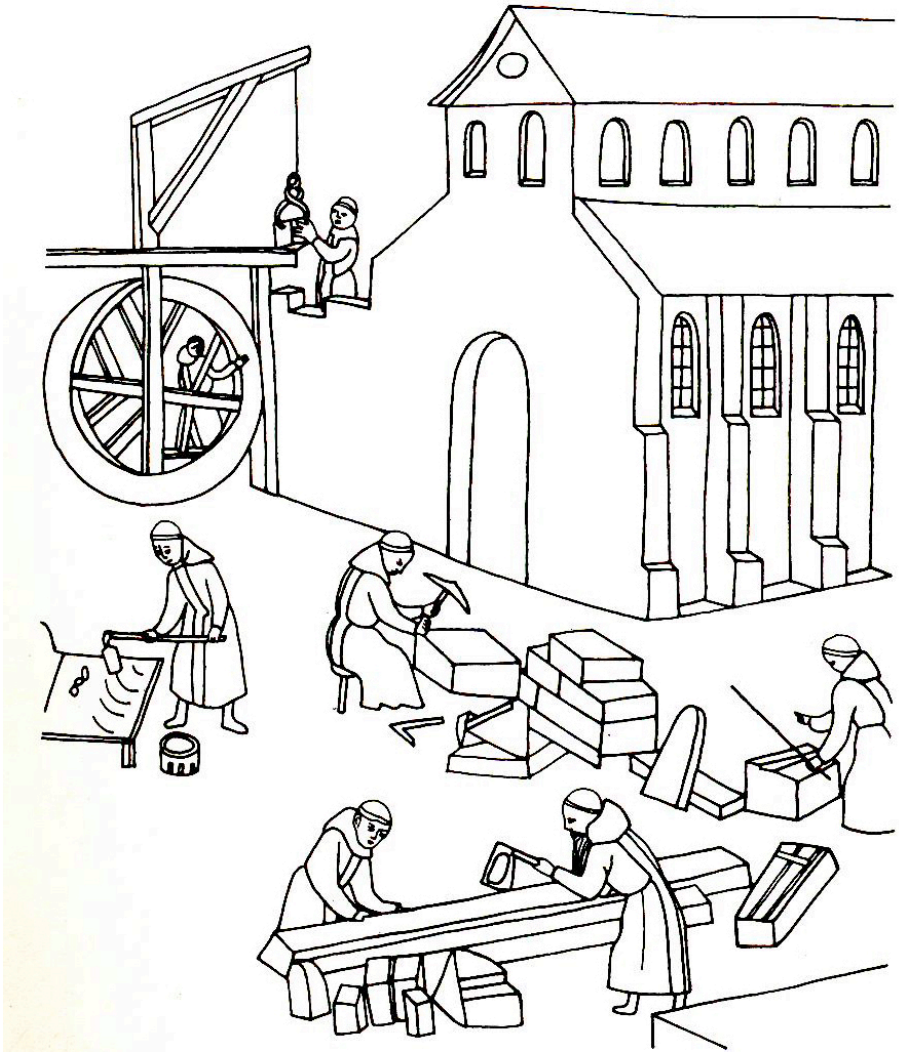
Das Aussehen der von Steinmetzen und Bildhauern verwendeten Werkzeuge hat sich allerdings wenig verändert und die Spuren, die sie hinterlassen, weisen jeweils untrüglich auf das verwendete Werkzeug hin.



Der heute für die Herstellung von Stein-Handwerkzeug verwendete Rohstoff enthält neben Eisen Kohlenstoff, Silizium und Mangan. Das Härten erfolgt am fertig geformten Eisenwerkzeug durch geschicktes Erwärmen und Abkühlen in Öl oder Wasser.

Kohlenstoffstahl → Eisenfäustel
Legierter Stahl → Stahlfäustel

Gesinterte Hartmetalleinsätze haben wegen der besseren Abriebfestigkeit eine bedeutend größere Standzeit. Bei Bohr- und Schneidwerkzeugen (Kernbohrer, Trennscheiben) sind sie heute außerdem oft zusätzlich mit Industrie-Diamant bestückt.



Heben eines Steines mit einem „Kniehebelzange“ um 1320, Colmar

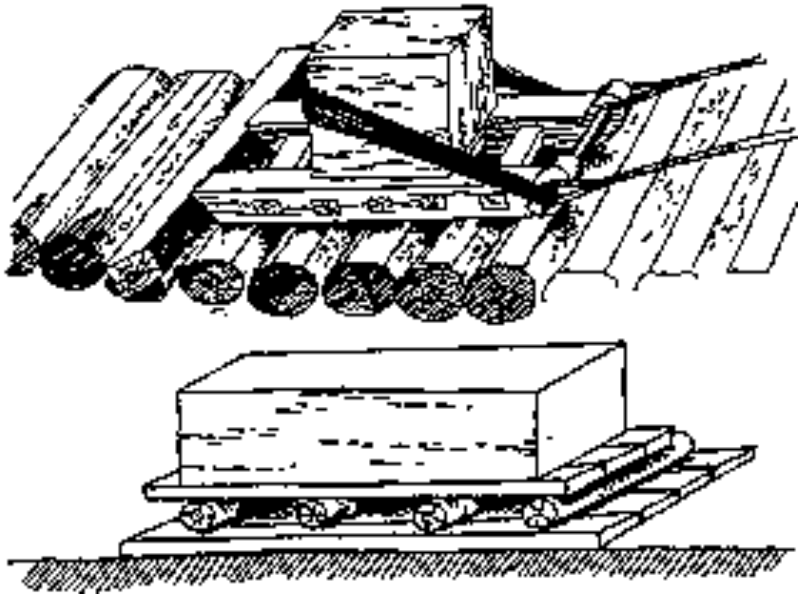


Bei der Arbeit am Stein ist immer auf eine bequeme Arbeitshöhe, einen guten Stand und eine möglichst aufrechte Körperhaltung zu achten.



Heben und Bewegen gewichtiger Blöcke

Mit einfachen Hilfsmitteln können stattliche Steine bewegt werden. Es ist deshalb vorteilhaft, die diesbezüglichen physikalischen Gesetze zu kennen und anzuwenden.
Vor der Erfindung des Rades sind schwere Steinblöcke auf Schlitten über frisch gefällte oder nasse, halbrunde Holzscheite geschleift worden. Solche Schlitten sind uns bildlich aus dem alten Ägypten überliefert. Zum Bau der Pyramiden schleppten Arbeitstrupps von 20 Mann und mehr, Blöcke auf Schlitten über solche Holzschwellen. Höhenunterschiede überwand man mit Rampen oder Aufschüttungen.



Auch mit einfachen Hilfsmitteln, wie Lochwalzen, Stemmeisen, Drehunterlagen und Kanthölzern lassen sich mehrere Tonnen schwere Steine mit relativ geringem Kraftaufwand bewegen und in für die Bearbeitung praktische Positionen hieven.

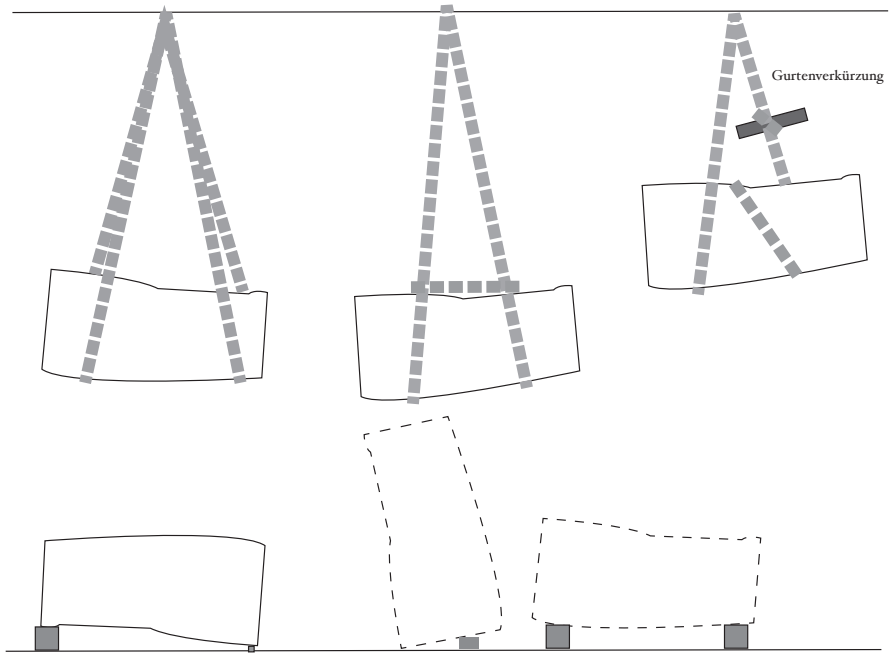
Hilfsmittel :

- Rundholz, Besenstiel-Walze (Hartholz)
- Lochwalze
- 2 lange, massive Stemmeisen
- Dachlatten
- Kanthölzer (verschiedene Längen)
- Drehpunkt (hartes, gerundetes Stein-Material, z.B. grössere Kiesel)
- Stockwinde (Wenn möglich mit Sicherheitskurbel!)

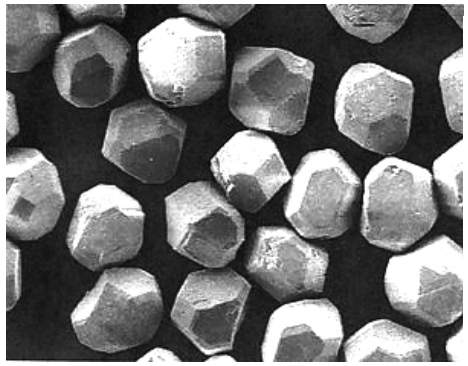
Bei geschickter Platzierung von Kanthölzern und Walzen kannst du mit dem eigenen Körpergewicht mehrfach schwerere Blöcke bewegen.
Das Wissen, wo Kräfte auftauchen mindert Unfallrisiken und erleichtert die Teamarbeit. Trotz aller Umsicht passieren aber Überraschungen. Deshalb ist immer wichtig, hinter sich hindernisfreien Raum(Fluchtweg) zu wissen, um sich mit ein paar raschen Schritten aus dem Gefahrenbereich entfernen zu können.

Beim Einsatz moderner Hilfsmitteln wie Kranen und Gabelstaplern ist es wichtig das Gewicht des zu bewegenden Blocks zu kennen. Gurten, Haken und andere Hilfsmittel können so optimal und schonend eingesetzt werden. Zur Verkürzung von Gurten steckt man Kanthölzer in den Knoten. Unterlässt man dies, ist ein solcher Knoten nach einer tonnenschweren Belastung nicht mehr zu lösen.

Grosse aber auch kleinere Steine dürfen nie flach auf dem Boden zu liegen kommen, da man diese sonst nur umständlich wieder anheben und mit Gurten fassen kann. Mit Kanthölzern oder Steinen ist ein praktischer Boden-Freiraum für die Gurten und ein Stemmeisen zu halten.



Steinoberflächen schleifen



Industriediamant



Siliziumkarbid-Handrutscher

Beim Schleifen ebnen scharfkantige Schleifkörner die härter als der zu schleifende Stein sind, dessen Oberfläche. Die heute am häufigsten verwendeten Schleifmittel sind: Industriediamant, Siliziumkarbid[1], Elektrokorund[2], Bimsstein und Borkarbid[3].

Die spezifischen Eigenschaften eines Schleifmittels sind bestimmt durch:

- Kornmaterial
- Korngrösse
- Bindemittelart und -härte
- Gefügedichte

Härte und Abriebverhalten des Schleifkörpers müssen optimal auf den zu schleifenden Stein abgestimmt werden.

Karborundum Handrutscher. Der Schleifkörper nützt sich während dem Schleifvorgang relativ schnell ab und passt sich dabei der zu schleifenden Form an. Der Schleifkörper und der entstehende Schleifschlamm bilden dabei zusammen ein gleichmässiges Ergebnis.

Die Stufungen der Schleifgrade von SiC sind:
16/20, 24/36, 60, 80, 120, 180, 220, 320, 400, 500, 600

Hand-Schleifpapier, nass (auch für Metall)
Die Stufungen der Schleifgrade sind:
60, 80, 100, 120, 150, 180, 220, 280, 360, 400, 500, 600, 800, 1000

Diamant Handschleifer, nass (Schwämme)	grob (grün, schwarz)	60, 120
	mittel (rot, gelb)	200, 400
	fein (weiss, blau)	800, 1000
	polish (orange)	3000
Diamant Maschinenschleifscheiben, nass	hellblau/gelb	60/100
	orange/rot	200/400
	dunkelgrün/grün	800/1500
	braun/schwarz	3000/10000

Schleifvorgang mit Karborundum Handrutscher[1)] und Schleifpapier
Grundsätzlich muss jede feinere Körnung die Schleifspuren des vorangegangenen Schritts **vollständig** wegschleifen.
Es kann trocken und nass geschliffen werden. Feinere Schleifgrade werden aber zusammen mit Wasser schneller und gleichmässiger erreicht.

Polieren:
Das Poliermittel, z.B. Zinkoxyd wird auf die feuchte, bis Korn 800 geschliffene Steinoberfläche aufgetragen. Der Poliervorgang erfolgt mit einen Polierfilz.

[1)] Siliziumkarbid	SiC, relative Härte nach Mohs: 9.6
[2)] Korund (Rubin, Saphir)	Al_2O_3 relative Härte nach Mohs: 9
[3)] Borkarbid	B_4C relative Härte nach Mohs: 9.3

Handmaschinen zur Steinbearbeitung



Um die Zweckmäßigkeit von nichtindustriellem Maschinen-Einsatz bei der Steinbearbeitung beurteilen zu können, bedingt es genaue Kenntnis der Möglichkeiten aber auch der Grenzen der Geräte. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Systeme: Druckluftgeräte und elektrisch betriebene Hand-Maschinen. Druckluftgeräte sind in der Regel lauter, aber handlicher als elektrische.

Mittlere elektrische Handschlagbohrmaschine arbeiten meistens mit einer einstellbaren Drehzahl von 150 - 3000 U/min. Das Bohrfutter kann Bohrer von bis 16 mm Durchmesser aufnehmen. Ein Überlastungsschutz mit Thermoschalter verhindert Schäden am Motor.

Mit dem elektrischen Bohrhammer können je nach Stein Löcher bis zu 40 mm Durchmesser gebohrt werden. Elektropneumatische Bohrhämmer zeichnen sich durch große Bohrleistung und geringe Vibration aus.

Die elektrische Handschleifmaschine gibt es für den nassen wie auch den trockenen Einsatz (2000 - 3000 U/min.).

Der Elektro-Trennschleifer wird zum Trennen von Stein eingesetzt. Er arbeitet bei 4000 bis 6500 U/min. Beim Trennen mit Wasser ist darauf zu achten, dass ein Fehlerstrom-Schutzschalter (heute Standard) vorhanden ist.

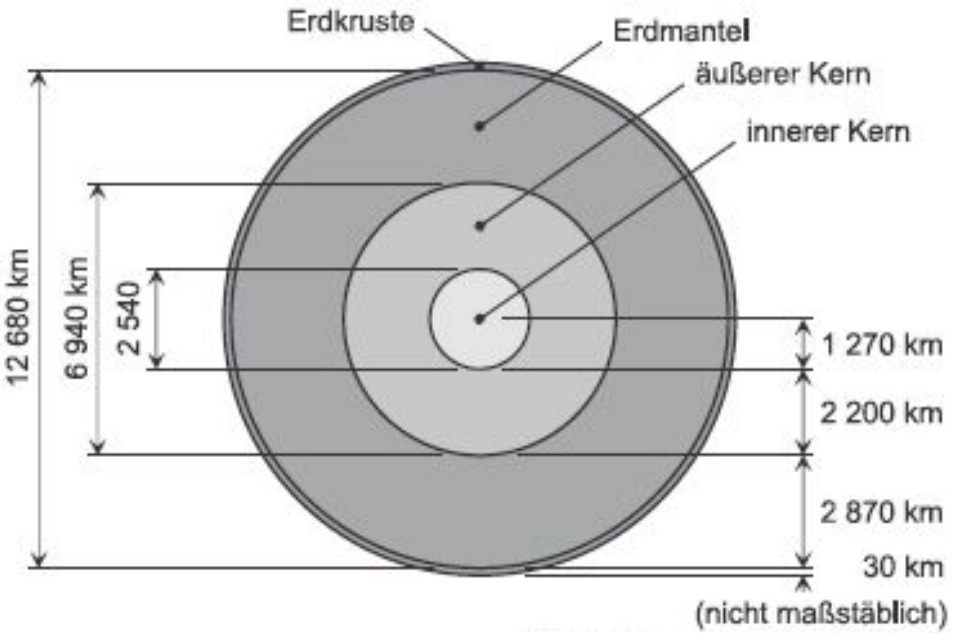
Bei Druckluftgeräten ist die Gefahr von Beschädigung durch Dauereinsatz gering. Nachteile sind: der Anfall von Kondenswasser im Druckleitungssystem, unerwünschte Kühlung des Gerätes und die grosse Staubentwicklung beim Arbeiten.

Der kleine Druckluft-Hammer (Cuturi, Atlas) eignet sich für alle kleinen bis mittleren Arbeiten am Stein. Er ist sehr handlich und pflegeleicht.

Der Druckluft-Spitzhammer eignet sich vor allem für grobe Bossierarbeiten.

Mit dem großen Druckluftbohrhammer können mittlere bis grosse Bohrarbeiten ausgeführt werden. Auf speziellen hydraulischen Bohrlaffetten kommt er auch im Steinbruch zum Einsatz.

Schematische Darstellung der Erde



Mittlere Dichte der Erde: 5.5 t/m^3

Gesteinsbildung

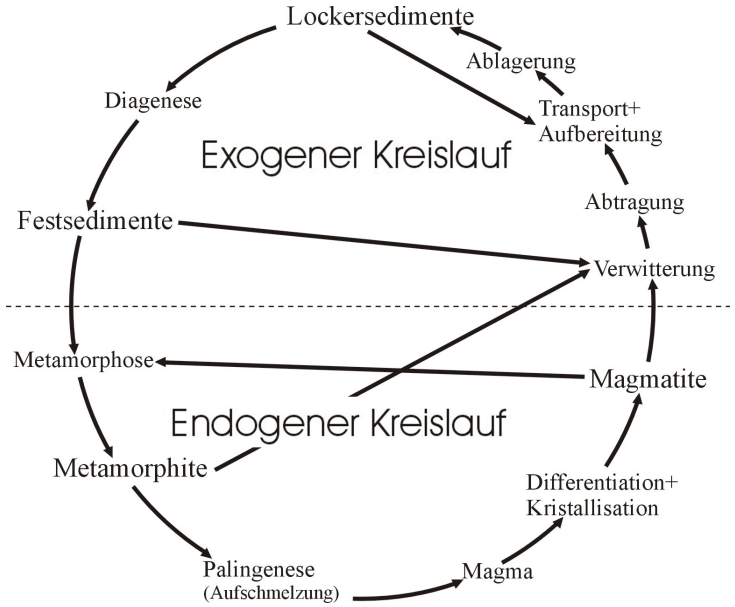
Zwei gesteinsbildende Kräfte sind für die Diagenese, die Entstehung von Stein verantwortlich: Die inneren Kräfte der Erde sowie Abtragung und Verwitterung.

1. Gebirgsbildung (Hitze und Druck)
Aufgrund der Hitze im Erdinnern kommt es zur Aufschmelzung (Magmabildung). Die Magmen dringen nach oben; sie erstarren entweder auf der Erdoberfläche (Effusivgestein: Gang-, Lavagestein) oder innerhalb der Erdkruste (Plutonite).

2. Abtragung und Verwitterung (Frost, Regen, Sonne, Wind).
Verwitterung und Abtragung als Folge atmosphärischer Einflüsse verwandeln die Gesteine in Sedimente (klastische und chemische). Die Sedimente verfestigen sich wieder zu Sedimentgesteinen: Brekzien, Konglomeraten, Sandsteinen und Kalksteinen)

3. Die zunehmende Überdeckung durch nachfolgende Sedimente, gebirgsbildende Bewegungen in der Erd-Kruste oder der Kontakt mit tiefer liegenden Schichten, lassen Druck und Temperatur steigen. Es bilden sich metamorphe Gesteine: Marmore, Gneise.

4. Steigen Temperatur und Druck noch weiter, kommt es zur partiellen oder vollständigen Aufschmelzung des metamorphen Gesteins. Diese Erstschmelzen sind granitisch (Plutonit). Ein vollständiger Zyklus ist durchlaufen.



Magmatite

Tiefengestein: Granit (sauer), Gabbro (basisch)

Granit	Campascio, GR; Rosa Sardo,Ialien
Syenit	Labrador, Norwegen
Diorit	Negro Ochavo, Spanien
Gabbro	SS, Schweden

Vulkanite	(Tiefengestein-Entsprechnung)
Rhyolit	Bimsstein, Obsidian (Granit)
Trachyt	(Syenit)
Andesit	(Diorit)
Basalt	Diabas, Basalt (Gabbro)

Sedimente

Mechanische Sedimente
Chemische oder biogene Sedimente

Mechanische Sedimente

Brekzie	Arzo TI
Konglom.	Nagelfluh, Napf BE, Vert des Glacier (Verrucano?)
Sandstein	Krauchtal BE, Guntliweid ZH, Staad SG, Leeholz (SG)
Tonschiefer	Elm GL

Chemische Sedimente

Jura-Kalkstein	Solothurn, Laufen BL(biogen)
Muschelkalk	Estavayer FR, Mägenwil AG (biogen)
Süsswasserkalk	Travertin, Kalktuff
Gipsstein	Alabaster

Metamorphite

Marmor
Paragneis (aus sandig-tonigen Sedimenten)
Orthogneise, z.B. Augengneis (direkt aus magmatischem Gestein)

Serpentinit	" "
Amphibolit	
Orthogneis	Andeer GR
Paragneis	Maggia TI
Serpentinit	Poschiavo Serpentin GR
Quarzit	Vals GR
Marmor	Cristallina TI

Aus den Gesteinen werden in Magmanähe zunehmend Komponenten herausgeschmolzen. Die Erstschmelzen sind granitisch.
Migmatite: Mischgesteine aus Para- und Orthogneisen

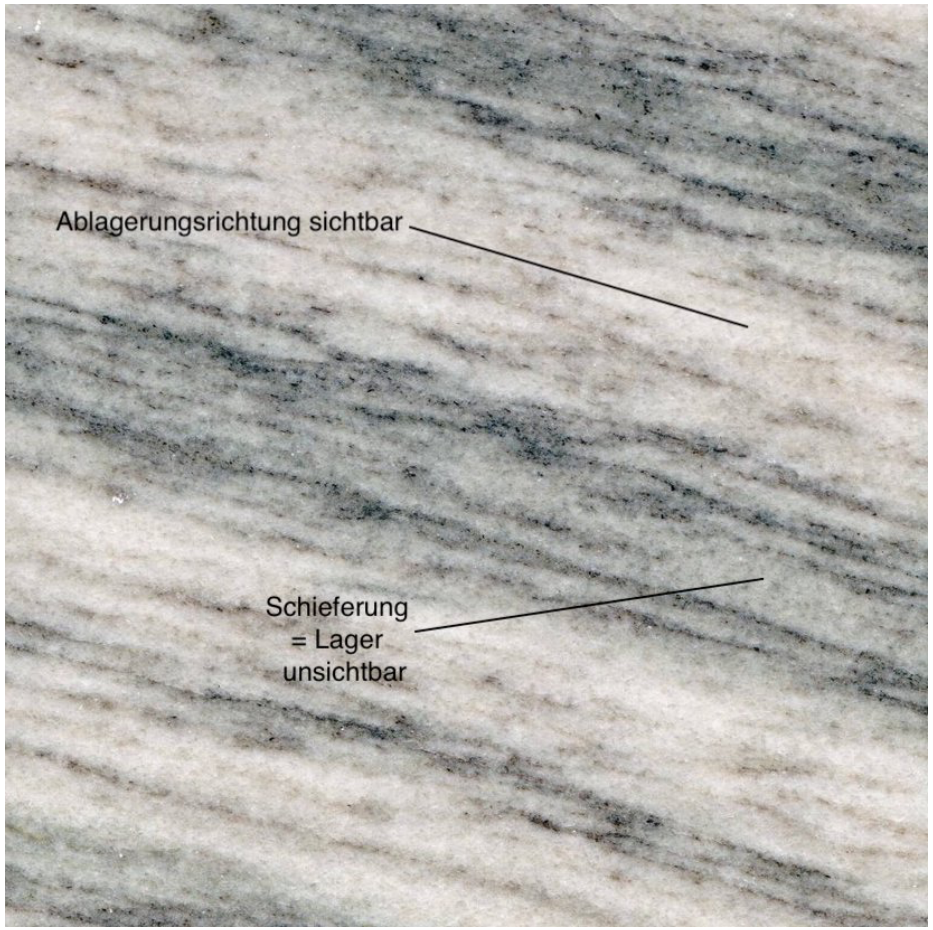


Brekzie: Kantige **Bruchstücke**.



Konglomerat: Im Gletscher oder Bach gerundete **Kiesel**

Der Geologe unterscheidet zwischen **Lager** und **Schieferung**.
Bei Sedimenten entspricht das Lager der Ablagerungsrichtung, welche durch die unterschiedlichen Bestandteile mehr od. weniger gut sichtbar ist.
Bei den Metamorphiten entspricht die Schieferung, welche durch Scher-Drücke entsteht, dem Lager. Diese hat eine andere Ausrichtung als die durch unterschiedliche Bestandteile sichtbare Ablagerungsrichtung.



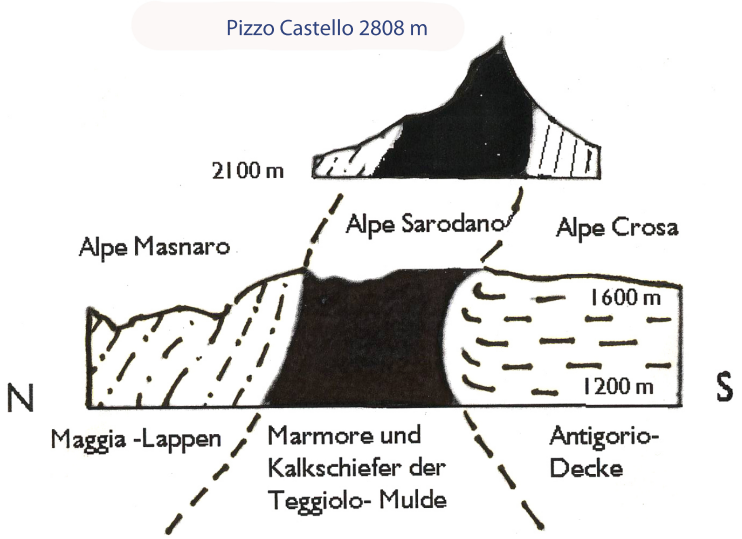
Cristallina Marmor aus biogenem Kalkstein

Vorkommen und Abbau, Lager im Steinbruch und in Riveo

Die Umwandlung (Metamorphose) von Kalkstein in Cristallina Marmor fand vor der Gebirgsbildung statt. Dabei verwandelten sich fein kristalliner Kalk und Schalenbruchstücke von Meeres-Organismen in gross kristallinen Marmor. Dazu waren ein, einer mächtigen Überdeckung mit 3 – 5 km Sedimenten entsprechender Druck und Temperaturen von mehr als 500 °C notwendig.
Der Cristallina Mamor stammt wahrscheinlich von riesigen Blöcken, die während der Verfestigung im Meer einen Abhang hinuntergerutscht sind und dabei noch verformt wurden.

Während der Bildung der Alpen, fuhr die über 3 km mächtige Gneisdecke (Para-Quarzit) des Maggia-Lappens über die Marmorzone hinweg und legte sich zwischen diese und den Südfuss des Gotthardmassivs. Hernach stiess von Süden eine noch mächtigere hauptsächlich aus Granitgneisen (Orthogneis) aufgebaute Gneisdecke, die Antigoriodecke, bis an den Südrand der Marmorzone vor und stellte diese steil. Dadurch und als Folge gleichzeitig stattfindenden Erosion gelangte der Marmor an die Oberfläche. Neben dem Calcit-Marmor Vorkommen sind auch lange Bänder von Dolomit-Marmoren bis nach Domodossola feststellbar, die einen teilweise höherem Quarzanteil aufweisen.

Der großkristalline Marmor von Peccia zeichnet sich durch Transparenz aus, die bei dünnen Platten sichtbar wird. Das an sich weiße Kalkspat wird durch Metalloxid-Spuren gelblich, rötlich (Fe), oder violett-rosa (Co), grünlich(Cr) oder grau (C = organischen Ursprungs) gefärbt und strukturiert
Cristallina Marmor gibt es in den Sorten : geädert, gestreift, gemasert, getigert, geflammt, geblumt, getupft, gebändert, gewolkt, gemuschelt.
Begleitmineralien sind: Granat, Disthen, Staurolith



Die durch den technischen Fortschritt bei der industriellen Verarbeitung in den letzten Jahrzehnten erzielte preisgünstigere Produktion von «Architektur-Marmor» macht ihn wieder zunehmend für die Anwendung am Bau attraktiv. Beispiel: 2007 Fassadenverkleidung von 1500 m^2 an der ETH in Zürich.
Dank Homogenität, guter Bearbeitbarkeit und spannender Textur ist Cristallina-Marmor auch als Bildhauermaterial sehr beliebt.

Seit 2011 besitzt die Firma Maurino Graniti aus Biasca die Abbaurechte im Steinbruch. Wegen der Attraktivität von hellem, großkristallinem Material (Virgino,) baut die Firma zurzeit wieder im unteren Bruch ab.
Der Abbau erfolgt auf drei Etagen, in kombinierten Verfahren: Schrämen, Kurzseilschnitt, Bohren mit Lafetten. Es entstehen Kavernen, die zu einem späteren Zeitpunkt verbunden werden sollen.

Steingewinnung

Abbauwürdige Steinvorkommen verlangen eine der Lage und den Material-Eigenschaften entsprechende Abbautechnik.



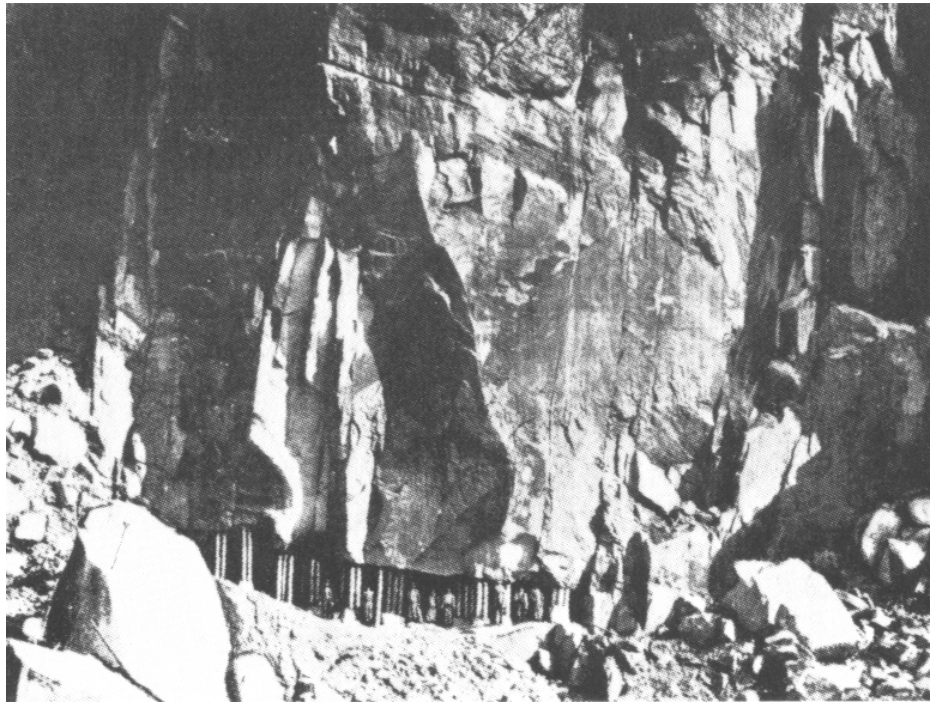
Bärlocher, Plattensandstein-Abbau in Staad

Die älteste Abbaumethode ist die Keilspaltung. Für diese Technik muss ein Block an mindestens vier Flächen freiliegen. Metallkeile werden in langen Reihen in vorher geschlagene Rillen oder Löcher hineingetrieben um so den Block abzusprengen. Bei den früher verwendeten Holzkeilen setzte man geschickt die Dehnkraft von Holz bei Wasserzugabe ein. Man kennt Kantkeil- und Rundkeilspaltung, mit oder ohne Federkeilen.

Die so genannte Hydraulikspaltung ist eine modernere Abbauart. Dabei werden wenige Hydraulikspaltkeilen bei einem Öldruck von bis 400 t in den Stein hineingetrieben.

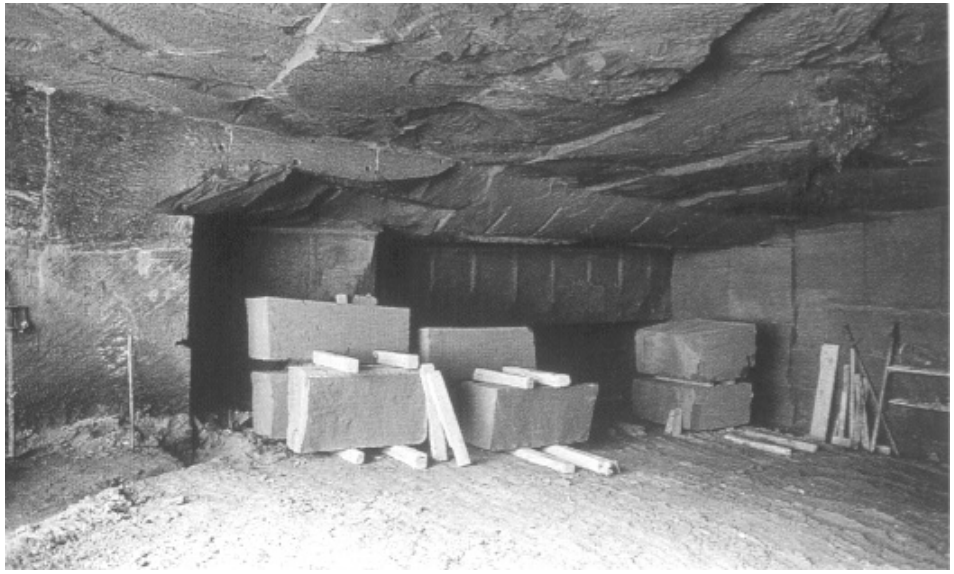
Weist das Gestein die zur Gewinnung von Blöcken erforderlichen freien Flächen nicht auf, müssen diese künstlich durch Einarbeiten von "Schramen", "Schlitzen" oder "Gassen" hergestellt werden. Früher erfolgte dies von Hand, heute machen riesige "Schrämmaschinen" diese Arbeit. Die an große auslegbare Arme befestigte und mit Diamantstahl besetzte Ketten, frisst sich in relativ kurzer Zeit in das Gestein.

Eine weitere Abbauart war seit der Antike das Unterhöhlen von Felsen. Noch um die vorletzte Jahrhundertwende arbeitete man unter dreiseitig freistehenden Felsen einen übermannshohen Hohlraum aus und stützte ihn mit Holzpfählen ab. War die Unterhöhlung tief genug in den Stein getrieben, wurden die Stützen mit weggesprengt, sodass der nunmehr freistehende Felsen durch die eigene Last von der Felswand abriss (Sturzbau).
Abbaumethoden des 20. Jahrhunderts sind das Sägen mit Stahlseilen, zusammen mit Wasser Stahl- oder Quarzsand als Schleifmittel, das Bohren von Sprenglöchern & Absprengen mit Schießpulver oder Dynamit, das moderne Schrämverfahren und das Brennstrahlverfahren.



Sturzbau in einem Steinbruch um 1905

Die Zahl der Steinbrüche hat in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen.
Neuanlagen von Steinbrüchen sind selten geworden da ihre Erschließung sehr teuer ist. Um das Risiko gering zu halten, müssen vor dem Errichten einer Neuanlage umfangreiche Abklärungen über die zu erwartende Ausbeute getroffen werden.



Kavernen. Untertag-Abbau von Berner Sandstein in Krauchthal.



Bohrtechnik in einem Granitsteinbruch. Spalttechnik mit Sprengstoff.



Abbautechnik im Cristallina-Steinbruch

Der Abbau findet je nach Situation auf 50 – 100 m langen Terrassen von ca. 7 x 7 statt. Früher wendete man die Loch-an-Loch-Bohrtechnik (Sprengmittel: Schwarzpulver) an und Stahlseilsägen (Drilldraht mit Kieselsand) um Blöcken von bis zu 170 t vom Fels zu trennen. Heute steht für einen ökonomischeren Abbau ein diamantbestücktes, 50 m langes Kurzseil, mit einer vielfach größeren Schnittleistung zur Verfügung. Der Facharbeiter bestimmt die Dimensionen eines Blockes anhand der örtlichen Färbung und den vorhandenen, natürlichen Defekten.

Von der Bankbasis her wird ein Loch (neuerdings nicht mehr 20 cm Kernbohrung sondern nur noch normales Bohrloch von ca. 5 cm Durchmesser) waagrecht nach hinten gebohrt und von der oberen Ebene der Bank senkrecht nach unten, wo sich beide Kanäle treffen müssen. Es lässt sich darauf eine Schnur einblasen und dann das Diamantseil einführen.
Dieses schneidet sich, von einem Elektromotor auf einem Gleitschlitten angetrieben, unter einer auf die Härte des Felsens abgestimmten konstanten Spannung, wassergekühlt durch den Stein. Mit einer Schnittleistung von 3 – 4 m^2/h. kann der Block mit weiteren Schnitten an der Basis und entlang der Rückwand vom Fels getrennt werden.







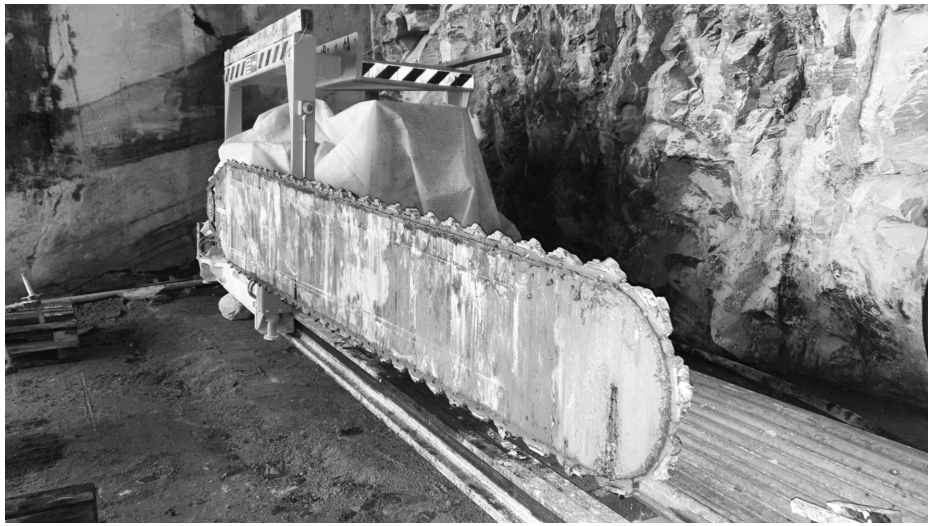
Diamantseilschnitt-Technik im Cristallina-Bruch.
Anschließend kippt der Block, von aufgepumpten Eisenkissen und hydraulischen Pressen gestoßen, aus der Wand. Der Block zerfällt dabei an "defekten" Stellen.

Die herausgeschnittenen Blöcke werden, wenn nötig nochmals mittels Bohrungen oder durch weitere Seilschnitte in transportierbare, 20 bis 30 Tonnen schwere Teile zerlegt. Mit einem Lastwagen gelangen die Blöcke schließlich zum Zwischenlager der Firma Maurino Granitin, in Riveo. Zu kleineren Blöcken oder Platten verarbeitet werden sie in Biasca.

Abbau in der Caverne



Untertag-Abbau findet unabhängig von der Witterung statt. Die zusätzliche Abbau-Richtung - bergwärts - ermöglicht eine präzisere Materialwahl und eine höhere Ausbeute (%-Anteil fertige Blöcke/Abfall).



Schrämen ist eine wirtschaftliche und schonungsvolle, der Holzgewinnung verwandte Abbautechnik. Die wassergekühlte, diamantbestückte Kettensäge, mit einer Lanze von mehreren Metern Länge, wird dabei in den Stein getrieben.

Steinlager und Weiterverarbeitung von Blöcken auf dem ehemaligen Fabrikgelände der Cristallina SA, Peccia TI

Nach dem Verkauf eines großen Teils der Lagerbestände der Cristallina SA an die Firma Graniti Maurino SA, Biasca, nutzt die Scuola di Scultura einen Teil des alten Firmengeländes als Lager und zur maschinellen Weiterverarbeitung von Blöcken. Der bestehende Laufkran und eine topmoderne Diamantseilsäge eröffnen für die Bereitstellung von Marmorschäften für Kurse und Kursteilnehmer neue Perspektiven.

Bei den Bänken häufig vorkommende Klüfte erschweren zwar einen wirtschaftlichen Abbau, machen aber manchen teuren Schnitt mit der Schrämmaschine überflüssig.



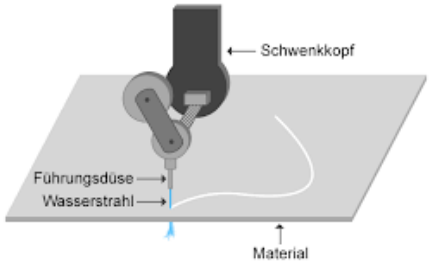
Industrielle Verarbeitung von Naturstein.

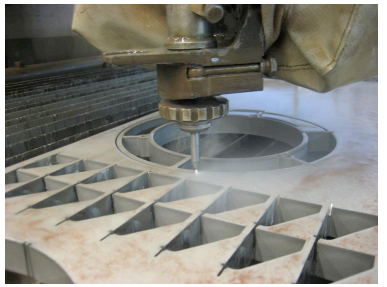


Schon die Ägypter entwickelten für die Verarbeitung von Alabaster Drehbänke. Griechen und Römer stellten auf riesigen Drehbänken Säulen aus Kalkstein her.
Seit der Erfindung der Kraftmaschine werden in der Natursteinverarbeitung elektrisch, pneumatisch und ölhydraulisch betriebene Apparate in grosser Zahl, für die unterschiedlichsten Arbeiten eingesetzt.

Abbau und Zerteilen:

- Bohrhammer (spalten oder sprengen)
- Kurz-Seilsäge
- Profilseilsäge
- Gattersägen mit geraden Sägeblättern
- Kreissäge mit runden Sägeblättern
- Schrämen
- Hochdruck-Wasserstrahl-Schneideverfahren. Weiches bis sehr hartes Material (Stein, Stahl, Hartschaum), bis 300 mm dick, wird mit reinem Wasser oder mit Zusatz von Abrasiv bei einem Druck von 4000-6000 bar geschnitten.



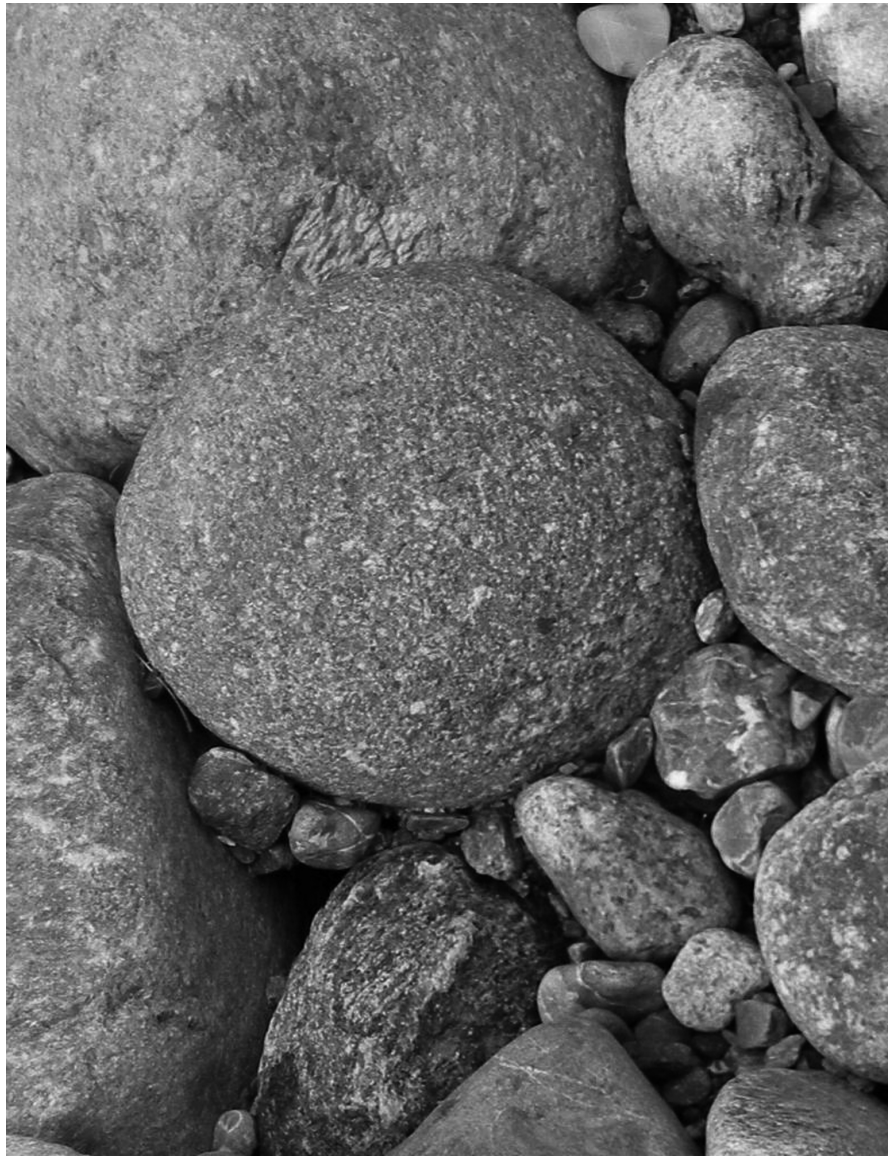


Heben und Transportieren:

- Laufkran
- Bock und Portalkran
- Schwenkkran
- Dreibein
- Winde
- Gabelbagger



Mobiler Portalkran bis 1t Last



Flußstein-Alter und -Gefüge

Flußsteine werden auch Kiesel oder Gwäggi (baslerisch) genannt. Wir finden sie in Ablagerungsgebieten von Gletschern und Flüssen.

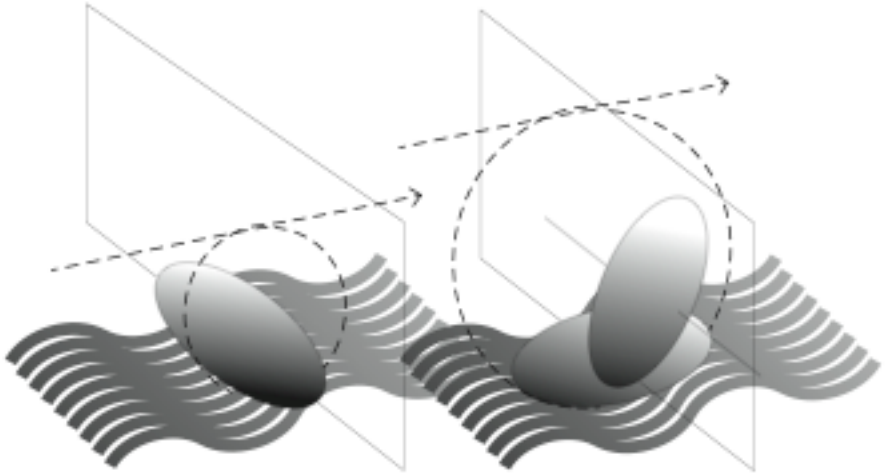
Durch Erosion entstandenes Bruchmaterial wird von Gletschern und von Flüssen in bis zehntausenden Jahren, viele Kilometer verfrachtet. Haushohe, gerundete Findlinge, Flußsteine unterschiedlichster Grösse und Sand, sind das Ergebnis dieser Bewegungen. Nach technischem Abbau wie im Marmorbruch von Peccia schiebt oder rollt der Fluss bei Hochwasser die Resten des Abbaus hunderte Meter bis Kilometer weit. Dabei wird es „Geröll“ von sehr unterschiedlicher Grösse:

Allgemein sind Flußsteine aus kristallinem Material, aus Sediment oder aus metamorphem Material. Sediment-Kiesel sind im Zyklus der Gesteine schon einmal den Weg über Flüssen oder Gletschern gegangen (bzw. gerollt).

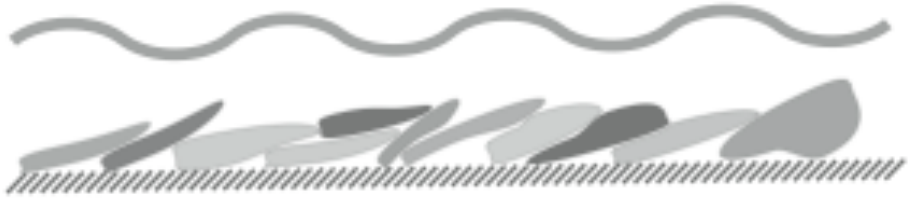
Die vertikale und horizontale Gefügedichte eines Steines sind bei der beim Gletscher- oder Flußtransport entstehenden Verformung eines Steines maßgebend.

Bevorzugte Vorwärtsbewegung von Geröll im Fluss: quer liegend

Ausnahme-Vorwärtsbewegung von Geröll im Fluss: längs liegend



Dachziegelartige Ab- und Anlagerung der plattigen Steine auf einer Kiesbank.



Flussteine-Formen

Beim Rollen reiben die Steine aneinander, Sand beschleunigt den Abschleifungsprozess zusätzlich. Messungen haben ergeben, dass sie je nach Härte, nach folgenden Distanzen wie folgt verändert sind:
Zurundung:

- Kalk- und Sandsteine nach 1 – 5 km
- Granite, Gneise und Quarzite* nach 10 – 20 km

Volumen*:*
Bei mittelgrossen Steinen von einigen Zentimeter bis einigen Dezimetern wird das Volumen auf folgenden Distanzen halbiert:

- Kalk- und Sandsteine: 10 – 15 km
- Granite, Quarzite und Gneise: 100 – 300 km

Kugel oder Platte

Die Gesteinsart bestimmt die Form.
Granite, Quarzite, Verrucano, Kalke und viele Sandsteine nehmen eine kugelige Form an.
Gneise, Amphibolite, Plattensandsteine und dünnschichtige Kalke erhalten kreisförmige, plattige Gestalt.

Anordnung des Gerölls auf einer Kiesbank

Grössere Kiesel und Geröll transportiert der Fluss vorwiegend rollend auf dem Flussbett. Kleinere Steine werden bei Hochwasser hüpfend, zeitweise schwebend verfrachtet.
Wenn die Transportkraft des Wassers nachlässt, kommen das Geröll mit deutlicher Längsachse quer zur Fliessrichtung des Wassers zur Ruhe. Plattiges Geröll erfährt eine dachziegelartige Anordnung (Geomorphologie).

* Quarzit = metamorph. Fast ausschliesslich aus Quarzsand bestehendes, ursprünglich sedimentäres Gestein.

2023 Ausrüstung, Werkzeug, Literaturhinweise

Persönliche Ausrüstung:

- Kleidung für jede Witterung (Arbeitskleider)
- Arbeitshandschuhe
- Sonnen- und Schutzbrille
- Gehörschutz
- Handgelenk-Stützbinden (elastischer Verband)
- Pflaster
- Gutes Schuhwerk
- Arbeitstagebuch (WBK obligatorisch), Schreibzeug, Fotoapparat
- Sonnenschutz (Hut, Créme Schutzfaktor, Sonnenbrille)

Werkzeug, Hilfsmittel:

- Spickschnur
- Bohrhämmer, passende Federkeile (lange, kurze, versch. Durchmesser)
- Hebeisen lang, kurz
- Geissfuss
- Kanthölzer, lange, mittlere und kurze
- Lochwalzen gross
- Hartholzwalzen klein, mittlere
- Dachlatten, Doppellatten
- Holz-Keile
- Stockwinden, mit automatischer Rücklaufbremse
- Hand-Werkzeug für Steinbearbeitung, Knüpfel, Stahlhammer
- Zahneisen, Spitzeisen, Schlageise, Steinhauerstift, Doppelmeter
- Eisenwinkel, Richtlatten
- Steinhauerbleistifte
- Kompressor-Spitzhammer

Exkursionen:

Steinbruch, Cristallina SA. (Über Mittag, mit Lunch)

Literatur :

- Doku. Steinarbeit *basics*
- Geologie, Labhardt
- Stein-Restaurierung, Wihr
- Der Steinmetz und der Steinbildhauer 1 und 2
- Mineralien und Gesteine
- Natursteinlexikon
- Eine Stadt wie Rom
- Geologie und Plattentektonik
- Geologie der Schweiz, Karte
- Spektrum. Geodynamik und Plattentektonik
- Die Geologie der Alpen aus der Luft
- Vom Bauen zwischen Gesetz und Freiheit
- Steinmetz

Multimedia:

- La strada del marmo
- Klangsteine, A. Schneiter
- Abbau in Peccia
- Lago Montagna, Trailer

H. Beer, März 2023