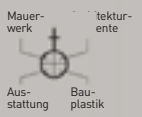
Kulturgüter in Tirol

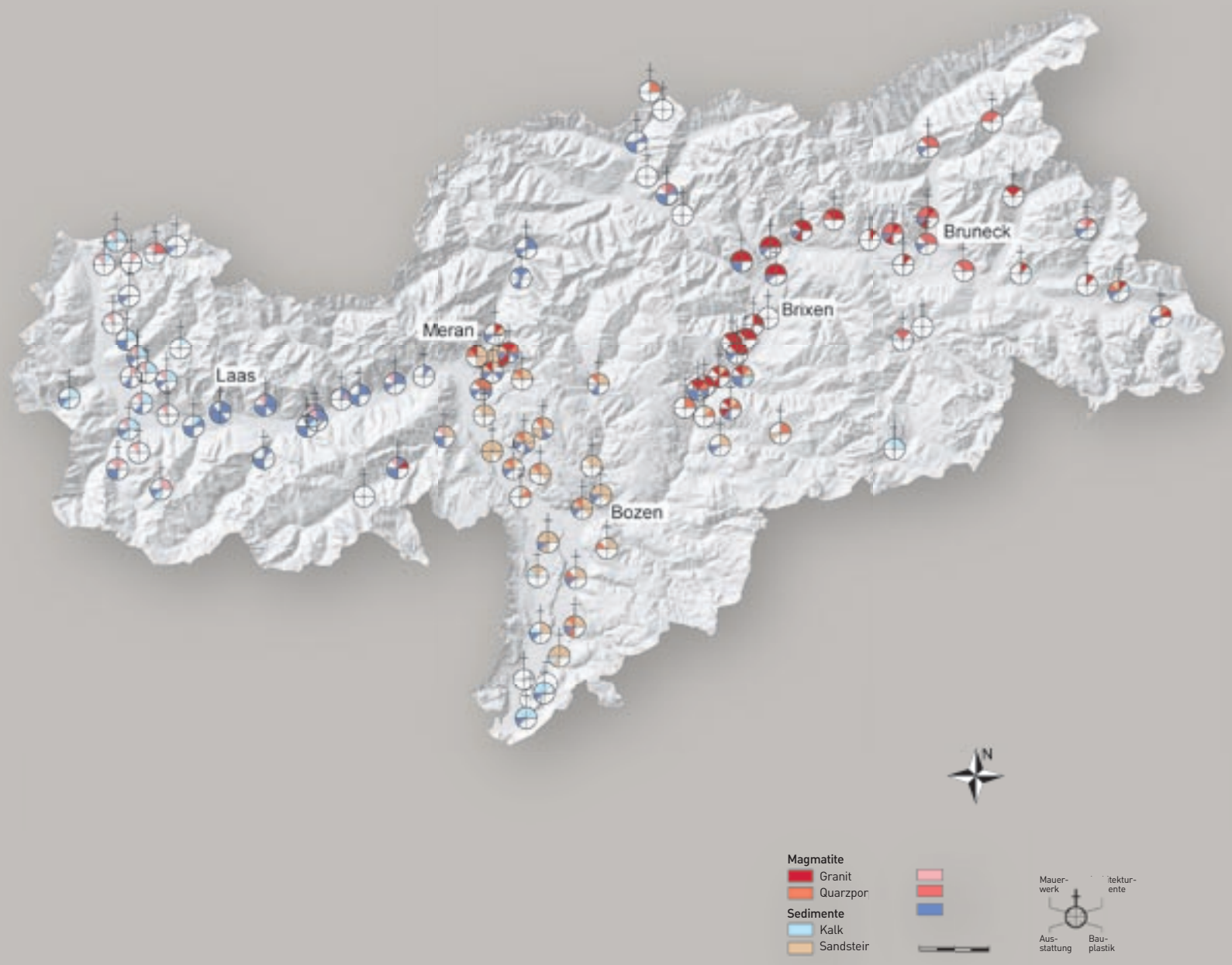
Naturwerkstein und Denkmalpflege in Tirol

Stein als Baustoff, Forschungsobjekt und Kulturgut

Höttinger Breccie
Breccie
Konglomerat
Kalktuff
Kalkstein
Kalkstein Typus Hagau
Knollenkalk
Rotkalk
Kalkbreccie Kramsach
Kalkbreccie Imst
Sandstein
Kristallin
Gneis
Marmor



Gesteinsinventar Nordtirol (Franzen, Bidner & Mirwald, 2001) (Kartengrundlage tiris)



dtirol (Franzen, 2002) (Kartengrundlage tiris)

Seit 1990 existiert am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck unter der Leitung von Herrn o. Univ. Prof. Dr. Peter W. Mirwald eine Arbeitsgruppe, die sich schwerpunktmäßig mit materialwissenschaftlichen Bestandsuntersuchungen an Objekten, der Charakterisierung historischer mineralischer Baumaterialien und Untersuchungen zu den Verwitterungsmechanismen von Bausteinen beschäftigt.
Die Arbeiten sind besonders eng mit den Regionen Tirol und Südtirol verbunden, was sich sowohl bei der Auswahl von bearbeiteten Objekten und Fragestellungen als auch in der Zusammenarbeit mit den Denkmalpflegern, Bauforschern und Restauratoren beider Länder zeigt.

IMPRESSUM
Die Broschüre „Naturwerkstein und Denkmalpflege in Tirol" erscheint als Nr. 7 der Reihe „Kulturgüter in Tirol"
Herausgeber: Tiroler Kunstkataster/Abteilung Kultur im Amt der Tiroler Landesregierung, HR Dr. Herta Arnold, Mag. Karl Wiesauer
Konzept: Ulrich Obojes
Redaktion: Herta Arnold, Ulrich Obojes, Karl Wiesauer
Layout: nuovoline Werner Niederkircher, Innsbruck
Druck: Alpina Druck, Innsbruck
© 2007

Inhalt

Naturstein an historischen Objekten 2
Regionale Geologie 4
Gesteinskreislauf 6
Wichtige Naturwerksteine im Tiroler Raum 8
Gesteinsinventar und Steinprovinzen in Süd-, Nord- und Osttirol
Magmatische und Metamorphe Gesteine 10
Sedimentgesteine 18
Verwitterungsverhalten von Naturbausteinen 32
Brandverhalten von Naturbausteinen 36
Historisches Steinmauerwerk 38
Naturbausteine an einem Objekt 44
Burgruine Kropfsberg
Naturbausteine an einem Ensemble 46
Altstadtkartierung von Hall in Tirol
Artefakte aus Marmor und deren Herkunftsbestimmung 48
Literaturnachweis 50
Autoren 52

Naturstein an historischen Objekten

Viele der historischen Bauwerke und Kunstobjekte weltweit sind aus Naturstein. Die Erforschung der Gesteinsvorkommen, der Gesteinsverwendung und der materialtechnischen und petrophysikalischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteine stellt daher einen Beitrag zur Erhaltung dieser Kulturgüter dar. Neben genauen Grundlagenuntersuchungen ist es Ziel der Naturwissenschaftler, auch mit Denkmalpflegern, Kunsthistorikern, Architekten, Bauingenieuren, Restauratoren und Steinmetzen zusammenzuarbeiten, um die bestmöglichen Maßnahmen zum Erhalt des kulturellen Erbes treffen zu können. Für die Region Tirol und Südtirol ist dies ein besonderes Anliegen. Die Vielfalt der Gesteine in dieser Alpenregion ist beträchtlich, ihre Verwendung über 2000 Jahre lang als Werkstoff hat ein großartiges kulturelles Erbe hervorgebracht.

Ein Naturstein ist, im Gegensatz zu vom Menschen hergestellten Werkstoffen, ein durch geologische Prozesse gebildetes Material. Diese Steine können sowohl aus dem Steinbruch, als auch Rollsteine und Kieselsteine aus Flussläufen oder durch Gletscher transportierte Findlinge (oder ähnliches) sein.

Der Werkstoff Naturstein wird schon seit der „Steinzeit" für Werkzeug und Waffen, aber vor allem als Baumaterial verwendet. Heutzutage sind Gesteine wichtige industrielle Rohstoffe; sie sind von größter Bedeutung im Baubereich (Schotter, Zementherstellung, Baustein, Treppen, Fassadenverkleidungen, Baudekor, Plattenbeläge, Strassenbau) so wie in der Bildhauerei (Skulpturen, Monumente, Brunnen, Installationen). Wird der Naturstein nicht als Zuschlagstoff in grober oder gemahlener Form, z.B. für Beton, bei Farben oder pharmazeutischen Produkten (Kosmetika, Tabletten), sondern in seiner ursprünglichen Form benutzt, bezeichnet man ihn als Naturwerkstein. Das Aussehen (Farbe, Oberflächenstruktur) sowie das mechanische und verwitterungsmäßige Verhalten der Natursteine sind abhängig von den Eigenschaften der gesteinsaufbauenden Mineralien, dem Mineralgefüge und den Porenraumeigenschaften.

Die Vielfältigkeit des Rohstoffes Naturstein in Farbe und Oberflächenstruktur ergibt einen sehr großen Spielraum für verschiedenste Anwendungen und Verwendungen. Ein Bereich, wo sich dies aufs Eindrucksvollste zeigt, sind historische Bauten, die zu den wichtigsten kulturellen Dokumenten der Menschen zählen und, regional betrachtet, eine „Visitenkarte" des jeweiligen Landes darstellen.

Abb. 1: Verwendung unterschiedlicher Naturbausteine für das Mischmauerwerk an der romanischen Stiftskirche von Innichen: Die Architekturelemente und Dekorsteine des Portals sind größtenteils aus Sandstein, daneben weißer Marmor und grauer Gneis (Türstock).

Abb. 2: Portal der Pfarrkirche von Steinach am Brenner aus Kalktuffen, Kalken und Gneis.

Regionale Geologie

Der Alpengürtel ist ein Gebirge, das sich von Ostfrankreich über die Schweiz, Norditalien und Österreich bis hin nach Slowenien erstreckt. Die Alpen sind ein Teil des großen europäischen Gebirgssystems, das durch die Kollision einer südlichen, afrikanischen Platte mit einer nördlichen, eurasischen Platte und der Abschiebung (Subduktion) dazwischen liegender ozeanischer Erdkruste und kleinerer kontinentaler Platten (Adriatische Platte etc.) in die tiefere Erdkruste gebildet wurde. Die Gebirgsbildung der Alpen ist somit die Folge des Einengungsvorgangs eines Teilbereiches des Beckenareals zwischen Europa und dem gegenüber liegenden Teil Afrikas. Diese Kollision begann vor 65 Millionen Jahren (Kreidezeit) und erfolgte in mehreren Hauptphasen bis etwa vor 1,7 Millionen Jahren. Dass die gebirgsbildenden Prozesse bis heute anhalten, ist aus dem relativ häufigen Auftreten von Erdbeben zu erkennen.

Der Alpenkörper wird in vier große West-Ost verlaufende geologische Haupteinheiten gegliedert: das Helvetikum als nördlichste Einheit, das Penninikum, das Ost- und Südalpin. Das im nördlichen Bereich der Alpen gelegene Helvetikum, das dem Schelfbereich des ehemaligen Nordkontinents entspricht, tritt heute vor allem in der Schweiz auf. In Resten findet sich diese Einheit auch am Nordrand der Ostalpen (z.B. südlich von Murnau/Oberbayern). Das Penninikum entspricht den ehemaligen ozeanischen Bereichen des Tethysmeeres südlich des helvetischen Schelfbereichs. Es findet sich heute in den Ostalpen in Form von geologischen Fenstern, die unter den ostalpinen Decken (s.u.) hervorkommen und von denen die Größten das Tauernfenster östlich des Brenners und das Engadiner Fenster sind. Das Ostalpin und das Südalpin waren dagegen am ehemaligen Nordrand der afrikanischen Kontinentplatte beheimatet. Das Ostalpin hat in Form von großen tektonischen „Decken" einen weiten Transport nach Norden erfahren, große Teile wurden dabei über den penninischen Bereich hinweg bis auf das Helvetikum überschoben. Das Südalpin bildet den Südrand der Alpen. In den kristallinen Kerngebieten der Ostalpen befinden sich auch noch Reste einer zwischen dem nördlichen Ostalpin und dem Südalpin befindlichen Decke, z.B. das sog. Brennermesozoikum mit den Kalkkögeln und dem Tribulaunstock. Diese Nord-Süd-Anordnung der geologischen Haupteinheiten hat zur Folge, dass in Nordtirol vorwiegend Gesteine des Ostalpin und Penninikums anzutreffen sind, während in Südtirol flächenmäßig Gesteine des Süd- und Ostalpins überwiegen. Im Südalpin des Südtiroler Raumes kommen vorwiegend magmatische (Bozener Quarzporphyr), metamorphe (Brixener Quarzphyllit) und sedimentäre Gesteine (Dolomiten) vor. Im Ostalpin von Nordtirol herrschen dagegen metamorphe Gesteine südlich des Inntals und sedimentäre Gesteinsserien nördlich davon (Kalkalpen) vor. Eine große tektonische Störungszone, die sogenannte Periadriatische Linie, trennt das Ostalpin und den zentralalpinen Bereich vom Südalpin. Diese Störungslinie verläuft aus dem Osten kommend im Bereich des Gailtales, des Pustertales hinüber nach Meran und setzt sich dann in südsüdwestlicher Richtung bis in die Gegend des Gardasees fort.

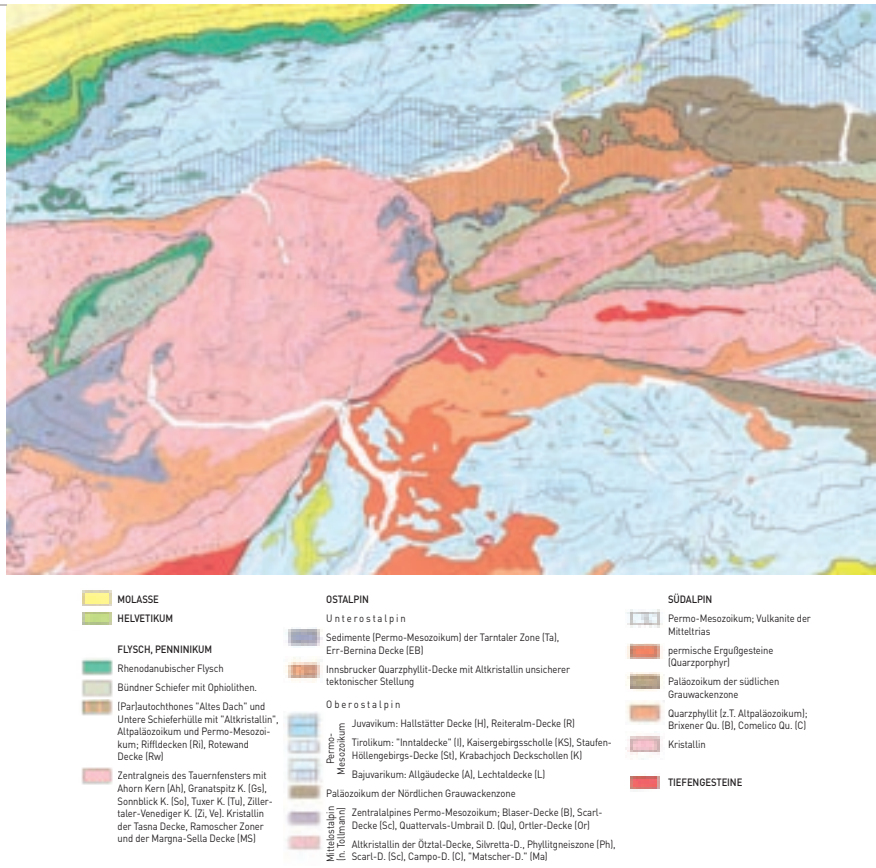
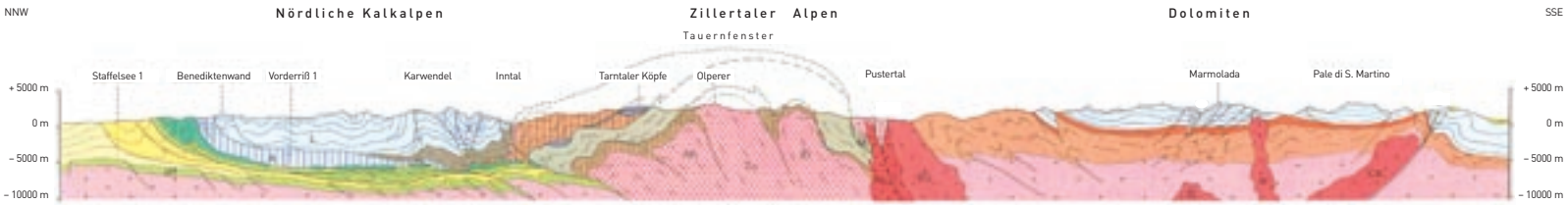


Abb. 3: Geologische Karte von Tirol und Südtirol nach Brandner, Beilage Tirol-Atlas, Maßstab 1:600.000, Institut für Landeskunde, 1980.



Gesteinskreislauf

Erdgeschichtlich betrachtet ist das Entstehen und Vergehen der Gesteine ein kontinuierlicher Prozess. Das Festland der Erdoberfläche besteht dabei zu ¾ aus Sedimenten und ¼ aus Magmatiten und Metamorphiten. Alle Gesteine, seien es Ablagerungsgesteine (Sedimente) oder Produkte glutflüssiger Magmen (Magmatite), oder Umwandlungsgesteine (Metamorphite), die aus noch älteren Gesteinen (Sedimente, Magmatite und ältere Metamorphite) unter hohem Druck und hohen Temperaturen in der Erdkruste gebildet wurden, stehen in einem großen Kreislauf von geologischen Prozessen.
Um Gesteine beschreiben zu können, sind zwei Kriterien von großer Bedeutung. Das erste ist die mineralogische Zusammensetzung eines Gesteins. Ein Gestein kann aus Körnern einer einzigen Mineralart (z.B. Marmor, Quarzit) oder aus einem Gemenge verschiedener Minerale (z.B. Granit) bestehen.
Mit einer Identifizierung der Minerale und dem Feststellen der relativen Mineralanteile ist ein erster Schritt einer Gesteinsbestimmung getan.
Das zweite Kriterium ist das Gefüge. Hierbei versteht man die Form, die Größe der gesteinsbildenden Minerale und ihre räumlichen Beziehungen zueinander. Daraus ergibt sich aus dem körnigen Aufbau der Gesteine, dass jedes Gestein notwendigerweise zwischen den Mineralkörnern einen Zwischenraum, eine Porosität aufweisen muss. Aus der Mineralzusammensetzung und dem Gefüge ergibt sich meist ein eindeutiger Hinweis auf die Entstehungsgeschichte des Gesteins.
Alle an der Erdoberfläche anstehenden Gesteine unterliegen der Verwitterung. Das freiliegende Festgestein wird durch physikalische, chemische und biologische Einwirkungen (Frostsprengung, Temperaturschwankungen, Lösungsvorgänge, biologische Aktivitäten) angegriffen. So entstehen ungeheuere Mengen an Gesteinsschutt, aus dem sich in der Folge auch Böden bilden. Meist werden die Böden und der Gesteinsschutt aus dem Erosionsgebiet durch Wassertransport in die Ablagerungsräume verfrachtet. Sind diese Ablagerungsräume – was in sehr vielen Fällen gegeben ist – ein Teilbereich eines Meeres, so bilden dort marine Organismen biogene karbonatische Sedimente (Schalenreste, Riffbildungen und daraus aufgearbeitetes Material aus Kalzit ($CaCO_3$) und Dolomit $CaMg(CO_3)_2$, der allerdings erst im Laufe der Gesteinsverfestigung (Diagenese) aus Kalzit entsteht).
Durch zunehmende Überlagerung und Absenkung des Untergrundes bzw. des Ablagerungsraumes gelangen die Sedimente in Tiefenbereiche mit höherer Temperatur und höherem Druck. Zunächst bildet sich aus dem Lockerschuttmaterial im Laufe der Zeit ein festes Ablagerungsgestein (Sediment). Bei noch weiterer Absenkung setzen mit zunehmender Temperatur und Druck Umwandlungsprozesse (Metamorphose) ein. Aus dem Altbestand an Mineralien entstehen hierbei durch chemische Reaktionen neue Minerale, welche unter den neuen

Abb. 4: Kreislauf der Gesteine

Druck-, Temperatur- und chemischen Bedingungen eine neue „stabile" Mineralgesellschaft (Paragenese) bilden. Bei noch weiterem Temperaturanstieg kommt es zu Aufschmelzungsprozessen und es bilden sich Magmen, welche vorwiegend granitischen Chemismus haben. Das glutflüssige Material hat aufgrund seiner relativ geringeren Dichte gegenüber dem festen Nebengestein die Tendenz, aus dem Bildungsbereich in höhere oberflächennähere Bereiche der Erdkruste aufzusteigen. Hierbei bleiben die Magmatite entweder als „Plutone" in der Erdkruste stecken oder erreichen als „Vulkane" die Erdoberfläche. Die Größe dieser Magmatite kann sehr unterschiedlich sein. Es gibt magmatische Gänge im Meterbereich und riesige Plutonkörper sowie Vulkane, die viele Kilometer groß sind. In den Alpen sind solche magmatischen Gesteine relativ häufig anzutreffen, ein Paradebeispiel wäre der Mont Blanc Granit in den Westalpen.
In den Ostalpen sind der Bergell-, Adamello-, Brixener-Ifinger-Granit die bekanntesten Beispiele für Plutone. Der Bozener Quarzporphyr ist ein eindrucksvolles Beispiel für eine vulkanische Bildung.
Sobald die Magmatite an die Erdoberfläche treten, unterliegen sie wie Sedimente und Metamorphite wiederum der Verwitterung und ein weiterer Kreislaufzyklus kann beginnen. Gesteine bilden also keine unveränderlichen geologischen Körper, sondern werden durch geodynamische Prozesse ständig verändert, verfrachtet und neu gebildet. Dieser Kreislauf, der sich im Bereich der ca. 35-60 km dicken Erdkruste abspielt, erhält fallweise magmatische „Injektionen" aus dem Erdmantel in Form von basischem Magma (Basalt), welche verglichen mit den relativ kieselsäure reichen Graniten (ca. 70 Gew. % an SiO_2-Komponente), relativ arm an Kieselsäure (ca. 50 Gew. % SiO_2-Komponente) sind. Diese basischen Magmen bilden ebenso wie die sauren granitischen Magmen plutonische oder vulkanische Gesteinskörper (wie z.B. die Vulkane auf Hawaii).

Wichtige Naturwerksteine im Tiroler Raum

Gesteinsinventar und Steinprovinzen in Süd-, Nord- und Osttirol

Im Bereich von Süd-, Nord- und Osttirol gibt es eine Reihe von Naturbausteinarten, welche eine relativ große Verbreitung haben und so das Erscheinungsbild von Dörfern und Städten prägen.
Von 1999 bis 2001 wurde am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck ein Forschungsprojekt durchgeführt, in dessen Rahmen eine Übersichtserhebung der Verteilung von historischen Naturwerksteinen an Sakralbauten im Mittelpunkt stand.
Durch diese Erhebung ergaben sich interessante Beziehungen zwischen der regionalen Geologie und der Verwendung von Natursteinen als historische Baustoffe. Daher orientieren sich die in Abb. 6 verwendeten Farben auch an den geologisch üblichen Kriterien und beziehen sich direkt auf die geologische Übersichtskarte von Tirol und Südtirol (Brandner, 1980). Für Südtirol ergibt sich nach Berücksichtigung der vorhandenen Natursteine an den untersuchten Bauwerken eine sehr charakteristische Verteilung des Gesteinsinventars (Franzen, 2002). Man kann Südtirol in mehrere Gesteinsprovinzen einteilen, wo bestimmte Gesteinsarten bevorzugt als Baustein Verwendung fanden. So können eine Granit-Gneis-Provinz im Pustertal und Eisacktal, eine Sandstein-Provinz im Etschtal und Südtiroler Unterland, eine Porphyr-Provinz im Raum Bozen-Meran und eine Marmor-Kalkstein-Provinz sowie eine Gneis-Provinz im Vinschgau unterschieden werden. Im Gegensatz hierzu zeigt die Gesteinsinventarisierung für den Bereich Nord- und Osttirol, dass bestimmte Gesteine nur im lokalen Bereich gebrochen und verwendet wurden. Besonders erwähnenswert sind hier die Höttinger Breccie bei Innsbruck, Rauhwacken im Raum Landeck, der Buntsandstein im Bereich Jenbach-Rattenberg, der Kramsacher und Hagauer „Marmor", Gneis im Bereich um Matrei in Osttirol sowie der Kalktuff im Raum Thiersee-Kufstein. Unter regionalen Gesichtpunkten war jedoch keine markante Einteilung in Gesteinsprovinzen möglich. Dies ist vermutlich auf die geographischen Gegebenheiten des Gebietes zurückzuführen. In Nordtirol stellt hierbei das West-Ost verlaufende Inntal einen guten Transportweg dar und lieferte einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung und Vermischung der verschiedenen Gesteinsvorkommen.

Abb. 5: Kirche zum Hl. Apostel Petrus in Auer. Das Portal und ein Großteil der Architekturelemente sind aus Grödener Sandstein errichtet. Das Mauerwerk ist aus Grödener Sandstein und Bozener Qaurzporphyr errichtet worden, Taufbecken und Teile der Ausstattung sind aus Marmor.

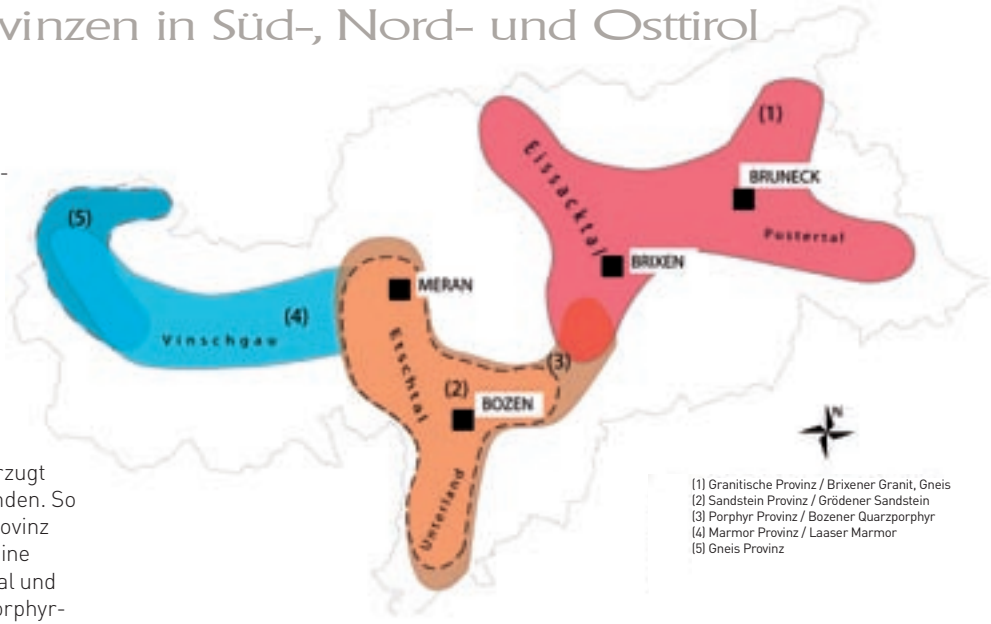


Abb. 6: Bausteinprovinzen für sakrale historische Gebäude in Südtirol (Franzen, 2002)

Abb. 7: Pfarrkirche Mariae Himmelfahrt in Landeck. Die weithin sichtbare, gelbliche Rauhwacke ist der bestimmende Baustein dieser Pfarrkirche.

Magmatische und Metamorphe Gesteine

Granit

Der Brixener Granit (vor ca. 280 Millionen Jahren entstanden) bildet zusammen mit dem Ifinger- und Kreuzberg Granit eine relativ große Gesteinsprovinz in Südtirol. Hier ist ein saures, granitisches Magma in der Tiefe langsam erstarrt (Pluton), sodass sich bei der Kristallisation meist gleich große Minerale ausbilden konnten, die zudem relativ gleichmäßig verteilt sind.
Die Hauptmineralkomponenten dieses granitischen Gesteins sind glasig erscheinender Quarz, meist weißlich erscheinender Feldspat, der zudem häufig eine sehr gute Spaltbarkeit erkennen läßt („Spat") und Glimmer, der an seiner Form von hochglänzenden Blättchen zu erkennen ist. Dieser Aufbau gibt dem Gestein ein helles, leicht gräuliches, massiges Gesamtaussehen. Der Granit ist ein sehr festes Gestein, das sich auch gegenüber Verwitterungseinflüssen sehr resistent zeigt. Der Dom von Brixen, die Kirche Maria Himmelfahrt in Feldthurns, die Burgruine der Mühlbacher Klause und die Herz-Jesu-Kirche von Franzensfeste sind typischen Bauwerke mit verbautem Brixener Granit. Leicht zugängliche Aufschlüsse dieses Gesteins in der Natur finden sich bei Franzensfeste und der sog. Saxenklemme bei Brixen. Hier steigen zu beiden Seiten des Tales hohe Granitfelsen empor.

Abb. 8: Pfarrkirche Maria Himmelfahrt in Feldthurns aus Brixener Granit.

Abb. 9: Herz-Jesu-Kirche von Franzensfeste, aus Brixener Granit erbaut.

Abb. 10: Festung Nauders am Reschen / Granitgneis und Bündner Schiefer sind die Hauptbausteine.

Quarzporphyr

Erreichen Magmen von granitischem Chemismus die Erdoberfläche, entstehen vulkanische Gesteine. Ein solches Gestein ist z.B. der weithin bekannte rot-braune, gelegentlich sogar violett- grünliche Bozener Quarzporphyr. Der Bozener Quarzporphyr ist im Unterperm (275 – 255 Millionen Jahre) entstanden.
Dieses Gestein ist charakterisiert durch die feinkörnige, manchmal sogar glasige Hauptmasse, in der vielfach einzelne Kristalle von Quarz, Feldspat und Glimmer „schwimmen". Dieses Gefügebild bezeichnet man als porphyrisch. Das nördliche Trentino und der Bozener Raum werden von diesem vulkanischen Gestein geprägt. Bereits mit dem freien Auge lassen sich glasig erscheinender rundlicher Quarz, meist weißliche Feldspatleisten und glänzende Glimmerblättchen unterscheiden, welche die charakteristische Mineralgesellschaft eines Granit-Gesteins repräsentieren. Die feinkörnige Grundmasse des Porphyrs ist chemisch gesehen ebenfalls von

Abb. 11: Steinbruch von Bozener Quarzporphyr in der Nähe von Bozen-Überetsch.

gleicher granitischer Zusammensetzung. Eigentlich sollte damit das Gestein hell wie Granit sein. Aber eine geringe Menge an fein verteiltem Eisenoxid verleiht dem Gestein seine charakteristische rötliche Farbe. Das porphyrische Gefüge spiegelt den Gesteinswerdungsprozess wider: Die Einsprenglinge kristallisierten bereits in der Magmenkammer oder während des Aufstiegs an die Erdoberfläche. Die feinkörnige Grundmasse zeigt an, dass die Hauptmasse des Gesteins aber noch als flüssiges Magma an die Erdoberfläche gefördert wurde und dort sehr rasch abkühlte, was dazu führte, dass es entweder als Gesteinsglas und/oder in Form eines feinkristallinen Gesteins erstarrte.
Für den Betrachter von Bauwerken aus Porphyr erscheint das Gestein massig und von meist rötlicher Farbe; gelegentlich kommen hellere, aber auch grünliche Farbvarietäten vor. Dieses Material ist aber nur ein ausgewählter Teil aus der Vulkanitabfolge des Bozener Phorphyrs, der aus einer Abfolge von sauren bis intermediären Laven, Ignimbriten (Glutwolkenbildungen), vulkanischen Tuffen (Gesteinsasche) und pyroklastischen Breccien (Lapilli bis Bomben) besteht. Heute erstreckt sich der Bozener Quarzporphyr über eine Fläche von rund 2.000 km^2.
Die ursprüngliche Ausdehnung dieses Vulkangebiets wird auf etwa 4.000 km^2 geschätzt. Bei Bozen und am Eingang ins Sarntal, wo die mächtigen Steilwände in den Talflanken von Quarzporphyr gebildet werden, erreicht diese Vulkanitserie eine Mächtigkeiten von bis zu 2.000 m.
Der Quarzporphyr ist in Nord- und vor allem in Südtirol sowohl als Mauerwerksmaterial in Füllungen, als Quadersteine wie auch als architektonisches Element (Portale, Portalsäulen, Fensterlaibungen und Gesimse) häufig zu finden. Weiters ist das Gestein wegen seiner Robustheit und Härte in ganz Europa als Pflaster- und Plattenstein sehr begehrt. Typische Bauwerke aus oder mit Bozener Quarzporphyr sind die Pfarrkirche von Branzoll und die Kirchen von Terlan und Hafling in Südtirol. Als Beispiel für den Einsatz im Bereich der architektonischen Elemente kann die Pfarrkirche von Barbian angeführt werden.
Schulz (1980) nennt in seinen Begleittexten zum Tirol-Atlas über 40 Steinbrüche von Bozener Quarzporphyr, die über den Großraum Bozen, Etsch-, Eggen- und Cembratal verteilt liegen und teilweise seit Jahrhunderten in Betrieb sind. Diese Begleittexte zum Tirol-Atlas von Schulz (1980) sind besonders wertvoll, da neben den Steinbrüchen des Bozener Porphyrs auch eine Fülle von Vorkommen und Brüchen der anderen in Nord-, Süd- und Osttirol verwendeten Naturwerksteine aufgelistet sind.

Kristalline Schiefer

Mit diesem etwas ungenauen, umschreibenden Begriff werden metamorphe Gesteine bezeichnet. Metamorphe Gesteine werden aus älteren Gesteinen verschiedener Typen (Sedimentgesteine, magmatische Gesteine, ältere Metamorphite) durch Umwandlung unter hohem Druck und hohen Temperaturen gebildet. Gelegentlich kommt es hierbei auch zu Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung durch Zufuhr oder Abfuhr von Stoffen. Es versteht sich hieraus, dass die Ausbildung der metamorphen Gesteine sehr verschieden sein kann, da eine Vielfalt von Faktoren, wie etwa die Art des Ausgangsgesteins, der Ablauf der Metamorphose bezüglich Druck und Temperatur sowie chemische Austauschreaktionen zwischen den Mineralen von großer Bedeutung für den Umwandlungsprozess sind. Das auffallendste Merkmal dieser

Abb. 12: Bozener Quarzporphyr mit Kirche im Vordergrund (bei St. Jakob / Bozen).

Abb. 13: Burgruine Greifenstein bei Bozen (Quarzporphyr).

Gesteine ist die Schieferung, die nichts mit der Schichtung bei Sedimentgesteinen zu tun hat, sondern durch Druckeinwirkung entsteht. Hierbei ist zu vermerken, dass die Schieferung im Allgemeinen bei niedrig metamorphen Gesteinen stärker ausgeprägt ist als bei hochmetamorphen. Das hängt damit zusammen, dass bei niederem Druck (= geringer Erdtiefe) die Krafteinwirkung meist in einer Richtung mehr ausgeprägt ist als in großen Tiefen der Erdkruste, wo der Druck nahezu allseitig auf das Gestein einwirkt. Der mechanische Vorgang der Gesteinsversenkung in die Erdtiefe, die chemischen Reaktionen und der Rücktransport der Metamorphite an die Erdoberfläche ist meist ein sehr komplexer Vorgang, der hier im Einzelnen nicht dargestellt werden kann. Die stark geschieferte Struktur der Metamorphite schränkt die Verwendungsmöglichkeiten ein, da Schieferungen generell Schwächezonen im Gestein darstellen. Nur in einigen Fällen ist es in den Alpen zu einer größeren Verwendung gekommen. So werden Glimmerschiefer und Gneise meist nur lokal als Mauerstein, Platten- und Pflasterstein verwendet (z.B. Region um den Reschenpass, bei Längenfeld im Ötztal und bei Matrei in Osttirol). Eine Ausnahme in dieser Hinsicht sind Metamorphite, die mehr oder weniger aus einer Mineralart bestehen, wie z.B. Quarzite und Marmore. Quarzite sind ursprünglich (reine) Quarzsandsteine (Sediment), die durch Rekristallisation der Quarzkörner und die Ausbildung eines feinen Quarz-Zements zwischen den Körnern in ein sehr hartes verwitterungsresistentes, metamorphes Gestein verwandelt werden. Ähnlich ist es bei reinen Kalk- oder Dolomitgesteinen, welche unter den Druck- und Temperaturbedingungen der Metamorphose zu grobkörnigen Marmoren werden, welche ein gesuchtes edles Material für besonders zu gestaltende Objekte (Skulpturen, Gedenktafeln und Gedenksteine, Baudekor etc.) sind. Die Umkristallisationsvorgänge innerhalb des monomineralischen Mineralbestands führen gleichzeitig dazu, dass die Schieferung nicht sehr ausgeprägt ist und diese Gesteine somit eher massig erscheinen. Vorkommen von Quarzit finden sich im Pfitscher Tal in der Nähe von Sterzing.

Abb. 14: Burgruine Kienburg (12. Jh.) bei Matrei in Osttirol / vorwiegend aus Gneis erbaut.

Sedimentgesteine

Buntsandsteine

Alpiner Buntsandstein und Grödener Sandstein sind die untersten und damit ältesten Sedimente, die zum mesozoischen Schichtkomplex der Kalkalpen gerechnet werden können. Der Alpine Buntsandstein, tritt in nicht sehr großen Vorkommen an der Basis der Schichtabfolgen der Nördlichen Kalkalpen auf, der Grödener Sandstein bildet eine mächtige und ausgedehnte Serie an der Basis der Südalpinen Trias-Karbonatserie der Dolomiten.
Diese Sandsteine sind bunte, vorwiegend aber rote, untergeordnet auch braune, grünliche, graue bis fast weiße Quarzsandsteine. Abgesehen vom Wechsel der Farbe ist das Gestein im Allgemeinen von ziemlich gleichmäßiger Beschaffenheit. Nur gebietsweise gibt es konglomeratische, oder tonige, mergelige Einschaltungen. Die Sandsteine sind fein-, selten mittel- bis grobkörnig. Die Quarzkörner sind nicht oder nur wenig gerundet, was darauf hinweist, dass das Material nicht weit vom Erosionsgebiet wieder sedimentiert wurde. Bereits die Betrachtung mit dem freien Auge lässt neben den grauen Quarzkörnern auch noch weiß schimmernde Glimmerblättchen erkennen, die auf den vorhandenen Schichtflächen oft in großer Menge auftreten. Die Schichtung des Buntsandsteines ist meist deutlich ausgeprägt.
Die Schichten aus Grödener Sandstein können als Verwitterungsprodukt des sich über Millionen von Jahren zersetzenden Bozener Quarzporphyrs betrachtet werden. In jener Zeit (Oberperm vor ca. 255 Millionen Jahren) wurden aufgrund des vorherrschenden trockenen Klimas keine richtigen Böden gebildet. Über das Liefergebiet des Alpinen Buntsandsteins ist nichts Genaues bekannt.
Der Grödener Sandstein, ist ein bedeutender Naturbaustein in Südtirol. Der rot-braune Grödener Sandstein ist aufgrund seiner regionalen Häufigkeit und der guten Bearbeitbarkeit bei gleichzeitiger Widerstandsfähigkeit als Baustein vielfach verwendet worden, z.B. am Bozener Dom, den Kirchen von Terlan und Hafling. Im Bereich des Mauerwerkes sind Verwendungen als Ecksteine und Füllungen bekannt (z.B. Kirche von Mölten).
Es gibt aber auch Beispiele für den Einsatz im bauplastischen Bereich und bei der Ausstattung (z.B. St. Nikolaus in Neumarkt, Hl. Leonhard in Branzoll). Generell lässt sich sagen, dass Grödener Sandstein für alle Arten von architektonischen Elementen, vom Mauerwerk bis zum Altar, verwendet wurde.
In Nordtirol ist der Alpine Buntsandstein auch verwendet worden, jedoch nicht in diesem Ausmaß (z.B. Burgruine Kropfsberg, Ruine Rottenburg, Pradler Pfarrkirche in Innsbruck). Wahrscheinlicher Grund ist, dass die Vorkommen guter Qualität, d.h. möglichst tonfreier Sandstein, nicht sehr häufig sind.

Abb. 15: Steinbruch von Grödener Sandstein bei Mölten / Südtirol.

Abb. 16: St. Katharina in Hafling aus vorwiegend Grödener Sandstein (Turm) und Bozener Quarzporphyr aufgebaut.

Karbonatgesteine: Kalke und Dolomite

Kalksteine sind Sedimentgesteine, welche im Süd- und Ostalpin als geologisch besonders markante Einheit des Mesozoikums (Erdmittelalter) auftreten. Es gibt eine Reihe von verschiedenen Kalk- und Dolomitgesteinen, die aber hier nicht im Einzelnen besprochen werden können. Diese Gesteine bilden die schönsten Gipfel in den nördlichen Kalkalpen und den Dolomiten. Sie entstanden aus Kalkablagerungen und Riffbildungen in den Ozeanen des Erdmittelalters (Zeitraum von etwa 250 bis 65 Millionen Jahren vor heute). Es ist eine mehrere tausend Meter mächtige Serie von Kalk und Dolomitgesteinen. Die Verwitterungsresistenz ist aufgrund ihres zum Teil recht homogenen chemischen Aufbaues ($CaCO_3$ bzw. $CaMg(CO_3)_2$) gegenüber sauren atmosphärischen Angriffen relativ gering.
Ob ein Material aus Kalkstein oder Dolomit besteht oder zum Teil dolomitisch ist, kann einfach mit verdünnter Salzsäure bestimmt werden. Ein vorwiegend aus Kalzit aufgebautes Karbonatgestein braust beim Kontakt mit kalter verdünnter Salzsäure unter Entwicklung von Kohlenstoffdioxidbläschen auf, dolomitische Kalke bzw. Dolomite zeigen nur eine sehr geringe Reaktion.
Aufgrund ihres ansprechenden optischen Eindruckes und der relativ geringen Härte wurden diverse Kalksteine bereits früh in historischen Zeiten gebrochen und als Bausteinmaterial bzw. als wichtiger Rohstoff für das Kalkbrennen – zur Herstellung von Mörteln und Putzen – benützt. In der Technik wird gut verfestigter Kalkstein auch als „Marmor" bezeichnet und in geschliffener Form verwendet (z.B. Hagauer „Marmor" aus dem Unterinntal). Hier ist „Marmor" aber ein rein technischer Begriff und entspricht nicht dem geologischer Begriff „Marmor"; Marmor ist ein metamorphes Gestein!
Sowohl in Nord- wie in Südtirol sind viele Bauwerke aus Kalkgestein ausgeführt, sei es aus Bruchsteinen, Rollsteinen aus Flussläufen oder aus behauenem Material.
In Nordtirol gilt dies eigentlich für die meisten historischen Bauwerke. Es gibt unter ihnen eine Reihe von Bauwerken, wo der Kalk in behauener Form verwendet wurde, z.B. Feste Kufstein, Burg Kropfsberg, die Kirchen von Jenbach und Stans, Marienkirche in Schwaz und noch viele mehr.
Im Tiroler Oberland und hier besonders im Bereich um Landeck dominiert die gelbliche Rauhwacke bei historischem Mauerwerk als Bausubstanz und als Architekturelement. Rauhwacke, die auch wegen der porösen Struktur als Zellenkalk bzw. Zellendolomit bekannt ist und leicht mit Kalktuff (s. u.) verwechselt wird, hat ursprünglich neben Dolomit und Kalzit auch Gips enthalten (vor etwa 220 Millionen Jahren abgelagert). Im Laufe der Zeit wird im Zuge der chemischen Zersetzung der Gips gelöst und ausgewaschen. Zurück bleibt ein löchriges, poröses Karbonatgestein (z.B. in den Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen und der Südtiroler Dolomiten). Ein besonders schönes Vorkommen von Rauhwacke ist etwas oberhalb von Grins bei Landeck zu bewundern.
In Südtirol ist Kalkstein bzw. Marmor jenes Material, das mit dem ebenfalls verbreiteten Grödener Sandstein konkurriert. Die Kirche Hll. Petrus und Paulus in Latsch, die Pfarrkirche von Salurn und Hl. Sebastian am Reschen sind einige prominente Beispiele für Kalkstein-Objekte.

Abb. 17: Stans, neue Pfarrkirche / N-Ansicht. Der verbaute dolomitische Kalkstein wurde östlich des Dorfes gebrochen.

Abb. 18: Kirche von Salurn mit Mauerwerk aus Kalksteinquadern.

Echte Marmore

Der Name leitet sich vom griechischen marmaros [= „weißer Stein"] bzw. vom griechischen marmairein [= „glänzen / glitzern"] ab. Jedoch ist der Begriff umgangssprachlich nur ungenau definiert, mitunter sogar falsch verwendet. Wissenschaftlich bezeichnet man mit Marmor ein karbonatisches Umwandlungsgestein (Metamorphit), das als Umwandlungsprodukt von Kalk oder Dolomitstein unter dem Einfluss von hohem Druck und hoher Temperatur entstanden ist. Besteht das Ausgangsgestein neben dem Mineral Kalzit ($CaCO_3$) auch noch aus Dolomit $CaMg(CO_3)_2$, oder zur Gänze aus Dolomit, so wird der Marmor als dolomitischer Marmor bzw. Dolomit-Marmor bezeichnet. Solche Metamorphisierungsprozesse von Karbonatgesteinen können sowohl großregionale als auch lokale Dimensionen haben. So z.B. wenn die Wärme von aufsteigenden Magmakörpern ein Karbonatgestein erfasst und zu Kontaktmarmor umwandelt. Im Prinzip ist zwischen Regionalen- und Kontaktmarmoren kein Unterschied in den Materialeigenschaften. Denn entscheidend für die Marmorbildung sind die jeweiligen Drucke und Temperaturen. Das durch Regional- oder Kontaktmetamorphose gebildete Metakarbonatgestein ist meist mittel- bis grobkörnig (Korndurchmesser: 2 bis 0,25 mm); bei den alpinen Marmoren ist in vielen Fällen eine deutliche Kornregelung zu beobachten, die besonders durch Einlagerungen anderer Minerale nachgezeichnet wird.
Marmore sind sehr dichte Gesteine und damit von sehr geringer Porosität (unter 1 Vol. %), so dass das Material sehr frostbeständig ist, weil nur sehr wenig Wasser in das Gestein eindringen kann (Fimmel, 1996). Eine Minderung der Festigkeit und der Verwitterungsresistenz kann jedoch von geologischen Bewegungsvorgängen verursacht worden sein, wenn solche während oder nach der Marmorbildung stattgefunden haben. Derartige

re. Abb. 19: Annastatue aus Marmor an der Annasäule in Innsbruck.

Abb. 20: Marmorwerk von Laas im Vinschgau / Südtirol.

Bewegungsvorgänge beeinflussen das monomineralische Gesteinsgefüge, es kommt zu Druckverzwillingung in den Karbonatkristallen, zu Veränderungen auf den Korngrenzen und Mikrorissbildung. Durch diese Vorgänge können Schwächezonen im Marmor entstehen.
Eine materialkundliche Klassifizierung der Marmore besagt, dass sie mindestens zu 80 Gew. % aus Karbonat bestehen müssen, bzw. der Gehalt an anderen vorwiegend silikatischen Mineralen im Marmor darf 20 Gew. % nicht übersteigen.
Bei der industriellen Verwendung ist vor allem die optische Erscheinung (weiß, farbig, gebändert, usw.) des Gesteins von entscheidender Bedeutung.
Die Gewinnung von Marmor – im alpinen Raum zunächst vor allem in Form von Lesesteinen und glazialen Findlingen – und seine Verarbeitung sind bereits für das Neolithikum nachgewiesen (Köll, 1964).
In Tiroler Raum erlangte neben dem Laaser auch der Sterzinger Marmor überregionale Bedeutung. Weiters wird gegenwärtig noch der Venntaler Marmor abgebaut und für Platten und vorwiegend für Splitt verwendet. Außerdem existieren, verstreut über den Tiroler Raum, zahlreiche kleinere Vorkommen (z.B. Oberpurstein bei Sand in Taufers, Grünalmtal in Osttirol, Spertental bei Wörgl und Obernberg am Brenner). Diese werden zwar zurzeit nicht genutzt, historisch waren sie jedoch von großer lokaler Bedeutung als Werkstoffe.
Die bekanntesten Beispiele für die Verwendung von Laaser Marmor sind die Walther von der Vogelweide Statue in Bozen und das Palasportal auf Schloss Tirol. Aus Sterzinger Marmor sind die Figuren der Triumphpforte in Innsbruck, der Sockel des Walther von der Vogelweide Denkmals in Bozen, das Kapellenportal auf Schloss Tirol und die Statuen am Schloss Schönbrunn (Unterwurzacher, 2007).

Marmore im technischen Sinn: Kramsacher/Hagauer Marmor

In der Spätgotik (2. Hälfte des 15. Jahrhunderts) entwickelte sich im Unterinntal die „Hagauer Bauschule" (Egg-Schwaz, 1954), welche durch ihre Vorliebe für kleine Details bei der Bearbeitung von Natursteinen auffällt. Im Unterinntal wurde der in dieser Region abgebaute Hagauer Marmor von den Steinmetzen mit Vorliebe für Portale und Verkleidungen an Sakralbauten verwendet.

Abb. 21: Kapellenportal auf Schloss Tirol aus vermutlich Sterzinger Marmor (Recheis, 2004).

Abb. 22: Pfarrkirche Hl. Wolfgang in Jenbach / Portal aus rötlichem Hagauer Marmor.

Der sog. Hagauer Marmor stellt unter den verschiedenen Kalksteinarten in Nordtirol eine Besonderheit dar. Bei Kramsach im unteren Inntal wird seit langer Zeit dieser Hagauer Marmor gewonnen. Das Wort „Hagau" bedeutet eigentlich Grenze, es handelt sich um das Grenzgebiet zwischen Münster und Kramsach im Tiroler Unterland, wo in einem Bergsturzgebiet (Pletzachkogel) rötliche Kalksteine auftreten.
Dieser Kalkstein („Marmor") ist ein sogenannter Liaskalk (aus der Jurazeit vor 190 Millionen Jahren), besticht durch seine weiße bis rote Farbe und seine besondere Musterung. Die Steinmetze unterscheiden hierbei zwei Sorten von „Marmor": der eine wird als Hagauer Marmor, der andere als Kramsacher Marmor bezeichnet.
Für den Hagauer Marmor gibt Klebelsberg (1935) folgende Beschreibung: „Der Hagauer Marmor ist ein roter knolliger, etwas toniger, zum Teil weiß gesprenkelter (auch größere weiße Flecken und Partien) Kalk der untersten Jura-Formation, der technisch und geologisch dem Adnether Marmor (Adneth bei Hallein, Salzburg) entspricht".

Besonders auffällig sind an diesem Hagauer Kalken spätig ausgebildete Gesteinspartien, sogenannter Crinoiden Spatkalk (Crinoiden oder Seelilien gehören zu der großen Tiergruppe der Seesterne, deren Skelett aus großen Kalkspatkristallen besteht) welche dem Material ein grobkörniges – grobspätiges Aussehen verleihen. Über den Kramsacher Marmor schreibt Klebelsberg (1935), dass dieser ein typischer Breccien-Kalk sei, welcher durch verschieden große, durchaus eckige Bruchstücke eines rötlich bis weißen Kalks in rotem Bindemittel zusammengesetzt ist. Der Kramsacher Marmor lässt sich gut schleifen und zeigt eine schöne mosaikartige Zeichnung.
Während der Hagauer vielfach als Bausteinmaterial, für Verkleidungen wie auch für architektonische Elemente verendet wurde, ist der Kramsacher Marmor speziell für Architekturelemente mit hohem dekorativem Anspruch und für Fenstereinfassungen und Portale verwendet worden (Pfarrkirche Rattenberg, St. Leonhard bei Kundl, Schloss Tratzberg, Schloss Thurnegg, u. a.). Die bekanntesten Bauwerke aus Kramsacher Marmor sind das Goldene Dachl und die Hofkirche (Grab von Maximilian I) in Innsbruck sowie die Orgelempore in der Marienkirche von Schwaz. Hagauer- und Kramsacher Marmor haben im Tiroler Raum eine relativ große Verbreitung, Das Material wurde dabei meist per Schiff auf dem Inn transportiert.

Abb. 23: Säule in der Pfarrkirche von Breitenbach a. Inn aus rötlichem Hagauer Marmor und Oberrhätischem Riffkalk mit Fossilresten (gelblich-braun).

re. Abb. 24: Fassade und Eingangsbereich eines Gebäudes in Kufstein aus Kramsacher Marmor. Die breccienartige Struktur des Kramsacher Marmors ist deutlich erkennbar.

Höttinger Breccie

Die Höttinger Breccie bei Innsbruck ist ein bedeutender, regionaler Baustein, welcher seit dem frühen Mittelalter verwendet wurde (z.B. Altstadt von Innsbruck, Hall in Tirol). Der Abbau wurde erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingestellt. Die Höttinger Breccie ist ein verkitteter alluvialer Schuttkörper am Südabhang des Karwendel Gebirges und ein häufig verwendeter Naturbaustein im Umfeld von Innsbruck. Die Ablagerungen erreichen im Schnitt eine Mächtigkeit von 40 m. Der vermutlich als zwischeneiszeitliche Bildung (Riß-Würmeiszeit) entstandene Breccienkomplex wird seit altersher unterteilt in die Rote Höttinger Breccie, welche als Baustein verwendet wird (im unteren Bereich des Gehänges), und in die Weiße Höttinger Breccie weiter hangaufwärts. Erstere ist charakterisiert durch das Vorkommen von aufgearbeitetem Alpinen Buntsandstein, der in etwa 1000 m Seehöhe am Hang vorkommt und dem gesamten Gesteinskörper seine charakteristische Rotfärbung verleiht. Die Rote Höttinger Breccie zeichnet sich durch schlechte Sortierung und ein überwiegend matrixgestütztes Gefüge aus. D.h. die eckigen Komponenten bestehen aus Trias-Karbonaten (vorwiegend Alpiner Muschelkalk und Reichenhaller Karbonate), die in eine sandig/siltige Matrix aus Karbonatzerreibsel und rotem Alpinen Buntsandstein eingebettet sind. Die oft mehrere Meter mächtigen Bänke der Roten Breccie kommen vor allem im Bereich des heutigen Hungerburgplateaus und am Ausgang der Mühlauer Klamm („Teufelskanzel") vor.
Zwischen manchen Bänken in und um den ehemaligen Mayr'schen Steinbruch, dem heutigen Höttinger Klettergarten, finden sich auch bis 20 cm mächtige gelbliche Siltlagen, welche eine genauere Altersdatierung der Ablagerungen mit etwa 120 000 Jahren ermöglichten (Spötl & Gemmell, 2005).
Im Gegensatz zur Roten- ist die Weiße Höttinger Breccie korngestützt, schlecht bis mäßig sortiert und besteht vorwiegend aus Wettersteinkalk-Komponenten. Die hangparallelen Ablagerungen der Weißen Breccie lassen sich bis auf eine Seehöhe von 2000 m verfolgen und ähneln den heutigen Schutthalden (Seegrube/Hafelekar) in diesem Gebiet. Die Hauptvorkommen liegen in den oberen Teilen des Höttinger- und Mühlauer Grabens und östlich der Seegrube. Aufgrund der unzugänglichen Lage, der hohen Porosität und der zum Teil sehr schlechten Kompaktierung wurde die Weiße Höttinger Breccie nie als Baustein verwendet.
Die Höttinger Breccie ist das charakteristische Natursteinmaterial für Innsbruck und Hall i. Tirol. Bei sehr vielen Häusern in der Altstadt von Innsbruck und in dem von der Salzgewinnung reich gewordenen Hall ist dieser Stein verbaut worden. Als Mauerstein, als Portal und Fensterlaibung, als Erdbebenpfeiler, Plattenmaterial etc. Vom Beginn des 13. Jahrhunderts bis ins ausgehende 19. Jahrhundert war die Höttinger Breccie in ganz Tirol als Baustein sehr gefragt und wurde auf dem Inn bis weit ins Unterland transportiert.

Abb. 25: Anstehende Höttinger Breccie am Mayr'schen Steinbruch nördlich von Innsbruck.

Abb. 26: Der bekannte Dom zu St. Jakob in Innsbruck ist zum Großteil aus Höttinger Breccie erbaut. Dieser Baustein verleiht dem Dom sein charakteristisches, rötlich-graues Aussehen.

Kalktuff/Travertin

Kalktuffe fallen dadurch auf, dass sie sehr poröse und leichte Gesteine sind. Bei Kalktuff handelt es sich meist um Süßwassersedimente sehr jungen, quartären Alters, welche durch die Kristallisation und Fällung von Kalzit aus kalkreichen oberflächennahen Wässern entstehen. Die Ausfällung des gelösten Kalzits geschieht dann, wenn dem Wasser Kohlendioxid (CO_2) entzogen wird. Dies kann durch Erwärmung oder durch Druckentlastung geschehen. Auch das Einwirken von Pflanzen und Mikroorganismen kann zur Ausfällung von Kalzit führen. Während in den angelsächsischen Ländern der Name Travertin (oder „Tufa") auf alle Süßwasserkalke angewendet wird, verwendet man diesen Begriff im deutschsprachigen Raum nur für feste, schleiffähige Kalkausscheidungen (sog. Kalksinter) mit sehr feinen Poren. Die Bezeichnung Travertin stammt von einem römischen Lokalbegriff und ist abgeleitet vom lateinischen lapis tiburtinus (= „Stein von Tibur"). Die grobporigen Kalkausscheidungen werden im deutschsprachigen Raum generell als Kalktuff bezeichnet. Im bruchfrischen Zustand zeigen die stark porösen Kalktuffe meist eine bräunlich gelbe Färbung. Im angewitterten Zustand erscheinen sie grau. Die großen, kavernösen Hohlräume entstanden im Zuge des Fällungsprozesses von Kalzit, welcher sich um pflanzliche Partikel (Holz, Moos, Blätter etc.) anlagerte. Im Laufe der Zeit zersetzten sich die organischen Stoffe und hinterließen die Hohlräume welche so charakteristisch für den Kalktuff (Quelltuff) sind. Als Baustein war Kalktuff schon früh sehr gefragt. Dadurch, dass er relativ „weich" aber trotzdem verwitterungsresistent ist, stellt er einen leicht zu bearbeitenden und zugleich stabilen Naturwerkstein dar.
Historisch gesehen wurde Kalktuff gerne als Leichtbaustein verwendet, vielfach wurden Fenster und Türlaibungen daraus hergestellt. In Tirol fällt auf, dass Kalktuff für viele mittelalterliche Gewölbekonstruktionen verwendet wurde. Unter trockenen Bedingungen eignet es sich als wärmedämmendes Material. In der Feste Kufstein wurde der barocke Ausbau, die sog. Josefsburg-Kasematten, aus diesem Stein gebaut. Möglicherweise spielte hier bei der Materialwahl das weiche, abdämpfende Verhalten des Gesteins bei Kanonenbeschuß der Anlage eine Rolle. Darüber hinaus wurde Kalktuff aufgrund seiner Reinheit auch zur Herstellung von gebranntem Kalk verwendet.
Travertin wird aufgrund seiner geringeren Porosität, der oft vorhandenen Bänderung und seiner Schleiffähigkeit vielfach als ein edleres Material angesehen. Er findet deshalb international, besonders aber in Italien und Südtirol Verwendung als Baumaterial, Plattenstein für Fußböden und Verkleidungen. In diesem Zusammenhang sind die bekannten Travertine aus dem Vinschgau (Laaser Onyx) und die römischen Travertine besonders zu erwähnen. Teile des Forum Romanum, des Colosseum, des Trevi Brunnen, des Petersdomes in Rom und zahlreiche Brücken über den Tiber wären ohne Travertin nicht denkbar. In Nord- und Osttirol sind jedoch keine Travertinvorkommen bekannt.

Abb. 27: Das Mauerwerk der Festungsanlage von Kufstein besteht zum Großteil aus gelblich bis braunem Kalktuff. Abgebaut wurde dieser Werkstoff bei Thiersee in der Nähe von Kufstein.

Verwitterungsverhalten von Naturbausteinen

Theoretisch kann die Verwitterung von Gestein als ein natürliches Anstreben eines stabilen Grundzustands niedrigster Energie betrachtet werden. Die meisten Minerale, welche die Natursteine aufbauen, sind unter den gegebenen atmosphärischen Bedingungen am Bauwerk bzw. generell an der Erdoberfläche thermodynamisch nicht stabil, da sie eigentlich unter ganz anderen Druck und Temperaturbedingungen innerhalb der Erdkruste gebildet wurden. Allerdings läuft der Zerfall der Minerale nur sehr langsam ab und trägt daher nur untergeordnet zum Bausteinzerfall bei. Vielmehr führt der Verlust der mechanischen Bindung zwischen den Mineralkörnern zur Schwächung und Entfestigung des Kornverbandes und damit schließlich zum Zerfall des Gesteins. Absanden, Schalenbildung Verfärbungen, Krustenbildung, Ausbrüche und organischer Bewuchs sind die verbreitetsten Schadensbilder. Nahezu alle Teilprozesse, die an der Verwitterung von Naturbausteinen beteiligt sind, verursachen keine messbare Veränderung an einem Baustoff durch einmaliges Auftreten. Erst die vielfache Wiederholung und das Zusammenspiel der verschiedenen zerstörerischen Mechanismen entfalten schadenswirksame Kräfte. Es kann daher bei experimentellen Untersuchungen nur versucht werden, Vorstellungen über die Größenordnung der einzelnen Prozesse zu gewinnen und die wesentlichen Vorgänge, die dabei herausgefunden werden, mit den beobachtbaren Schadensformen an Natursteinobjekten in Bezug zu setzen. Der Vorgang der Gesteinsverwitterung ist von der Natur vorgegeben, er kann selbst mit den modernsten Methoden der Denkmalpflege letztlich nicht aufgehalten werden. Eine gute Erhaltungsmaßnahme bedeutet jedoch eine deutliche Verlangsamung der Schadensvorgänge, die im Zeitrahmen von einigen Jahrzehnten, ja vielleicht sogar von Jahrhunderten liegen können (Rohatsch, 1997).

Die Verwitterungsvorgänge an Naturbausteinen sind von einer Reihe endogener (gesteinstypischer) und exogener (umweltbedingter) Parameter abhängig, die wiederum miteinander in Beziehung stehen. Zu den endogenen Parametern gehören: die Vergesellschaften der Mineralarten im Gestein, Mineralkornkontakte, Korngefüge, Porenraumverteilung, Porenvolumen, Porenform, innere (Poren-) Oberfläche und Porenlösungen. Diese endogenen Gesteinsparameter beeinflussen die Druck- und Scherfestigkeit, die elastischen Eigenschaften, die Wärmeausdehnung und die Leitfähigkeit. Hinzu kommen das

Abb. 28: Biologischer Bewuchs, Feuchteschäden und Abplatzungen am Mauerwerk der Kapelle in der Burgruine Kropfsberg, bei Reith im Alpbachtal.

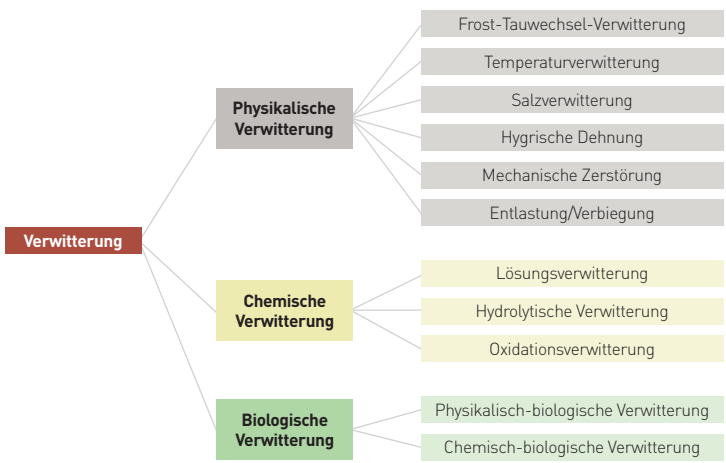


Abb. 29: Schematische Untergliederung der verschiedenen Verwitterungsarten (nach Kownatzki, 1997).

Sorptionsvermögen, d.h. die Aufnahme von Luft und Wasser und deren Permeabilität im Gestein. Zu den exogenen Variablen zählen Temperaturschwankungen und Belastungsdruck. Variablen, die mit dem Gestein in Wechselwirkung stehen, sind Feuchte und (Regen-, Grund-) Wasser sowie Salze. Ein Teil dieser Einflüsse ist anthropogener Natur. Es ist offensichtlich, dass die Gesteinsverwitterung durch ein komplexes Parametersystem gesteuert wird. Diese Vielfalt von Einflüssen wird in ein etwas grob klassifizierendes Schema, der sog. physikalischen, chemischen und biologischen Verwitterung eingeteilt (Abb. 29). Die physikalische Verwitterung wird unterteilt in Frost-Tau-Effekte, Salzverwitterung, Temperaturverwitterung, hygrische Dehnung sowie Schäden durch Entlastung/Verbiegung und mechanische Zerstörung. Die chemische Verwitterung wird untergliedert in Lösungsverwitterung, hydrolytische- und Oxidationsverwitterung. Die biologische Verwitterung unterteilt sich in physikalisch-biologische und chemisch-biologische Verwitterung. Wobei die Mikroflora oft einen Stofflieferanten für die sichtbaren physikalisch-chemischen Verwitterungsvorgänge darstellt. Deshalb ist eine klare Abgrenzung der biologischen bzw. mikrobiologischen gegen die physikalisch-chemischen Verwitterungsvorgänge eher schwierig (Krumbein, 1973). Zum Thema Verwitterung, das ein sehr aktueller Forschungsbereich ist und ein sehr weites Feld umfasst, ist eine eingehendere Darstellung in diesem Rahmen nicht möglich.

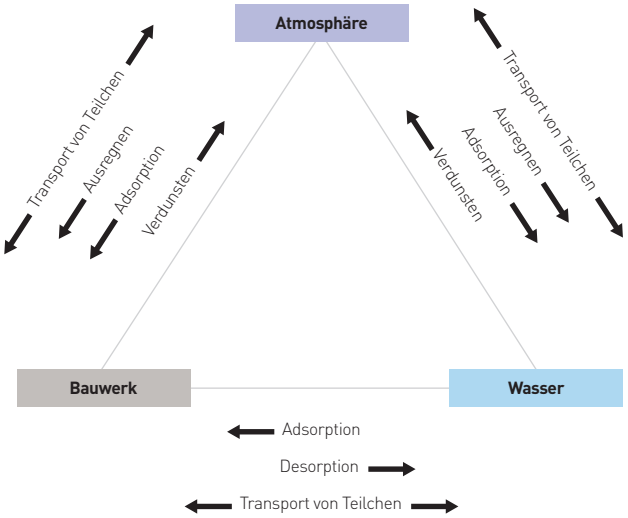


Abb. 30: Schematische Darstellung des Zusammenwirkens zwischen Atmosphäre, Bauwerk und Wasser.

re. Abb. 31: Absanden und Abbröckeln an Sandstein- und Karbonatblöcken infolge Feuchte- und Salzverwitterung / Ringmauer der Burgruine Kropfsberg.

Brandverhalten von Naturbausteinen

Schäden an historischen Bauwerken können, wie bereits im Kapitel über das Verwitterungsverhalten der Gesteine angesprochen wurde, die unterschiedlichsten Ursachen haben. Durch Umweltbelastung, Verwitterung, unsachgemäße Eingriffe in die Bausubstanz und mangelnde Baupflege können die Bauwerke erhebliche Schäden erleiden.
Eine weitere, jedoch oftmals unterschätzte Gefahr für historische Bausubstanz stellen Großbrände dar. Gesteinsphysikalische Schädigungen, hervorgerufen durch die starke Hitzeentwicklung, tragen zu einer Stabilitätsverringerung des Baumateriales bei. Die Bildung von Klüften und Rissen, die Zunahme der Porosität und Verfärbungen sind die am häufigsten auftretenden Veränderungen am Naturstein nach einem Brand.
Ziel ist es, relevante petrophysikalische und materialtechnische Parameter von regional häufig verwendeten Naturbausteinen eingehender in Simulationsexperimenten zu untersuchen und die physikalischen und mineralogischen Veränderungen infolge des Brandes festzuhalten. Obwohl der komplexe Vorgang eines Brandes schwierig zu simulieren ist, bieten derartige Experimente mit Naturstein die Möglichkeit, die wesentlichen Parameter zu erfassen. Hierbei werden Gesteinsproben bei verschiedenen Temperaturen (z.B. 200°C, 400°C, 700°C und 1000°C) über eine mehrstündige Dauer „gebrannt" und die wesentlichen Veränderungen in den physikalischen und mineralogischen Eigenschaften erfasst. Abgesehen von mikroskopischen Untersuchungen an den unbehandelten und den behandelten Proben, welche Veränderungen an den Mineralen und dem Gesteinsgefüge erkennen lassen, werden an den Materialien Druckversuche, Ultraschallmessungen, Porositätsbestimmungen, Wasser- und Feuchteaufnahmemessungen sowie Frost- Tau- Versuche systematisch durchgeführt. Damit ergibt sich ein repräsentativer Überblick über die Eigenschaften eines Gesteins und der brandbedingten Veränderungen (Obojes et al., 2006; Obojes, in Vorbereitung).
Wichtige Zusatzinformationen werden aus Vergleichsmessungen an brandgeschädigten Objekten oder aus schon vorhandenen Literaturdaten gewonnen. Mit Hilfe einer solchen Datenbasis kann eine Beurteilung des wirklichen Ausmaßes von Brandschäden durchgeführt werden. Hierauf kann ein Erhaltungskonzept ausgearbeitet werden, das denkmalpflegerische Grundsätze berücksichtigt. Anhand dieser Vorgaben können dann restauratorische Maßnahmen realisiert werden. Diese Art der Vorgehensweise, Anamnese, Diagnose/Konzeptentwicklung und Behandlung inklusive Effektivitätskontrollen, sollte letztlich die Vorgangsweise bei jeglicher Art von Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen sein.

Abb. 32: Am Portal in der romanischen Kirche von St. Johann im Münstertal führte ein Brandereignis (vermutlich jenes von 1383) zu einer deutlichen Rotfärbung und Abplatzungen an den ursprünglich gelben Rauhwacken.

Abb. 33: Ruine Thaur bei Innsbruck. Die ansonsten gelb-grauen Kalktuff-Ecksteine zeigen Brandspuren (Rotfärbungen am Torturm West) / Mischmauerwerk.

Historisches Steinmauerwerk

Walter Hauser

Abb. 34: Mauerwerk aus dem 12. Jh., Afrahof in Thaur (Kalkstein / Fensterfassung aus Rauhwacke). Mittlerweile überputzt, an anderen Stellen des Afrahofes noch vorhanden.

Steinmauern sind im Zeitalter megalithischer Baggersteinschlichtungen oder industriell gefertigter Steinverkleidungen eine Seltenheit geworden und aus dem Bewusstsein der Handwerker und Bauherren entwichen. Historische Mauertechniken sind heute kaum mehr geläufig. Mitunter finden sich hingegen geklebte Steintapeten als rustikale Erinnerung an ehemals landschaftsprägende alpine Eigentümlichkeiten. Dabei gibt es kaum ein historisches Baumaterial, das eine größere Variation in der Gestaltung besitzt wie Steinmauern, ob in Steinwahl, Mörtelzusammensetzung, Struktur oder Farbe.

Die Art mit Stein zu mauern ist durch Jahrhunderte einer Entwicklung unterworfen. Dabei steht das Mauergefüge der in groben Kalkmörtel geschlichteten Steine im Vordergrund, wobei es zwei grundsätzlich verschiedene Konzepte gibt, entweder das Mauerwerk sichtbar zu belassen oder mit Putz zu überdecken. So zeigt das Hochmittelalter ein sehr regelmäßiges, auf Sicht konzipiertes Mauerwerk, während das Spätmittelalter und die frühe Neuzeit ausschließlich auf Verputz arbeiten. Sichtbares Mauerwerk erlebt im Historismus des ausgehenden 19. Jahrhunderts nochmals eine Renaissance, ein letztes Aufleben einer jahrhundertealten Handwerkstradition, die ab der Mitte des 20. Jahrhunderts allmählich erlischt.

Die folgenden Beispiele sollen einen kleinen Einblick in die Vielfalt historischer Mauerungstechnik geben:

Romanisches Mauerwerk 11.-13 Jh.

Das Hochmittelalter verwendet ein hochwertiges, auf Ansicht gestaltetes Mauerwerk aus in Lagen gesetzten, gut bearbeiteten Steinen. Die Oberfläche wird mit einem Fugennetz geschlossen, welches mit Kellenstrich quaderartig betont wird. Die Beispiele zeigen in Thaur den Afrahof mit einem Mauerwerk des frühen 12. Jahrhunderts mit abgewittertem Fugennetz (Abb. 34) und die Burgruine Kropfsberg bei

Reith im Alpbachtal mit Mauerwerk des 13. Jahrhunderts samt noch erhalten gebliebenem Fugenstrich (Abb. 35).

Gotisches Mauerwerk 14.-15. Jh.

Die Gotik wird von verputzten und in Kalk getünchten Mauerwerken bestimmt. Daher verliert die Steinfügung ihre Lagigkeit, die Steinbearbeitung ihre Präzision. Kleine Steine füllen die Zwischenräume inmitten der großen Steine. Das Beispiel der Liebfrauenkirche in Kitzbühel aus der Zeit um 1400 zeigt diese Technik einprägsam. Am oberen Bildrand sowie in der Fensterlaibung ist die ursprüngliche Verputzung ansatzweise noch sichtbar (Abb. 36).

Renaissance Mauerwerk 16. Jh.

Die Renaissance mit ihren architektonisch streng gegliederten Fassaden geht grundsätzlich von einer Verputzgliederung aus, sieht man einmal von einem sehr aufwändigen Steinquaderbau ab (den es zu allen Zeiten gibt). Ausnahmen zeigen sich im Bereich von einfachen Bauten, etwa von Wirtschaftsgebäuden oder Befestigungsanlagen. Das Mauerwerk verwendet große, nur ansichtsseitig in die Fläche gesetzte Steine, die mit kleinen Steinen nestartig ausgezwickt werden. Dieses Mauerwerk nennt man Zwickelmauerwerk. Das Mauerbeispiel stammt von der Stadtgrabenmauer in Hall, 16. Jahrhundert (Abb. 37).

ob. Abb. 35: 13. Jh. Burgruine Kropfsberg mit Fugenstrich (Mischmauerwerk).

re. Abb. 36: Um 1400 / Gotisches Mauerwerk der Liebfrauenkirche in Kitzbühel (Gneise, Schiefer und Karbonate).

un. Abb. 37: Zwickelmauerwerk (Kalkstein) der Stadtgrabenmauer von Hall in Tirol aus dem 16. Jh.

Abb. 38: Vomp, Stiftskirche Fiecht, erbaut um 1750 (rötlich-braune Rauhwacke und graue Karbonate).

Abb. 39: Mischmauerwerk der Kapelle in Nauders am Reschen aus dem 19. Jh.

Barockes Mauerwerk 17.-18.Jh.

Der Barock unterscheidet sich im Gestaltungswillen vom Putzkonzept der Renaissance nur in der oberflächlichen Gliederungsform. Das Mauerwerk darunter ändert sich kaum. Die Zwickelsetzung wird unbestimmter, die Verwendung von Ziegelbruch (Abbruchmaterial) nimmt zu. Das Bild zeigt das Mauerwerk der Stiftskirche von Fiecht, erbaut um 1750. Der Bau blieb aus pekuniären Gründen im Barock unverputzt, eine Ausnahme mit Seltenheitswert (Abb. 38).

Historistisches Mauerwerk 19. Jh.

Im Historismus kommt es zu einer Wiedergeburt des sichtbaren Mauerwerks. Der Gestaltung wird dabei freier Raum gelassen. Das Foto zeigt einen reich gegliederten Ausschnitt der 1855 erbauten Kapelle zum Hl. Borromäus an der Reschenpassstrasse in Nauders (Abb. 39).

Modernes Mauerwerk 20 Jh.

Die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts wird noch von der ausklingenden Tradition der Steinmauern in Kalkmörteltechnik bestimmt. Die Tragfunktion der Mauern wird zusehends von einem dahinter liegenden Betonkern übernommen, was sich insbesondere auf das Fugenbild auswirkt, das zumeist verkümmert. Ein letztes Aufbäumen eines Gestaltens mit Natursteinmauerwerk ist in den 1960er Jahren zu beobachten. Das Bild zeigt einen Mauerausschnitt der Europakapelle in Schönberg, erbaut 1963 (Abb. 40).

Abb. 40: Autobahnkapelle bei Schönberg, erbaut 1963 (Quarzit).

Naturbausteine an einem Objekt

Burgruine Kropfsberg

Die Untersuchungen an der Burgruine Kropfsberg bei Reith im Alpbachtal wurden als Teil eines Interreg-IIIA-Projektes in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Mineralogen und Bauhistorikern durchgeführt. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag auf dem Baualter und der Klärung der historischen Entwicklung und der chronologisch – technischen Zusammenhänge des Baubestandes. Ein weiterer Aspekt war die Dokumentation der verwendeten Materialien und der Schäden am Bauwerk sowie die Dokumentation von bereits durchgeführten Sicherungs- und Konservierungsarbeiten. So wurden die Baumaterialien (Stein/Mörtel/Putz) identifiziert und die verbauten Gesteinsarten klassifiziert und in entsprechenden Karten festgehalten (Franzen et al., 2005). Des Weiteren wurden die Schadensbilder nach Ausmaß, Intensität und Ursachen jeweils nach bestimmten Kategorien aufgenommen, um als Grundlage für die vorzunehmenden Erhaltungsmaßnahmen zu dienen. Begleitend zu diesen Untersuchungen vor Ort wurden auch Literatur und historische Quellen durchforscht, um die Baubefunde mit historischen Beschreibungen und Abbildungen vergleichen und belegen zu können.

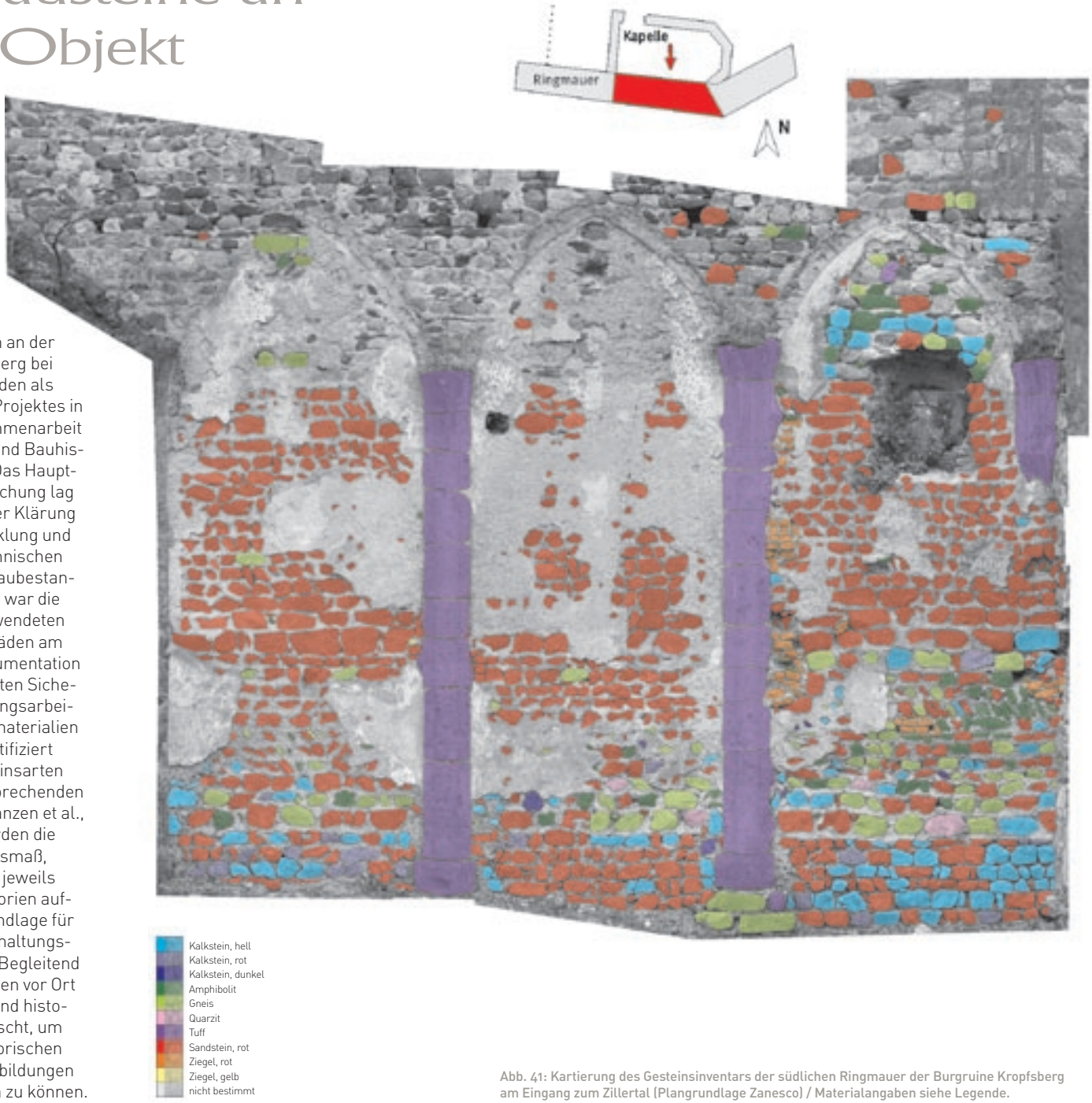


Abb. 41: Kartierung des Gesteinsinventars der südlichen Ringmauer der Burgruine Kropfsberg am Eingang zum Zillertal (Plangrundlage Zanesco) / Materialangaben siehe Legende.

Naturbausteine an einem Ensemble

Altstadtkartierung von Hall in Tirol

Verteilung der ansichtigen Naturwerksteine

- Kleiner Mauerbereich aus Höttinger Breccie
- Großer Mauerbereich aus Höttinger Breccie
- Kleiner Mauerbereich aus Kalkstein

Abb. 42: Kartierung der Altstadt von Hall in Tirol (Plangrundlage: Katasterplan der Stadt).

Die Höttinger Breccie ist der dominierende Baustein in der Haller Altstadt, unabhängig vom Baualter der Gebäude oder der Gebäudefassaden. 58 % des Gebäudeinventars der Altstadt zeigen Natursteinmauerwerk aus Höttinger Breccie. Jedoch ist an lediglich 14 Gebäuden ein Fassadenabschnitt zu finden, an dem zumindest der gesamte Erdgeschoßbereich unverputzt und somit steinsichtig ist. Auffällig ist, dass an den Gebäuden vor allem die hervorspringenden und exponierten Elemente, wie Erdbebenstützen, Mauerkanten, Gesimse unverputzt sind und meist aus Höttinger Breccie bestehen. Neben der Breccie tritt bei Portalen und Fensterlaibungen häufig als gleichberechtigtes Material auch grauer Kalkstein (Triaskalk/Wettersteinkalk) und roter Hagauer „Marmor" auf. Großartige architektonische Unterschiede lassen sich an den Gebäuden jedoch nicht ausmachen. Die Unterschiede liegen großteils in der Breite des Gebäudes und der Gestalt der Portale, welche entweder als Rundbogen- oder als Spitzbogenportal ausgeführt wurden. Obgleich ein Großteil der Fassaden der Haller Altstadthäuser verputzt ist, liegt es nahe, aus den vorhandenen Daten die Vermutung zu äußern, dass sich unter beinahe jeder verputzten Oberfläche Höttinger Breccie als Baustein verbirgt. Lediglich bei Gebäuden neueren Datums, also Gebäuden, die im 20. Jahrhundert erbaut wurden, kann angenommen werden, dass sich unter dem Verputz herkömmliches Ziegelmauerwerk verbirgt.

Als Verwitterungserscheinungen lassen sich bei der Höttinger Breccie vor allem Verfärbungen und eine Porenvergrößerung durch Auswaschung sowie der Verlust von Breccieklasten an der Gesteinsoberfläche bedingt durch das Absanden von Matrix beobachten. Insgesamt ist diese im Quartär zwischeneiszeitlich gebildete Breccie jedoch erstaunlich verwitterungsresistent.

re. Abb. 43: Mauerwerk und Fensterlaibung aus Höttinger Breccie an einem Altstadthaus von Hall in Tirol.

Artefakte aus Marmor und dere Herkunftsbestimmung

Abb. 44: Reste des Faltengewandes einer Statue aus Gummerner Marmor (gefunden in der ehemaligen römischen Station Oberdrauburg/ Kärnten), Höhe ca. 10 cm.

Die geologischen Bildungsbedingungen von Marmor und die Vorkommen im alpinen Raum wurden bereits oben kurz beschrieben. Auch die Tatsache, dass Marmor seit frühester Zeit bevorzugtes Material für die Herstellung von besonders wichtigen Objekten (z.B. Römische Meilensteine, Bauschmuck, Skulpturen etc.) war. Vielfach wurde Marmor entweder als Rohmaterial oder als Artefakt von weit her transportiert, so dass sich des Öfteren die Frage ergibt, woher das Objekt kommt und in welchen kulturhistorischen Zusammenhängen es daher zu sehen ist. Eine Chance, eine Aussage hierzu vom Marmormaterial selbst zu erhalten, bietet die geochemische Methode der Bestimmung der stabilen Isotope. Isotope sind Atome eines Elements mit gleicher Zahl von Protonen und Elektronen, aber unterschiedlicher Anzahl von Neutronen im Kern, was dazu führt, dass ein Element eine gewisse Streubreite in seinem Atomgewicht aufweist. Es gibt stabile und instabile Isotope, deren zeitabhängiger Zerfall mittels der Halbwertszeit erfasst wird. Eine für die Archäologie wichtige Anwendung hat sich hieraus bei Marmoren ergeben, indem man eine Bestimmung der stabilen Isotope von Sauerstoff und Kohlenstoff in dem Gesteinsbildenden Mineral Kalzit ($CaCO_3$) vornimmt.

Bereits Craig & Craig (1972) ist der Nachweis gelungen, dass – bei Vorhandensein entsprechender Datenmengen – die stabilen Isotope von Sauerstoff und Kohlenstoff von griechischen Marmoren verschiedener Herkunft nachweisbar sind. Auch regionale Marmorvorkommen können durch diese Methode unterschieden werden. Wenn man die Werte in ein Diagramm einträgt (Abb. 46), ergeben sich charakteristische Isotopenverteilungsfelder („Isotopenwolken") für die verschiedenen Marmore. Die Erfahrung bei weiteren Untersuchungen hat gezeigt, dass sich einige Marmore sehr gut unterscheiden, bei anderen ergeben sich Überlappungen in den Isotopiedaten, was die Herkunftsaussage einschränkt oder manchmal sogar unmöglich macht. Häufig lässt sich dieses Manko mit zusätzlichen materialspezifischen Daten, wie Spurenelementanalyse, einer detaillierten petrographischen Charakterisierung des Materials und Korngrößenanalysen an diesen Marmoren ausgleichen. Damit hat man für Marmore, die aus bekannten Vorkommen stammen, ein breites charakteristisches Eigenschaftsspektrum erhalten. Diese Daten können, gesammelt in einer speziellen Datenbank, nun für die Herkunftsbestimmung von Marmorobjekten unbekannter Provenienz eingesetzt werden. Ein vorteilhafter Aspekt in dieser mineralogischen Methode ist, dass diese Untersuchungen mit sehr wenig Probenmaterial (max. 1 bis 2 cm^3) auskommen, denn in der Regel kann aus verständlichen Gründen von wertvollen Objekten meist nur ganz wenig Probenmaterial genommen werden. Allerdings muss auch gesagt werden, dass, je größer die Zahl der Proben ist, umso besser eine Aussage abgesichert werden kann.

Diese Methode der Herkunftsbestimmung hat sich bei einigen Marmorobjekten aus dem ostalpinen Raum bewährt. So konnte gezeigt werden, dass bei den berühmten romanischen Marmorportalen des Schlosses Tirol ausschließlich regionale Marmore von Sterzing und Laas verwendet wurden und die spekulative Annahme, die Künstler hätten das Material aus anderen Regionen mitgebracht, wurde widerlegt (Recheis, 2004). Eine Herkunftsbestimmung archäologischer Marmorobjektfunde aus der römischen Siedlung Faschendorf (Kärnten) zeigte, dass die Römer trotz ausgezeichneter Verkehrbedingungen und einem reichlichen Angebot aus renommierten Marmorprovinzen des Reiches (Carrara, griechische Marmore) regionale alpine Marmore bevorzugt haben (Unterwurzacher, 2007). Weiters wurde die Methode bei einem römischen Meilenstein angewandt, der 2002 in Nauders gefunden wurde. Die Untersuchungen ergaben eindeutig, dass der Meilenstein aus Laaser Marmor gefertigt wurde (Unterwurzacher, 2006).

Abb. 45: Römischer Meilenstein / gefunden in Nauders am Reschen (Laaser Marmor), Länge 1,72 m.

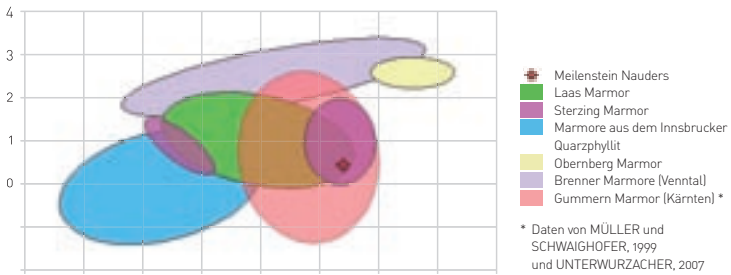


Abb. 46: Isotopenfelder für die wichtigsten Nord- und Südtiroler Marmorprovinzen (Unterwurzacher, 2006).

Literaturnachweis

Die angeführte Literatur ist über die Universitätsbibliothek Innsbruck zu erhalten.

Bidner, Thomas: Gesteine als Sensormaterialien zur Erfassung von Umwelteinflüssen. Unveröffentl. Dissertation Universität Innsbruck, 2003, 105 S.

Bitschnau, M., Mirwald, P., Bidner, T., Recheis, A.: Bauforschung auf Schloss Tirol. Die mineralogisch-materialwissenschaftlichen und geologischen Untersuchungen auf Schloss Tirol., Heft 2, Autonome Provinz Bozen / Südtirol, 2002, 48 S.

Brandner, Rainer: Tirol-Atlas, Geologische Übersichtskarte von Tirol und Südtirol. Institut für Landeskunde, Universität Innsbruck, Innsbruck, 1980

Castelli, Eugenio: Natursteine in Südtirol. Ein historischer Rohstoff an der Schwelle ins dritte Jahrtausend. Tipografia Presel, Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 1999, 120 S.

Craig & Craig: Greek marbles-determination of provenance by isotopic analysis. Science 176, 1972, 401-403.

Egg-Schwaz, Erich: Süddeutsche Kunst im mittelalterlichen Tirol, Zeitschrift für Kunstgeschichte, 17 Bd., H. 2, 1954, 163-184

Fels, Helmut: Die sedimentologische Entwicklung der Permabfolge im westlichen Südtirol (Nord-Italien). Sonderveröffentlichungen / Geologisches Institut der Universität Köln. Köln, 1981, 145 S.

Fimmel, Romana: Verwitterungsverhalten der alpinen Marmore von Laas und Sterzing, Unveröffentl. Dissertation, Universität Innsbruck, 1996, 116 S.

Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R.: Verwitterungsformen - Klassifizierung und Kartierung. In Rolf Snethlage, Ed. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung I, Verbundforschungsprojekt Gesteinszerfall und Gesteinskonservierung, 1995, 41-87.

Franzen, C.; Diekamp, A.; Obojes, U.; Unterwurzacher, M.; Mirwald, P.-W.: Lithologische Kartierung der Kapelle in der Burgruine Kropfsberg, Reith im Alpachtal/Tirol; Z. Dtsch. Ges. Geowiss. Bd. 156; 2005, 197-203.

Franzen, Christoph: Historische Bauwerksteine in Südtirol. Verteilung und Verwitterungsverhalten. Unveröffentl. Dissertation, Universität Innsbruck, 2002, 118 S.

Franzen, C., Bidner, T., Mirwald, P.W.: Lithologische Aufnahme sakraler Gebäude. In: Forschungsprojekt zur Bewahrung des gemeinsamen kulturellen Erbes im Bereich der Baudenkmäler des Landes Tirol und Südtirol, Unveröffentlichter Endbericht im Auftrag der Landesdenkmalämter Tirol und Südtirol, 2001, 60 S.

Franzen, C., Laimer, M., Stampfer, H.: St. Katharina in der Scharte in Hafling. Herausgegeben von der Messerschmitt Stiftung, München; Tappeiner AG, Lana; 2000, 36 S.

Grimm, Wolf-Dieter: Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland, Arbeitsheft des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 50, München, 1990, 250 S. und Bildtafeln.

Herz, N.: Isotopic analysis of marble. In Arch. Geo., 1985, 331-351.

Hofer, Roland: Aus welchem Stein ist Hall gebaut? Ein Inventar der Naturbausteine an den Fassaden der Altstadt. In: Forum Hall in Tirol, Neues zur Geschichte der Stadt, Bd. 1, Zanesco, A. und Schmitz-Esser, R (Ed.), Hall in Tirol, 2006, 176 S.

Hofer, Roland: Das Naturbausteininventar der Altstadt von Hall in Tirol einschließlich einer materialkundlichen Charakterisierung der wichtigsten Gesteinsarten. Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 2004, 86 S.

Hugues, Theodor; Ludwig Steiger; Johann Weber: Naturwerkstein: Gesteinsarten, Details, Beispiele, 1. Auflage. München: Inst. f. internat. Architektur-Dokumentation, 2002, 112 S.

Klebelsberg, Raimund von: Geologie von Tirol. Berlin. Verl. Borntraeger, XII, 1935, 872 S.

Köll, Lois: Laaser Marmor- Gewinnung und Verwertung. Verlag Wagner, Innsbruck 1964, 115 S.

Kownatzki, R.: Verwitterungszustandserfassung von Natursteinbauwerken unter besonderer Berücksichtigung phänomenologischer Verfahren, Dissertation, Aachener Geowiss. Beiträge, 22, 1997, 256 S.

Krainer, Karl: Mölten im Wandel der Erdgeschichte. Eine Einführung in die Gesteins- und Fossilwelt von Mölten und Umgebung. 1. Auflage. Gemeinde Mölten, 2000, 93 S.

Krumbein, W. E.: Über den Einfluss von Mikroorganismen auf die Bausteinverwitterung – eine ökologische Studie, Deutsche Kunst Denkmalpflege, 31, 1973, 54-71.

Maier, Josef: Handbuch Historisches Mauerwerk. Birkhäuser Verlag, Basel, 2002, 325 S.

Maresch, Walter & Medenbach, Olaf: Gesteine. Steinbachs Naturführer, Mosaik Verlag, 1996, 288 S.

Mirwald, P.W., Bidner, T. & Recheis, A.: Die mineralogisch-materialwissenschaftlichen und geologischen Untersuchungen auf Schloß Tirol. In: Bauforschung auf Schloß Tirol, de Rachewiltz, S. (Ed), Heft 2, Landesmuseum Schloß Tirol, Autonome Provinz Bozen, 1999, 10-47.

Müller, H.W. & Schwaighofer, B.: Die römischen Marmorsteinbrüche in Kärnten, Carinthia II, 2, 1999, 549-572.

Obojes, Ulrich: Vergleichende materialtechnische und petrophysikalische Untersuchungen an Naturwerksteinen und deren Veränderungen durch Hitze- und Brandeinwirkung. Dissertation, Universität Innsbruck (in Vorbereitung).

Obojes, U., Saxer, A., Tropper, P., & Mirwald P. W.: The effects of fire and heat on natural building stones: first results from the Gröden Sandstone, Heritage, Weathering and Conservation (HWC 2006), 21-24 Juni 2006, Madrid, Proceedings, 521-524.

Obojes, Ulrich: Quartärgeologische Untersuchungen an den Hängen der Innsbrucker Nordkette (Höttinger Breccie). Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 2003, 91 S.

Recheis, Arno: Schloss Tirol und seine Marmorportale. Mineralogische und materialkundliche Untersuchungen. Unveröffentl. Dissertation Universität Innsbruck, 2004, 176 S.

Rentmeister, Andreas: Instandsetzung von Natursteinmauerwerk. Deutsche Verlags-Anstalt, München, 2003, 240 S.

Rohatsch, Andreas: Gesteinskunde in der Denkmalpflege unter Besonderer Berücksichtigung der jungtertiären Naturwerksteine von Wien, Niederösterreich und dem Burgenland. Unveröffentl. Habilitationsschrift, Universität für Bodenkultur, Wien, 1997, 284 S.

Sanders, D., Unterwurzacher, M., Rüf, B.: Microbially induced calcium carbonate in tufas of the western eastern alps: a first overview. Geol. Alp., Vol. 3, 2006, 167-189.

Schulz, Oskar: Zusammenstellung der Gewinnungsstätten von Gesteinsrohstoffen von Nord-, Ost und Südtirol, Tirol-Atlas, Begleittexte VI, 1980, 32 S.

Snethlage, Rolf: Leitfaden Steinkonservierung. Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1997, 215 S.

Snethlage, Rolf: Steinkonservierung, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 22, München, 1984, 203 S.

Spötl, C & Gemmell, A.M.D.: Dating the Hötting Breccia, Innsbruck, Austria, a sediment affected by post-depositional calcification. Abstract, 11th Intern. Conf. on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating (LED 2005), Köln 2005.

Stingl, Volkmar & Mair, Volkmar: Einführung in die Geologie Südtirols. Kraler Druck, Brixen/Vahrn (BZ), 2005, 79 S.

Stingl, Volkmar & Wachtler, Michael: Dolomiten: das Werden einer Landschaft. 2. Auflage. Bozen, Verlagsanstalt Athesia, 1999, 147 S.

Tinnefeld, Heinz-Dieter: Die Naturstein – Industrie in Südtirol. Schriftenreihe des Südtiroler Wirtschafts- und Sozalinstituts, Band 54, 1971, 96 S.

Unterwurzacher, Michael: Petrophys. Charakterisierung und Herkunftsbestimmung des röm. Meilensteines von Nauders. In Walde, E. & Grabherr, G.; Via Claudia und Römerstraßenforschung im östlichen Alpenraum. IKARUS 1, 2006, 361-366.

Unterwurzacher, Michael: Tiroler Marmore als historischer Werkstoff-Materialcharakterisierung, Verwitterungsverhalten, Herkunftsbestimmung. Dissertation, Universität Innsbruck (in Vorbereitung, 2007)

Wenzel, Fritz; Gigla, Birger; Kahle, Martin & Stiesch, Gerhard: Historisches Mauerwerk. Untersuchen, Bewerten und Instandsetzen. Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe, Engelhardt & Bauer Druck- und Verlagsgesellschaft, Karlsruhe, 2000, 270 S.

Winkler, Erhard M.: Stone in Architecture, Properties, Durability. University of Notre Dame, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998, 313 S.

Autoren

Mag. Ulrich Obojes
Universität Innsbruck, Institut für Mineralogie & Petrographie

Co-Autoren:

Dipl. Ing. Walter Hauser
Bundesdenkmalamt, Landeskonservatorat Tirol

Univ.-Prof. Dr. Peter W. Mirwald
Universität Innsbruck, Institut für Mineralogie & Petrographie

Bildnachweis

Universität Innsbruck, Institut für Mineralogie und Petrographie, Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Peter W. Mirwald: Abb. 1, 2, 5-10, 12, 14-20, 22-32, 41-46

Geologische Karte von Tirol und Südtirol nach Prof. Dr. Rainer Brandner, Tirol-Atlas, 1980: Abb. 3

Copyright by terra-helvetica; Verändert nach Press and Siever (1995); Photonachweis G. Zeilinger + USGS (Lava): Abb. 4

Dr. Geol. Lorenz Palmann: Abb. 11

Dokumentation Thaler, 2003; Landesdenkmalamt Südtirol: Abb. 13

Tappeiner Verlag: Abb. 21

Dipl. Ing. Walter Hauser, Landeskonservatorat für Tirol: Abb. 33-40

Dr. Michael Unterwurzacher, 2006 (siehe Literaturnachweis): Abb. 46

Stadtgrabenmauer Hall in Tirol.

Förderungen

Die Arbeitsgruppe von Prof. P. W. Mirwald an der Universität Innsbruck wurde und wird gefördert von

Interreg-Programme der Europäischen Union / Österreich-Italien
Länder Tirol und Südtirol
Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur
FWF Der Wissenschaftsfonds.
Universität Innsbruck

Autonome Provinz Bozen / Südtirol
Provincia Autonoma di Bolzano / Alto Adige

Kooperationen der Arbeitsgruppe an der Universität Innsbruck

Institut für Mineralogie und Petrographie
Institut für Geologie und Paläontologie
Institut für Pharmazie
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

Kooperationen der Arbeitsgruppe außerhalb der Universität Innsbruck

Denkmalämter von Nord- und Südtirol
Technisches Büro Dr. Thomas Bidner
Restauratorenwerkstätten Pescoller / Bruneck
Amt für Geologie und Baustoffprüfung (Südtirol) / Dr. Geol. Volkmar Mair
Architekturbüro Dr. Arch. Barbara Lanz
Architekturbüro Dr. Arch. Sonja Mitterer

Skulpturen aus Sterzinger Marmor an der Triumphpforte Innsbruck.

Danksagung

Den Anstoß zu dieser Darstellung der historischen Verwendung von Naturstein in Tirol kam von Frau HR Dr. Herta Arnold vom Amt der Tiroler Landesregierung /Abteilung Kultur.

Der mittelbare Hintergrund war ein Interreg-Forschungsprojekt zwischen dem Bundesland Tirol und der Autonomen Provinz Bozen/Südtirol, in dem diese Thematik bearbeitet wurde. Hierbei kam es zu einer sehr fruchtbaren interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen der Arbeitsgruppe „Historische Baumaterialien" am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, dem Landesdenkmalamt Südtirol und dem Landeskonservatorat Tirol, für die wir uns herzlich bedanken möchten.

Dank gilt auch den übrigen, zum Teil ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe, welche sich mit dem Themengebiet „Naturwerkstein" beschäftigten oder immer noch beschäftigen: Michael Unterwurzacher, Christoph Franzen, Thomas Bidner, Arno Recheis, Romana Fimmel und Roland Hofer.
Ihre Ergebnisse bilden einen guten Teil des Grundstockes dieses Kulturheftes.

Fresko an der Kirche zum Hl. Apostel Petrus in Auer.