

Mineralogisch-materialkundliche Aspekte der Erhaltung von Baudenkmalern

Thomas Bidner

Mineralogical aspects of the preservation of historic buildings

Zusammenfassung:

Die Bewahrung von Baudenkmalern, als Bestandteil unseren kulturellen Erbes, sieht sich seit Beginn der industriellen Revolution, und der damit verbundenen starken Erhöhung der anthropogen bedingten Umwelbelastung, komplexen Problemstellungen gegenüber. Der hohe finanzielle Anspruch den die notwendigen Leistungen an die Öffentlichkeit stellen, fordert eine möglichst optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Mittel. Mineralogisch-materialkundliche Untersuchungen können hier einen wichtigen Beitrag leisten. Gerade in den letzten zwanzig Jahren haben umfangreiche Forschungsprojekte, national wie international, die Bedeutung mineralogisch-materialkundlicher Untersuchungen für die Planung, Umsetzung und Nachbetreuung von Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen in der Denkmalpflege aufgezeigt. In der vorliegenden Arbeit werden wichtige Eigenschaften von Baustoffen, wie Porenraum, sowie Aufnahme und Abgabe von Feuchte, für bislang mit diesen Problemen nicht oder nur untergeordnet befaßte Leser überblicksmäßig dargestellt, wichtige physikalische und chemische Verwitterungsprozesse angesprochen und praktische Fragestellungen aufgezeigt.

Abstract:

The preservation of historic buildings, being an important part of our cultural heritage, faces complex problems because of anthropogenic caused influences. During the last years, mineralogical investigations proofed to be an essential part of the planning and realization of preservation projects. The current paper presents a general view of important properties of building materials, like pore-space or uptake and release of water, and deals with different weathering processes as well as with the practical part of the investigations.

Keywords: historic buildings, preservation, mineralogical investigations, weathering processes.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Wichtige mineralogisch-materialkundliche Eigenschaften von Baustoffen

Porenraumeigenschaften

Hygroskopische Eigenschaften

Physikalische und chemische Verwitterungsprozesse

Physikalische Verwitterungsprozesse

Chemische Verwitterungsprozesse

Mineralogisch-materialkundliche Fragestellungen in der denkmalpflegerischen Praxis

Literatur

Einleitung

Seit Beginn der industriellen Revolution führen anthropogen verursachte Umweltbelastungen zu verstärkter Schädigung von Baudenkmalern. Manche Wissenschaftler gehen aufgrund empirischer Beobachtungen sogar von einem dramatisch beschleunigten Verlauf der Zerfallsprozesse aus. Auf jeden Fall stellt diese Situation aber eine ernsthafte Bedrohung des kulturellen Erbes dar. Die für die Erhaltung von Baudenkmalern aufzuwendenden Summen bedeuten für die Volkswirtschaften eine erhebliche finanzielle Belastung. Es gilt daher, Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen durch Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses einer möglichst effektiven Nutzung der vorhandenen Ressourcen zuzuführen. Vor allem in den letzten zwanzig Jahren haben umfangreiche Forschungsprojekte, national wie international, die Bedeutung mineralogisch-materialkundlicher Untersuchungen für die Planung, Umsetzung und Nachbetreuung von Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen in der Denkmalpflege aufgezeigt. Die hohe Bedeutung, die der Erhaltung des kulturellen Erbes zukommt, zeigt sich auch in dem Umstand, daß die Europäische Kommission im 4. Themen-Programm „Energie, Umwelt und nachhaltige Entwicklung“ des 5. EU-Rahmenprogrammes das Problemfeld „Die Stadt von morgen und das kulturelle Erbe“, die bessere Bewertung von Schäden am kulturellen Erbe und die Entwicklung innovativer Erhaltungsstrategien, als förderungswürdige Themenbereiche ausgewiesen hat.

Die vorliegende Arbeit soll allen an der Erhaltung unserer Baudenkmalern Interessierten, die bislang noch keinen Zugang zur mineralogisch-materialkundlichen Seite dieser Problemstellung hatten, einen Überblick über hierbei wichtige Materialeigenschaften, mögliche Schäden an Baumaterialien und praktische Anwendungen mineralogisch-materialkundlicher Arbeiten darstellen.

Im Literaturverzeichnis wurde gezielt auf die Nennung von Spezialarbeiten verzichtet. Vielmehr wurde versucht, Standardwerke anzuführen, die im Fall am Thema Interessierten als weiterführende Informationsquelle dienen sollen.

Wichtige mineralogisch-materialkundliche Eigenschaften von Baustoffen

Innerhalb des Mauerwerksverbandes (Naturbausteine, Ziegel, Mörtel, Putze, Schlämme) kann hinsichtlich der zu schädigenden Komponenten zwischen den im Mauerwerk verbauten Naturbausteinen oder Ziegeln zum einen, und dem Fugennetz (Mörtel) bzw. der Architekturoberfläche (Putze, Schlämme) zum anderen unterschieden werden, wobei die Bereiche hinsichtlich der destruktiven Wirkung der Schadensursachen selbstverständlich ineinandergreifen, so daß in der praktischen Arbeit der gesamte Mauerwerksverband als Wirkungsgefüge aufgefaßt werden muß.

Der in der Einleitung angesprochene, seit Mitte des vorigen Jahrhunderts stark beschleunigte, Verlauf von Zerfallsprozessen, ausgelöst insbesondere durch die stark gestiegene Schadstoffbelastung der Luft, wird aus materialtechnischer Sicht, von der Zusammensetzung des Materials und vor allem von den Porenraumeigenschaften desselben bestimmt, die für Art und Ausmaß der Aufnahme und Akkumulation von Schadstoffen aus wässrigen Lösungen bzw. der Atmosphäre und damit seitens des Materials für die Intensität anthropogen induzierter Verwitterungsprozesse wesentlich sind. Neben dem Mineralbestand stellt das Korngefüge eines Materials die wichtigste petrophysikalische Eigenschaft dar. Das Korngefüge wird von den Mineralkörnern und dem zwischen diesen befindlichen Porenraum bestimmt.

Porenraumeigenschaften

Insbesondere der Porenraum ist letztendlich wesentlich für das Verwitterungsverhalten eines Baustoffes. Um den Porenraum in materialtechnischer Hinsicht charakterisieren zu können, müssen verschiedene Parameter bestimmt werden:

- Größe der einzelnen Poren
- Porengrößenverteilung
- Gestalt der Poren.

Von der Gesamtporosität eines Baustoffes ist die scheinbare (offene) Porosität zu unterscheiden, die durch die Menge der untereinander verbundenen Poren bestimmt wird. Letztere Größe ist wesentlich dafür, inwieweit Flüssigkeiten und Gase in einem Baustoff migrieren können und sie bestimmt damit natürlich auch wesentlich mit, in welchem Umfang materialschädigende Agenzien im Material wirksam sein können.

Eng verbunden mit der Porosität ist die „innere Oberfläche“ des Materials. Sie wird primär definiert durch die Fläche der Porenwände in demselben. Die Bedeutung der „inneren Oberfläche“ für Verwitterungsprozesse resultiert aus dem Umstand, daß sie Adsorptions- und Reaktionsfläche für Gase und Flüssigkeiten darstellt.

Hygroskopische Eigenschaften

Die sogenannten hygroskopischen Eigenschaften der Baustoffe, d.h. Aufnahme, Transport und Abgabe von Wasser bzw. Wasserdampf, sind von wesentlicher Bedeutung für die Verwitterungsvorgänge.

Der Werkstoff im Mauerverband ist einem Wechsel von Feuchteeintrag und -austrag, sowohl aus dem Untergrund wie auch aus der Atmosphäre, ausgesetzt.

Die ständig wechselnde Durchfeuchtung ist auch der Motor für unterschiedliche Reaktionen im Material. Vor allem der Umstand, daß in den Baustoff eindringende Feuchte häufig noch zusätzlich gelöste Stoffe enthält, ist hier zu beachten.

So ist Feuchte die aus der Luft aufgenommen wird häufig mit verschiedenen lufttransportierten Schadstoffen wie Schwefel- und Stickstoffverbindungen bzw. Rußteilchen oder Salzen belastet.

In Abhängigkeit vom betroffenen Material kann es in der Folge zu verschiedenen chemischen Reaktionen kommen, die zu starken Schädigung desselben führen können (siehe Punkt 2.3).

Aus dem Untergrund aufsteigende wässrige Lösungen enthalten häufig Salze, die in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften des Baumaterials und den Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) unterschiedliche Schadensmechanismen im Material induzieren können (siehe ebenfalls Punkt 2.3).

Will man den Feuchtehaushalt eines Bauwerkes beurteilen, so muß man im Großen zwischen zwei potentiell möglichen „Feuchtequellen“ unterscheiden.

Zum einen die Aufnahme von Feuchte aus der Luft. Die verschiedenen Mechanismen die zur Feuchtaufnahme aus der Luft beitragen, können über hygrische Kenngrößen beschrieben und, zumindest partiell, bewertet werden.

Zum anderen stellt die Feuchtaufnahme aus dem Untergrund einen oft wesentlichen Faktor für den Feuchtehaushalt eines Bauwerkes dar. Hier ist primär die hygische Kenngröße der kapillaren Wasseraufnahme von Bedeutung (s.u.).

Die hygischen Kenngrößen von Materialien werden in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte zwei unterschiedlichen Bereichen zugeordnet:

Bei relativen Luftfeuchten unter 95% spricht man vom „hygroskopischen“ Bereich. Hier ist ausschließlich der atmosphärische Wasserdampf für die Durchfeuchtung eines Mauerwerkes aus der Luft von Bedeutung, wobei zwei physikalische Mechanismen zu unterscheiden sind:

- a. Durch Adsorption kommt es zu einer Anlagerung von Wasser aus der feuchten Luft an den Porenwänden des Baustoffes.
- b. Darüberhinaus kann es in Poren, deren Radius kleiner als 10–7 m ist, zur Kondensation des Dampfanteils der Luft und damit zur Füllung der Poren mit Wasser kommen. Dieser Vorgang, der auch als Kapillarkondensation bezeichnet wird, hat seine Ursache in dem Umstand, daß es in Poren mit so geringen Radien zur Erniedrigung des Sättigungsdampfdruckes der Luft kommt, da der auf das System wirkende Druck aufgrund des in der Poren herrschenden Kapillardruckes erhöht wird. Es kann daher bei sehr geringen Porenradien schon bei relativ geringen Luftfeuchten zur zumindest teilweisen Füllung mit Wasser kommen, was in der weiteren Folge zum Beispiel über Frostwirkung zu einer Beanspruchung des Materials führen kann.

Im Bereich über 95% relativer Luftfeuchte kommt es zur Kondensation des Wasserdampfes zu Wasser. Hier spricht man vom „überhygroskopischen“ Bereich.

Im überhygroskopischen Bereich, also bei einer relativen Luftfeuchte von über 95%, ist die kapillare Wasseraufnahme ein wesentlicher Prozeß für die Durchfeuchtung von Baumaterialien. Sie ist an kapillare Saugkräfte gebunden, die von Poren mit einem Porenradius von 10–7 bis 10–3 m ausgeübt werden können, wobei die Ursache in der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten zu suchen ist. So kommt es an der Grenze zwischen Wasser und den Porenwänden zur Ausbildung von Anziehungskräften, aufgrund derer Wasser gegen die Schwerkraft in den Poren hochsteigen kann, bis das Gewicht der Wassersäule die Anziehungskräfte ausgeglichen hat.

Für den Feuchtetransport innerhalb des Materials ist die Wasserdampfdurchlässigkeit von großer Bedeutung. So ist im Bereich der Denkmalpflege die Wasserdampfdurchlässigkeit ein wesentlicher

Parameter für sogenannte Sanierputze, die über eine hohe Durchlässigkeit verfügen sollen, um die Diffusion von Feuchte aus dem Mauerwerk zu ermöglichen.

Für die meßtechnische Ermittlung der unterschiedlichen hygrischen Kenngrößen stehen heute verschiedene Bestimmungsmethoden zur Verfügung, die auch in Normenwerken (DIN) geregelt sind.

Alle diese Methoden können jedoch selbstverständlich nur Annäherungen an die tatsächlichen, meist wesentlich komplexeren Bedingungen im Mauerwerksverband darstellen. Die Interpretation und Bewertung der durch die entsprechenden Untersuchungen gewonnenen Daten der hygrischen Kenngrößen stellt daher hohe Anforderungen an den Sachbearbeiter und sollten den mineralogisch-materialtechnischen orientierten Experten vorbehalten bleiben, da zusammenfassend nochmals darauf hingewiesen werden muß, daß der Feuchtegehalt im Mauerwerksverband sowohl für physikalische wie auch für chemische Verwitterungsprozesse sehr wesentlich ist.

Physikalische und chemische Verwitterungsprozesse an Bauwerken

Physikalische Verwitterungsprozesse

Bei den physikalischen Verwitterungsprozessen sind insbesondere die Frostsprengung, aufgrund der Volumenzunahme von rund 8% beim Gefrieren des Wassers im Porenraum, sowie die Salzsprengung von Baustoffen, bedingt durch Phasenumwandlungen von aus Salzlösungen auskristallisierenden Mineralen im Porenraum, verbunden mit Volumenänderungen, als wesentliche Faktoren zu nennen.

Insbesondere die Anzahl der Volumenübergänge, sprich Frost-Tau-Wechsel aufgrund von Temperaturschwankungen, bzw. von Phasenübergängen in salzbelasteten Bereichen infolge der Änderung der Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte, Druck), bestimmt hier die Intensität der zerstörenden Wirkung.

Ebenfalls nicht unterschätzt werden darf die Sprengwirkung, die durch Wurzeldruck von Pflanzen hervorgerufen werden kann.

Chemische Verwitterungsprozesse

Bei den chemischen Verwitterungsprozessen sind an erster Stelle die Einwirkungen der Luftschadstoffe zu nennen.

Insbesondere die Oxide CO_2 , SO_2 , und NO_x sind hier anzuführen, die mit Wasser (z.B. aus Niederschlägen) zu Säuren reagieren (H_2CO_3 -Kohlensäure, H_2SO_4 -Schwefelsäure, HNO_3 -Salpetersäure) und hierdurch Baumaterialien schädigen können.

Vor allem die Verbindungen von Schwefel und Stickstoff haben seit dem Beginn der industriellen Revolution entscheidend zum beschleunigten Verfall von Baudenkmalern beigetragen.

So reagiert SO_2 in der Luft mit H_2O zu schwefeliger Säure (H_2SO_3). Diese wiederum kann direkt mit reaktionsfähigen Bestandteilen des Baumaterials zu Salzen (Sulfiten) reagieren, die in der Folge zu Sulfaten oxidiert werden. Oder die schwefelige Säure wird durch Oxidation zu Schwefelsäure (H_2SO_4) umgewandelt, die Baustoffe chemisch korrodieren läßt.

Vor allem betroffen sind kalkhaltige Materialien mit großer kapillarer Saugfähigkeit (sowohl Naturbausteine, wie auch kalkgebundene Mörtel und Putze). Hierbei wird das Kalziumkarbonat (CaCO_3)

zu Gips (CaSO_4) umgesetzt, der wesentlich besser wasserlöslich als das Kalziumkarbonat ist. Verbunden damit ist auch eine Volumensvergrößerung um rund das Doppelte, was wiederum zur physikalischen Verwitterung beiträgt.

Die aus Stickoxiden (NO_x) entstehende Salpetersäure (HNO_3) greift ebenfalls vor allem kalkhaltiges Material unter Bildung leichtlöslicher Nitrate an:



Ein sehr häufiges Schadensphänomen, das sowohl chemische wie auch physikalische Verwitterungsprozesse zur Folge haben, auf vielfältige Ursachen zurückgeführt werden kann und meist in engem Zusammenhang mit Problemen der Mauerwerksfeuchte steht, ist die Belastung des Mauerwerksverbandes durch bauschädliche Salze.

Das Auftreten von Salzen kann unterschiedliche Ursachen haben:

- Den Herstellungsprozeß (durch Verunreinigungen in den Ausgangsmaterialien der Baustoffe oder im Herstellungsprozeß selbst)
- Salzeintrag über wässrige Lösungen aus dem Untergrund
- Salzbildung im Baustoff (z. B. durch den Einfluß von Luftschadstoffen oder durch unsachgemäße Instandsetzung- oder Konservierungsmaßnahmen).

Für die Entstehung von Mauersalzschäden muß der Baustoff ein Porengefüge aufweisen, das Wassertransport ermöglicht.

Die Schadenswirkungen sind neben chemischer allerdings vor allem auch physikalischer Natur. Aus Lösungen auskristallisierende Salzminerale haben Kristallisationsdrücke zur Folge, die zur mechanischen Zerstörung des Baustoffs führen können.

Zusätzlich können verschiedene Mauersalze unterschiedliche Hydrate bilden, d.h. mit oder ohne Kristallwasser kristallisieren. Die Volumenvergrößerung bei Einbau des Wassers in das Kristallgitter führt zu Hydratationsdrücken, die ebenfalls die mechanische Zerstörung des Baustoffes bewirken.

In beiden Fällen ist das Ausmaß der mechanischen Zerstörung sehr wesentlich von der Häufigkeit der Kristallisationsprozesse abhängig. Je öfter, bedingt durch Änderung der Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte, Druck), Kristallisationsvorgänge ablaufen, desto stärker ist die zerstörende Wirkung.

Ein Zusatzeffekt der Salzbelastung von Mauerwerk ist der Umstand, daß versalzene Mauerbereiche eine erhöhte Hygroskopizität aufweisen, d.h. die Salze binden, in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchte, den in der Luft enthaltenen Wasserdampf und erhöhen damit die Feuchtebelastung des Mauerwerkes. Dies wiederum kann im weiteren z.B. eine verstärkte Frostbeanspruchung zur Folge haben, bzw. kann es zu einem verstärkten Transport von Salzlösungen in andere Mauerbereiche kommen.

Auch bei den chemischen Verwitterungsprozessen sind biologische Mechanismen zu erwähnen. Vor allem Säuren, die als Stoffwechselprodukte von Pflanzen ausgeschieden werden, sind hier von Bedeutung.

Mineralogisch-materialkundliche Fragestellungen in der denkmalpflegerischen Praxis.

Die Probleme und Fragestellungen, die seitens der Denkmalpflege an den Mineralogen herangetragen werden können sind vielfältig.

Im Bereich der bauhistorischen Dokumentation ist die materialtechnische Kartierung des Mauerwerkes, die entsprechende Erfassung der verwendeten Materialien, ein wichtiger Punkt moderner denkmalpflegerischer Arbeiten. Ergänzt werden kann die materialtechnisch orientierte Kartierung durch eine Schadenskartierung des Mauermaterials, sowie des Fugennetzes und der Putzflächen. Die hierbei mögliche Ausweisung unterschiedlicher Schadenstypen und Schadenskategorien hat neben dem dokumentarischen Wert auch das Ziel, konkrete Hilfestellung bei der Planung von Instandsetzungs- und Erhaltungsmaßnahmen zu leisten.

Verschiedene Messungen direkt am Untersuchungsobjekt können mithelfen, den Gesamtzustand des Gebäudes zu bewerten. So kann die Prüfung des Wasseraufnahmevermögens vor Ort zum Beispiel wertvolle Hinweise dahingehend liefern, inwieweit in der Vergangenheit durchgeführte Konservierungsmaßnahmen noch wirksam sind. Ultraschallmessungen können insbesondere an exponierten Bereichen bzw. an Bauplastiken, Hinweise auf den Erhaltungszustand, bzw. den Erfolg von Konservierungsmaßnahmen liefern.

Die gezielte Entnahme von Materialproben und deren nachfolgende Untersuchung im Labor trägt entscheidend zur Bewertung des vorherrschenden Istzustandes eines Bauwerkes bei und hilft somit bei der Planung und Optimierung durchzuführender Instandsetzungs- oder Erhaltungsmaßnahmen. Für diesen Zweck steht heute ein breite Palette unterschiedlicher Untersuchungsmethoden zur Verfügung, wobei insbesondere die folgenden Fragestellungen zur Untersuchung gelangen:

- Mineralogische Zusammensetzung und Gefüge von Naturbausteinen
- Petrophysikalische Kenngrößen von Baustoffen (häufig Porenraumparameter und hygrische Parameter; siehe auch Punkt 2)
- Materialtechnische Charakterisierung von Mörtel- und Putzproben (Art des Bindemittels, Verhältnis Bindemittel:Zuschlag, petrographische Charakterisierung des Zuschlages, Korngrößenverteilung des Zuschlages, Art von Zusatzstoffen und Zusatzmitteln)
- Ermittlung der Belastung des Mauerwerkes mit bauschädlichen Salzen
- Bestimmung der Feuchtebelastung des Mauerwerkes.

Die zusammenführende Bewertung und Interpretation der vor Ort und im Labor ermittelten mineralogisch-materialtechnischen Daten fließt in die Planung und Umsetzung von Instandsetzungs- und Erhaltungsmaßnahmen ein. Die begleitende und nachfolgende Betreuung dieser Maßnahmen stellt ebenfalls einen wesentlichen Aufgabenbereich des mineralogisch-materialkundlichen Bearbeiters dar.

Welche Anforderungen schwerpunktmäßig an den mineralogisch-materialkundlich orientierten Experten gestellt werden, ist, bedingt durch die unterschiedlichen verwendeten Baumaterialien, sowie die unterschiedliche Ausprägung der Baustile, regional verschieden.

Während zum Beispiel in vielen Regionen Deutschlands, aber auch in Österreich, Beispiel Stephansdom, die häufige Verwendung von Sandsteinen große denkmalpflegerische Probleme mit sich bringt, da Sandsteine, insbesondere karbonatisch gebundene, vor allem aufgrund ihrer Porenraumeigenschaften sehr anfällig für Verwitterungsprozesse sind, resultieren im Raum Tirol effektive Probleme für die Erhaltung von Baudenkmalern nur untergeordnet aus den verwendeten Naturbausteinen. Solche können insbesondere in Südtirol dort festgestellt werden, wo permische Sandsteine (Grödner Sandstein) für Bauten verwendet wurden (z.B. an der Pfarrkirche zu Terlan, oder auch am Dom zu Bozen).

Die Ursache dafür, daß in Tirol effektive Probleme der Natursteinverwitterung auch an steinsichtigen Bauwerken bzw. Bauwerksteilen nur untergeordnet gegeben sind, liegt in dem Umstand begründet, daß die verwendeten Gesteine aufgrund ihrer petrophysikalischen Eigenschaften sehr resi-

stent gegen Verwitterungsangriffe sind. Das sind neben einem breiten Spektrum kristalliner Gesteine, die bevorzugt an Bauwerken nahe am Inn zu finden sind, vor allem der sogenannte „Hagauer Marmor“ und „Kramsacher Marmor“, sowie die Höttinger Brekzie, lokal auch Kalke der Nördlichen Kalkalpen. Alle diese Gesteine erweisen sich als offensichtlich sehr verwitterungsresistent. Untersuchungen am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck haben gezeigt, daß diese Gesteine überwiegend durch ein sehr geringes Porenvolumen und sehr geringe Wasseraufnahmebereitschaft ausgezeichnet sind.

Darüberhinaus spielt auch der Umstand eine Rolle, daß in Tirol die überwiegende Anzahl der Bauwerke ganz oder zum überwiegenden Teil verputzt ist. Aus diesem Umstand ergeben sich aber konkrete Anforderungen an die mineralogisch-materialtechnische Bearbeitung, die sich demgemäß auf die Untersuchungen von Mörtel und Putzen und die Problematik der Salz- und Feuchtebelastung von Mauerwerk sowie auf materialkundliche Kartierungen für bauhistorische Belange konzentriert.

Literatur

BERUFSBILDUNGSWERK DES STEINMETZ- UND BILDHAUERHANDWERKS e.V. (Hrsg.) (1997): Naturwerkstein und Umweltschutz in der Denkmalpflege. 755 Seiten, Ebner Verlag, Ulm

WINKLER, E.M. (1994): Stone in Architecture. 309 Seiten, Springer Verlag, Berlin

KIESLINGER, A. (1932): Zerstörung an Steinbauten. 346 Seiten, Verlag Franz-Deuticke, Leipzig, Wien

DE QUERVAIN, F. (1967): Technische Gesteinskunde. Birkhäuser Verlag, Basel, Stuttgart

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [80](#)

Autor(en)/Author(s): Bidner Thomas

Artikel/Article: [Mineralogisch-materialkundliche Aspekte der Erhaltung von Baudenkmalern. 5-12](#)