

Michael Auras

## Der Werkstoff Gips

Nachdem Hermann Kühn in dem 1996 erschienenen ICOMOS-Heft XIX des Deutschen Nationalkomitees bereits auf die Frage „Was ist Stuck?“ eingegangen ist,<sup>1</sup> soll in diesem Beitrag der Werkstoff Gips, wie er am historischen Baudenkmal zu finden ist, in etwas größerer Bandbreite vorgestellt werden.

Gips wurde am historischen Bau in vielfacher Weise eingesetzt, sowohl in Form seiner natürlichen Varietäten Gipsstein und Anhydritstein, Alabaster und Marienglas, als auch in Form verschiedener Gipsbaustoffe, die auf dem technischen Prozess des Brennens oder Kochens von Gips, dem Anmachen mit Wasser und dem abschließenden Abbinden beruhen. Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen gegeben, bevor die vielfältigen historischen Anwendungen an einigen Beispielen dargestellt werden.

### Das Mineral Gips

Gipsbaustoffe bestehen im Wesentlichen aus dem Mineral Gips, chemisch als Calciumsulfatdihydrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bezeichnet. Die Kristallstruktur ist monoklin prismatisch, die Ausbildung in der Natur meist derb oder faserig, aber es finden sich oft auch nadelig oder tafelig prismatische Kristalle, z. B. in Form der bekannten Wüstenrosen. Das Mineral ist sehr weich, der Härtegrad nach Mohs liegt bei 2. Die Farbe variiert von farblos über weiß, grau und gelb bis zu bräunlich. Bekannte Modifikationen sind das glasklare, großkristalline Marienglas oder der durchscheinend wirkende, feinkristalline Alabaster.

### Geologische Lagerstätten/ Natürliche Vorkommen

Die natürlichen Gipsvorkommen Deutschlands entstanden als Abscheidungen aus Meerwasser. In flachen Randmeeren, die nur sporadisch überflutet wurden, herrschte eine hohe Verdunstungsrate, wodurch die Konzentration der im Meerwasser gelösten Salze immer weiter anstieg, bis schließlich zunächst die Carbonate (Calcit, Dolomit), dann Gips und schließlich die am leichtesten löslichen Salze (Steinsalz, Kalisalz, etc.) auskristallisierten. Durch Druckerhöhung infolge der Überlagerung mit jüngeren Schichten und tektonischer Prozesse bildete sich aus dem wasserhaltigen Gips das wasserfreie Calciumsulfat, der Anhydrit.

Die größten, teils hunderte Meter mächtige Calciumsulfatvorkommen Deutschlands sind der lithostratigraphischen

Einheit des Zechsteins mit einem Alter von ca. 250 Millionen Jahren zuzuordnen. Kleinere Vorkommen bildeten sich im oberen Muschelkalk, im mittleren Muschelkalk, im Keuper und im Oberjura.<sup>2</sup> Die wichtigsten stratiformen Lagerstätten finden sich im Harz und seinem Vorland, im Thüringer Becken sowie in der Windsheimer Bucht. In Norddeutschland liegen die Calciumsulfatschichten unter kilometermächtiger Sedimentüberdeckung. An Schwächezonen konnten Salz und Gips aufsteigen und die typischen Salzdiapire bilden. Diese isolierten Gipsvorkommen wurden intensiv genutzt, ihre Produkte wurden über weite Strecken transportiert. Als wichtige Vorkommen sind der Lüneburger Kalkberg und Bad Segeberg zu nennen, daneben auch das ehemalige Weiße Kliff auf Helgoland und der Sperenberg in Brandenburg.

### Das Brennen und Kochen von Gips

Neben den natürlichen Bau- und Dekorationsmaterialien Gipsstein, Anhydritstein und Alabaster spielen Gipsbaustoffe eine wichtige Rolle, die aus Bindemitteln auf Basis von Calciumsulfatphasen hergestellt wurden. Diese Bindemittel erhärten nach dem Anrühren mit Wasser. Sie können daher zur Herstellung von Mörteln benutzt werden, die im Bauwesen als Mauermörtel, als Putz oder als Stuck verarbeitet werden. Zur Gewinnung des Bindemittels wird Gips gebrannt oder gekocht. Der Brennprozess wird 1679 von dem Berliner Chemiker Johann Kunckel ganz einfach beschrieben: „Nimm die Steine von den Gipsbergen, zerschlage und brenne sie in einem Backofen, und wenn sie einen Tag und eine Nacht gebrannt haben, so stoße sie klein...“<sup>3</sup>

Das Gipsbrennen erfolgte früher in Meilern oder Feldbrandöfen, später in Schacht- oder Ringöfen. Ganz so einfach, wie von Kunckel beschrieben, ist der Prozess beim genaueren Hinsehen jedoch nicht. Beim Brennen erfolgt eine zweistufige chemische Reaktion: Zunächst kommt es zur partiellen, bei steigender Temperatur dann zur vollständigen Entwässerung des Gipses (Gleichungen 1 und 2 in Abb. 1). Das Calciumsulfat-Dihydrat (DH) entwässert also zuerst zu Halbhydrat (HH) und schließlich zu Anhydrit (A). Beim weiteren Erhitzen bilden sich nacheinander zwei weitere Anhydritmodifikationen mit gleicher chemischer Zusammensetzung, aber unterschiedlichen Kristallgitterstrukturen. Wird weiter erhitzt, erfolgt schließlich die thermische Zersetzung des Anhydrits in Calciumoxid und Schwefeldioxid. Der Erhärtungsprozess erfolgt nach Zugabe von Wasser in umgekehrter Richtung von Anhydrit oder Halbhydrat zum Dihydrat.

Neben diesem Trockenbrennverfahren gibt es noch das so genannte Nassbrennverfahren, früher als Gipskochen bezeichnet. Dabei wird Gips im Autoklaven, d. h. im geschlossenen Reaktionsgefäß, erhitzt. Unter erhöhtem Druck und Wasserdampfatosphäre bilden sich ebenfalls Halbhydrat und Anhydrit, aber mit jeweils unterschiedlichen Kristallgittern. Einen Überblick über die entstehenden Phasen gibt Abbildung 2. Die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Modifikationen von Halbhydrat und Anhydrit III sowie die Modifikationen des Anhydrit II unterscheiden sich nicht bezüglich ihres Kristallgitters, sondern lediglich bezüglich ihrer Kristallmorphologie, die ihrerseits wesentlichen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften der Calciumsulfatphasen hat. Festzuhalten ist, dass die angegebenen Temperaturbereiche nur als Anhaltspunkte zu sehen sind und die Literaturangaben hierzu variieren. Im Diagramm sind die Angaben aus dem Gips-Datenbuch des Bundesverbands der Gipsindustrie angegeben.<sup>4</sup> Es handelt sich um Temperaturen, wie sie im technischen Prozess des Gipsbrennens benutzt werden. Die unterschiedlichen Angaben sind vermutlich auf unterschiedliche Brennbedingungen und Rohstoffeigenschaften zurückzuführen. In der Realität können die Phasenumwandlungen schon bei niedrigeren Temperaturen erfolgen. Die Dehydratation von Gips zu Halbhydrat kann im Labor schon bei Temperaturen ab etwa 45 °C einsetzen,<sup>5</sup> was bei der Probenpräparation vor einer Analyse zu beachten ist.

### Baugipse

Technisch werden keine reinen Calciumsulfatphasen verwendet, sondern Gemenge aus verschiedenen Halbhydrat- und Anhydritphasen. Generell können drei Produktgruppen unterschieden werden:

- Stuckgips und andere niedrig gebrannte Gipse werden bei Brenntemperaturen zwischen 120 und 200 °C hergestellt, dabei Gemenge aus Halbhydraten und Anhydrit III erzeugt. Wird im Trockenbrennverfahren gebrannt, bilden sich als Mineralphasen  $\beta$ -Halbhydrat und  $\beta$ -Anhydrit III. Die überwiegend aus diesen Phasen bestehenden Gemenge werden als Stuckgips, Alabastergips oder Modellgips bezeichnet; sie zeichnen sich durch geringe bis mittlere Festigkeiten aus. Beim Nassbrand im Autoklaven bilden sich Gemenge aus  $\alpha$ -Halbhydrat und  $\alpha$ -Anhydrit III, die als Autoklavengips oder Hartgips bezeichnet werden, da sie sehr hohe Festigkeit erreichen.
- Putzgips und andere Baugipse entstehen durch Brennen im Temperaturbereich von 200 bis 700 °C. Dabei bilden sich Mischungen aus verschiedenen Hoch- und Niedertemperaturphasen (DH,  $\beta$ -HH,  $\beta$ -A III, A II u, A II s), deren Festigkeit je nach Zusammensetzung stark variieren kann.
- Estrichgips oder Hochbrandgips wird zwischen 800 und 1000 °C gebrannt, besitzt hohe Festigkeit und besteht im Wesentlichen aus Anhydrit II E und geringen Anteilen von Calciumoxid (CaO), das durch die thermische Zersetzung von Anhydrit entsteht.

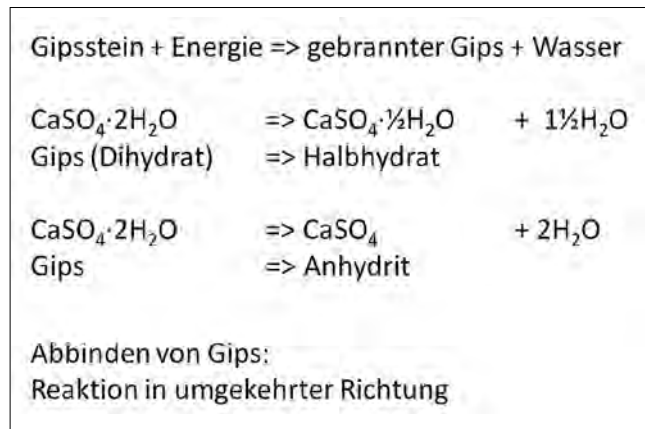


Abb. 1: Entwässerungsreaktionen beim Gipsbrennen

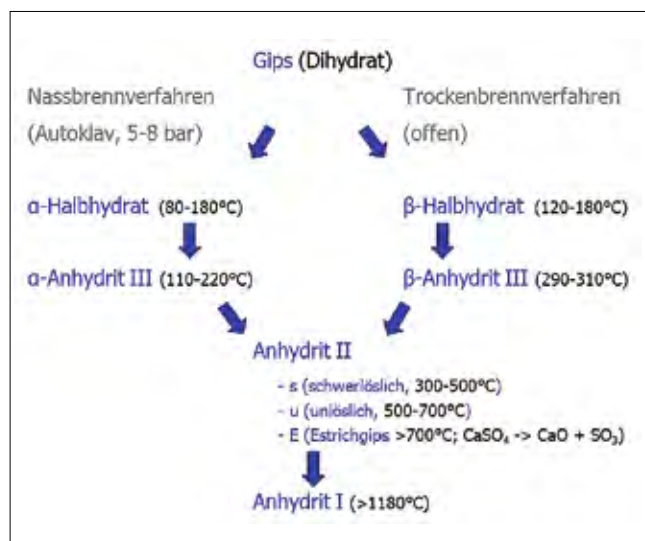


Abb. 2: Calciumsulfatphasen und ihre Bildungsbedingungen

### Abbinden von Gips

Das Abbinden erfolgt durch die Hydratation von Halbhydrat und Anhydrit, wobei sich Dihydrat bildet. Die Wasserlöslichkeit des Halbhydrats ist deutlich höher als die des Dihydrates. Es bildet sich daher beim Anrühren mit Wasser eine Lösung, die gesättigt ist bezüglich des Halbhydrats, aber übersättigt bezüglich des Dihydrats. Dies führt zum schnellen Auskristallisieren kleiner Dihydratkristalle, die anschließend weiter wachsen und zur Verfestigung des Gipsbreies führen. Ein Teil des Anmachwassers wird in die Kristallstruktur des Dihydrats eingebaut. Anhydrit III ist ebenfalls gut wasserlöslich und bindet daher ebenfalls schnell ab. Anhydrit II ist schlecht löslich und benötigt einen Anreger, um den Abbindeprozess zu starten. Bei Hochbrandgipsen kann dies das Calciumoxid sein, das durch partielle thermische Zersetzung des Anhydrits entstand und mit dem Anmachwasser zu alkalischer Calciumhydroxid-Lösung reagiert. Auch geringe Zugaben von Kaliumsulfat oder Portlandzement können als Anreger fungieren.

Der Abbindeprozess und die Materialeigenschaften der resultierenden Gipsbaustoffe sind abhängig von zahlreichen



Abb. 3: Arnstadt, Kirche Oberndorf, romanischer Gipsstuck im Innenraum (links) und auf der Außenfassade (rechts)

Parametern. Zunächst ist der Brennprozess zu betrachten, d. h. die jeweilige Kombination von Temperatur, Wasserdampfdruck, Brenndauer, Stückgutgröße und Temperaturverteilung im Ofen, die maßgeblich sind für die entstehenden Mineralphasengemenge, für ihre Korngrößen und Porosität, letztlich also für ihre Reaktivität. Weitere Parameter sind das Wasser-Bindemittel-Verhältnis, die Zugabe von Zusatzstoffen wie Kalk, Zuschlagsstoffe/Gesteinskörnungen oder Zusatzmittel. Gerade bei den Zusatzmitteln gibt es eine große Vielfalt.<sup>6</sup>

Tabelle 1 nennt einige Beispiele.

Tab. 1: Steuerung der Eigenschaften durch Zusatzmittel

Anreger für Anhydrit	Kaliumsulfat, Calciumhydroxid, Portlandzement
Verzögerer	Zitronensäure, Calciumhydroxid, Alkohol, Borsäure, Zucker, Milch, tierischer Leim, (Borax, Calciumchlorid → Salzbildung)
Beschleuniger	Gips(Dihydrat), Kaliumsulfat, Alaun, (Natriumchlorid, Magnesiumchlorid, Ammoniak → Salzbildung)
Verflüssiger	Alkylarylsulfonate, Ligninsulfonate, Melaminharze
Haftzusätze	Leim, Cellulose, Kunstharzdispersion
Härtungs- und Hydrophobierungsmittel	Alaun, Borax, Bariumhydroxid, Alkalisilikate, ... → Bildung schwerlöslicher Salze. Heute auch Verwendung von Silanen u. ä. Verbindungen zur Hydrophobierung.

## Analytik

Zur Analyse der anorganischen Anteile gipshaltiger Mörtel und Putze kommen verschiedene Verfahren in Frage. Häufig eingesetzt zur Bestimmung der mineralischen Bestandteile wird die Röntgendiffraktometrie (XRD), die Thermogravimetrie (DTA/DTG) zur Bestimmung von Gips- und Kalkgehalt, die Elementaranalyse zur Bestimmung von Schwefel- und Kohlenstoffgehalt, nasschemische Verfahren (u. a. Komplexometrie zur Bestimmung von Eisen- und Magnesiumgehalten) sowie die licht- und rasterelektronische Untersuchung zur Bestimmung mineralischer Komponenten sowie zur Beurteilung der Gefügemerkmale. Einige Beispiele der mikroskopischen Untersuchung werden bei den unten folgenden Verwendungsbeispielen vorgestellt.

## Schadensmechanismen

Am Bauwerk sind bezüglich calciumsulfathaltiger Baustoffe vor allem drei Schadensmechanismen relevant: die Wasserlöslichkeit, der Festigkeitsverlust bei Feuchteeinwirkung und der geringe Widerstand gegen Salzkristallisation. Ein Sonderproblem ist die Unverträglichkeit mit hydraulischen Bindemitteln.

Gips besitzt eine deutlich höhere Wasserlöslichkeit als andere Bindemittel. Bei 20 °C können in einem Liter Wasser etwa 2,2 g Gips (Dihydrat) gelöst werden, aber nur 0,014 g Kalk (Calcit). Die Löslichkeit kann bei Feuchtebelastung gipshaltiger Baustoffe zu Bindemittelauswaschungen führen. Abbildung 3 zeigt einen romanischen Gipsstuck aus der Kirche Oberndorf bei Arnstadt. Im Bild links ist ein intaktes Palmettenband aus dem Innenraum der Kirche abgebildet, rechts ein Stuckelement auf der Nordwand der Kirche, die seit dem Abriss der Seitenschiffe vermutlich im 16. Jahrhundert zur Außenwand wurde.<sup>7</sup> Infolge der Bewitterung wurde der Gipsstuck an der Oberfläche gelöst, und die Spuren der Wasserläufer haben sich als vertikale Riefen in die Stuckoberfläche eingetieft.

Bei Feuchteeinwirkung verlieren gipshaltige Baustoffe sehr schnell an Festigkeit. Hebig und Wigger untersuchten historische Mauermörtel aus Hochbrandgips und beschreiben einen Abfall der Druckfestigkeit auf ca. 50 % der Ausgangsfestigkeit bei nur 1 M.-% Feuchtegehalt des Mörtels, wie er schon bei erhöhter Luftfeuchtigkeit erreicht wird.<sup>8</sup> Bei 4 M.-% Feuchtegehalt, das entspricht einer mäßigen Durchfeuchtung, sinkt die Festigkeit auf ca. 30 % der Ausgangsfestigkeit. Derartige Festigkeitsverluste können zu massiven Tragwerksproblemen führen.

Zusätzlich zum Festigkeitsverlust kann auch das Kriechverhalten von Gips unter Feuchteinfluss problematisch werden. Unter Kriechen versteht man die plastische Verformung unter Last. Während bei Baustoffen wie Kalkmörtel oder Beton oder auch trockenen Gipsbaustoffen das Kriechen bei Belastung einem Endwert zustrebt, ist dies bei feuchtem Gips nicht der Fall. Dies bedeutet, dass feuchter Gips z. B. aus einer Mauerwerksfuge nahezu vollständig aus der Fuge gedrückt werden kann. Abbildung 4 zeigt eine

mit Gipsmörtel errichtete Mauer, die sich unter wechselndem Einfluss immer weiter verformt hat. In Phasen sehr starker Durchfeuchtung ist der Mörtel auf der Wetterseite teilweise aus der Fuge gedrückt worden, während die geringer durchfeuchtete Rückseite sich weniger verformte. Bei trockener Witterung ist der Mörtel fest und stabil.

Gipsstuck, Gipsputz und Gipsmörtel zeigen meist eine geringe Resistenz gegen Schadsalze. Nicht selten finden sich in Gips-Kalk-Mischungen dolomitische, d. h. magnesiumhaltige Anteile des Kalks. Bei Durchfeuchtung solcher Mischungen kann es zur Bildung von Magnesiumsulfat kommen, einem in mehreren wasserhaltigen Modifikationen vorkommenden, aggressiven Schadsalz. Hat sich dieses Salz gebildet, beispielsweise bei einmaliger Durchfeuchtung infolge eines Wasserschadens, so kann es in Innenräumen nach der Trocknung des Bauteils zu weiteren Schäden führen, da dieses Salz schon bei Änderungen der relativen Luftfeuchte verschiedene Lösungs- und Kristallisations- sowie Hydratations- und Dehydratationsprozesse durchläuft, wodurch wechselnde Kristallisationsdrucke im Baustoffgefüge erzeugt werden.<sup>9</sup> Hygroskopische Salze halten den Gips feucht und weich, wodurch der Widerstand gegen Salzkristallisation noch weiter sinkt.

## Verwendung von Gipsbaustoffen

### Gips als Mauerstein

Gipsstein und Anhydritstein wurden im Umfeld ihrer geologischen Vorkommen häufig als Mauerstein verwendet, was durch die leichte Bearbeitbarkeit begünstigt wurde. Eindrucksvolle Beispiele sind vor allem im Bereich des Südharzes zu finden. Als Witterungsschutz erhielten Bauwerke aus Gips- und Anhydritstein in der Regel einen Verputz, doch auch wo dieser verloren ging, zeigt Gipsstein oft über beachtliche Standzeiten hinweg eine hohe Verwitterungsresistenz, gekennzeichnet allenfalls durch Anlösungserscheinungen an der Oberfläche. Vorkommen, Verwendungsbeispiele als Naturwerkstein, technische Eigenschaften und Verwitterungsverhalten thüringischer Gipssteine werden detailliert von Haaßengier beschrieben.<sup>10</sup>

### Alabaster und Gips als Dekorationsgestein

In weiterer Entfernung von den geologischen Lagerstätten wurde Gips in seiner Ausprägung als polierfähiger und durchscheinender Alabaster als Ersatz für Fensterglas verwendet, aber auch als wichtiges Dekorationsgestein, beispielsweise für Altäre und Skulpturen. Als Beispiel für seine kunsthistorische Bedeutung sei die umfangreiche Produktion der Mechelner Alabaster-Manufaktur genannt, deren reliefierte Bildtafeln im 16. und 17. Jahrhundert in großer Anzahl in Mechelen in Flandern hergestellt und über ganz Europa verbreitet wurden.<sup>11</sup> Auch farbige Gipssteinvarietäten wurden in großem Umfang als Dekorationsmaterial für Altäre und Innenraumausstattungen benutzt.



Abb. 4: Neustadt/Harz, Burgruine Hohnstein, Mauerwerksverformung durch Kriechprozesse im wechselfeuchten Gipsmörtel

Abb. 5: Neustadt/Harz, Burgruine Hohnstein, Tüргewände aus Gipsstein





Abb. 6: Trier, Dom, Alabasterrelief, vermutlich aus der Mechelner Manufaktur stammend

### Gips als Bindemittel

Außer den natürlichen Gipsvarietäten wurden auch künstlich hergestellte Gipsbaustoffe für die verschiedensten Zwecke eingesetzt. Neben der durch die geologischen Gegebenheiten bedingten Verfügbarkeit des Rohstoffs wurde die Verwendung von Gipsbindemitteln dadurch begünstigt, dass für das Gipsbrennen niedrige bis mittlere Brenntemperaturen ausreichen, die mit einfachen Mitteln erreicht werden konnten.

### Historische Hochbrandgipse und moderne Äquivalente

Während heute die Verwendung von Gipsbaustoffen auf den Innenraum konzentriert ist, wurden sie früher in bestimm-

Abb. 7: Heringen a. d. Helme, Schloss, links stark verwittertes Sandstein- und Ziegelmauerwerk mit witterungsresistenten Setzmörteln aus Hochbrandgips, rechts die gleiche Fassade nach der Instandsetzung mit modernem Gipsmörtel



ten Regionen auch im Außenbereich eingesetzt. Die hohe Festigkeit und Witterungsbeständigkeit der Hochbrandgipse wurde sehr geschätzt, weshalb Gipsmörtel auch im Außenbereich als Mauer-, Verfug- und Putzmörtel verwendet wurden.

Historische Bauwerke mit gipshaltigem Mauerwerk, d. h. mit Mauerwerk, das aus Gips- oder Anhydritsteinen oder mit Gipsmörteln, in der Regel auf der Basis von Hochbrandgips errichtet wurde, stehen seit langen Jahren im Fokus der Baudenkmalpflege. Die Gründe liegen neben den an späterer Stelle genannten allgemeinen Schadensmechanismen von Gipsbaustoffen im Sonderproblem der Unverträglichkeit gipshaltiger Materialien mit hydraulischen Bindemitteln, insbesondere Zementen. Diese Unverträglichkeit äußert sich in der Bildung von Treibmineralen wie Ettringit oder Thaumasit, die zu gewaltigen Bauschäden bis hin zu Totalverlusten ganzer Bauwerke oder Bauteile führten. Dies führte in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu immer stärker werdenden Bestrebungen, bei der Instandsetzung gipshaltigen Mauerwerks wieder auf gipshaltige Materialien zurückzugreifen [Abb. 7]. Hierfür werden Hochbrandgipse teils nach historischem Vorbild hergestellt, teils werden moderne, industriell hergestellte Gipsmörtel derart rezeptiert, dass sie die technischen Eigenschaften historischer Hochbrandgipse erreichen. Einen Überblick über aktuell verfügbare Materialien gibt Stadlbauer (2010). Verschiedene aktuelle Publikationen gehen vertiefend auf diese Problematik ein.<sup>12 13 14</sup>

Hochbrandgips wurde auch für Estriche und sogar zur Herstellung von Formsteinen für tragende Elemente genutzt. Abbildung 8 zeigt eine Wendeltreppe aus dem 16. Jahrhundert in Schloss Heringen, die aus Kunststein aus Gipsmörtel hergestellt wurde. Zu beachten ist, dass die horizontale Lagerfuge in der Treppenstufe verläuft, um das Bruchrisiko zu verringern. In demselben Gebäude finden sich auch Kunststeine aus Gips in Form von Gewölberippen.

### Gips-Kalk-Mischungen

Gips und Kalk sind gut miteinander verträglich, Mischungen aus Kalk und Gips finden sich in Stuck, Putz und Mauermörtel. Die Zusammensetzungen streuen stark, Gips und Kalk wurden in fast allen Mischungsverhältnissen verarbeitet.

Der Fußboden des Kapitelsaals des Augustinerklosters in Erfurt wurde im 16. Jahrhundert aus schachbrettartig verlegten roten Terrakottafliesen und weißen Gipsestrichfliesen hergestellt. Üblicherweise bestehen Gipsestriche aus fast reinem Estrichgips, als Zuschlag finden sich allenfalls Bruchstücke von Gips- oder Anhydritstein. Die mikroskopische Untersuchung zeigt aber, dass in diesem Fall Gips mit silikatischem Zuschlag und einem geringen Kalkanteil gemischt wurde.

Abbildung 10 zeigt in der linken Bildhälfte ein Detail aus einer Stuckdecke im Haus Venedig in Trier, die vor einigen Jahren restauratorisch untersucht wurde.<sup>15</sup> Die zugehörige Dünnschliffaufnahme belegt die Kombination von Gipsstuck mit Kalk-Gips-Mischungen, die als Glättsschichten verarbeitet wurden. Die mikroskopische Aufnahme in der rechten Bildhälfte zeigt von oben nach unten einen Dis-

persionsfarbanstrich (schwarz), darunter eine zweilagige Kalk-Gips-Glätte, deren untere Lage etwas kalkreicher ist. Darunter folgt ein Kern aus Gipsmörtel mit hellen Anhydritkörnern ohne erkennbare Kalkgehalte.

## Fazit

Gips ist nicht gleich Gips. Als Gestein, als natürliches Mineral und als Produkt eines technischen Brenn- und Abbindeprozesses zeigt sich dieser Baustoff in großer Vielfalt am historischen Bauwerk. Künstlich hergestellte Gipsbaustoffe sind geprägt durch die verschiedenen Calciumsulfatphasen, aus denen sie hergestellt wurden. Diese prägen die unterschiedlichen Eigenschaften der daraus hergestellten Produkte und ermöglichen somit eine Fülle von Einsatzgebieten. Mischungen mit Kalk, Gesteinskörnungen und organischen Zusatzmitteln erlauben eine weitere Steuerung der Eigenschaften. Problematisch sind die Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit und Salze sowie die Unverträglichkeit mit hydraulischen Bindemitteln.

Die naturwissenschaftliche Analyse, insbesondere die lichtmikroskopische Untersuchung, erlaubt in vielen Fällen Rückschlüsse auf Ausgangsmaterialien, Brenntemperaturen und den Schichtenaufbau von Putz und Stuck. Damit kann sie die restauratorische Bearbeitung bei der Suche nach geeigneten Erhaltungsmöglichkeiten und Ersatzmaterialien unterstützen.

## Literatur

Michael AURAS, Hans-Werner ZIER, Gipsmörtel im historischen Mauerwerk und an Fassaden. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., München 2008 (WTA-Schriftenreihe, Heft 30).

BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE, Gips-Datenbuch. Bundesverband der Gipsindustrie e. V., Darmstadt 2006.

Claudia HAASSENGIER, Vorkommen und Eigenschaften der Sulfate des Thüringer Beckens sowie ihre Beständigkeit als Werkstein, Institut für Steinkonservierung e. V., Mainz 2007 (IFS-Bericht 25).

Jan HEBIG, Heinrich WIGGER, Tragverhalten von Natursteinmauerwerk mit Gipsmörtel unter dem Einfluss von Feuchtigkeit, in: Michael AURAS, Hans-Werner ZIER (Hrsg.), Gipsmörtel im historischen Mauerwerk und an den Fassaden. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. -WTA-, München 2008, S. 165–186.

INSTITUT FÜR STEINKONSERVIERUNG (Hrsg.), Instandsetzung gipshaltigen Mauerwerks – Neues aus Forschung und Praxis, Institut für Steinkonservierung e. V., Mainz 2010 (IFS-Bericht 35).

Hermann KÜHN, Was ist Stuck?, in: Matthias EXNER (Hrsg.), Stuck des frühen und hohen Mittelalters – Geschichte, Technologie, Konservierung (ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees, Heft 19), München 1996, S. 17–24.

Johann KUNCKEL, *Ars Vitruvia Experimentalis, oder Vollkommene Glasmacherkunst*. Zweiter Teil. Frankfurt, Leipzig 1679.

Udo SAREIK, Beispiele romanischer Stuckarbeiten in Thüringen, in: Matthias EXNER (Hrsg.): Stuck des frühen und hohen Mittelalters – Geschichte, Technologie, Konservierung (ICOMOS Hef-



Abb. 8: Heringen a. d. Helme, Schloss, Wendeltreppe aus Gips-Kunststeinen

Abb. 9: Erfurt, Augustinerkloster, Kapitelsaal, links Fußboden des 16. Jahrhunderts aus roten Terrakotta- und weißen Gipsfliesen, rechts durchlichtmikroskopische Aufnahme mit Anhydritresten (An), kleinen Nestern aus carbonatisiertem Branntkalk (Kalkspatzen, Cc) und Quarzkörnern (Qz). Bildbreite entspricht ca. 0,45 mm, parallel geschaltete Polarisatoren, Porenraum blau eingefärbt.





Abb. 10: Trier, Haus Venedig, links Allegorie des Sommers (Foto: Vohland, 2003), links Dünnschliffaufnahme des Stucks (Bildbreite ca. 0,9 mm)

te des Deutschen Nationalkomitees, Heft 19), München 1996, S. 107–110.

Heiner SIEDEL, Steffen LAUE, Herkunft, Kristallisation und Hydratstufenwechsel an Bauwerken, in: Umweltbedingte Gebäudeschäden an Denkmälern durch die Verwendung von Dolomitmörteln, Institut für Steinkonservierung e. V., Mainz 2003 (IFS-Bericht 16), S. 31–38.

Hendrik VISSER, Die Verbreitung von Gipsrohstoffen und ihre Verwendung in historischen Bauten, in: Michael AURAS, Hans-Werner ZIER (Hrsg.), Gipsmörtel im historischen Mauerwerk und an Fassaden, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., München 2008 (WTA-Schriftenreihe, Heft 30), S. 15–22.

Sunniva VOHLAND, Die barocke Stuckdecke im Hintergebäude von Haus Venedig, Trier. Diplomarbeit, Institut für Konservierungs- u. Restaurierungswissenschaft der FH Köln, 2003.

WTA-MERKBLATT 2-11-07/D Gipsmörtel im historischen Mauerwerksbau und an Fassaden, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München.

Michael K. WUSTRACK, Die Mechelner Alabaster-Manufaktur des 16. und frühen 17. Jahrhunderts. Frankfurt/M. u. Bern 1982 (Europäische Hochschulschriften, Reihe 28: Kunstgeschichte Vol. 20).

#### Abbildungsnachweis

Abb. 10, linke Bildhälfte aus: Sunniva VOHLAND, Die barocke Stuckdecke im Hintergebäude von Haus Venedig, Trier, Diplomarbeit. Institut für Konservierungs- u. Restaurierungswissenschaft der FH Köln, 2003.

Alle anderen Abbildungen: Michael Auras

<sup>1</sup> KÜHN, Stuck, 1996.

<sup>2</sup> VISSER, Gipsrohstoffe, 2008.

<sup>3</sup> KUNCKEL, Ars Virtratia, 1679.

<sup>4</sup> BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE, Gips-Datenbuch, 2006.

<sup>5</sup> BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE, Gips-Datenbuch, 2006.

<sup>6</sup> KÜHN, Stuck, 1996.

<sup>7</sup> SAREIK, Romanischer Stuck, 1996.

<sup>8</sup> HEBIG/WIGGER, Gips unter Feuchteinfluss, 2008.

<sup>9</sup> SIEDEL/LAUE, Hydratstufenwechsel, 2003.

<sup>10</sup> HAASSENGIER, Thüringer Sulfatgesteine, 2007.

<sup>11</sup> WUSTRACK, Mechelner Alabaster, 1982.

<sup>12</sup> WTA-Merkblatt 2-11-7/D.

<sup>13</sup> AURAS/ZIER, Gipsmörtel, 2008.

<sup>14</sup> INSTITUT FÜR STEINKONSERVIERUNG, Gipshaltiges Mauerwerk, 2010.

<sup>15</sup> VOHLAND, Haus Venedig, 2003.