

Kalk- und Mörtelherstellung in historischen Bild- und Schriftquellen

Ein Aspekt für die Interpretation von Befunderhebung, wissenschaftlichen Untersuchungen sowie restauratorische Umsetzungen

von Cornelia Marinowitz



Die nachfolgenden Betrachtungen möchten einen fast vernachlässigten Zusammenhang zwischen wissenschaftlicher Untersuchung und historischen Quellen aufzeigen, denn nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die „Umstände“ waren für die Herstellung von Kalk und Mörtel von großer Bedeutung.

„Kalk-Brenner betrügen: Wenn sie bey dem [...] Kalk-Brennen das Holz schonen, oder dieselben [Steine] zubald aus dem Ofen nehmen, wodurch es geschiehet, daß jene ihre gehörige Dauer nicht haben, dieser aber, nemlich der Kalck, in ablöschen nicht zerfällt, sondern viele ganze Steine zurück läßt, dadurch der Käuffer in Schaden gesetzt wird.“

(Lexikon der Betrügereien aller Stände des 18. Jahrhunderts. Seite 406)

1 Einleitung

Die Fragen zur historischen Kalk- und Mörtelherstellung sind so vielfältig wie das Baumaterial selbst. Die nachfolgenden Betrachtungen möchten einen fast vernachlässigten Zusammenhang zwischen dem Thema und den historischen Quellen verfolgen und einen Anstoß zu einer umfassenderen Betrachtungsweise bei der Untersuchung von Kalkmörteln geben.

Nur sehr wenige originale Quellen sind bisher publiziert worden. Die meisten davon beziehen sich auf den Raum Nürnberg, Zürich und auf Norddeutschland. Für Nürnberg existiert das Baumeisterbuch des Endres Tucher (1464–1475), welches von Dr. Friedrich von Weech ediert wurde.¹ Die Quelle zu Zürich bildet das Zürcher Baumeisterbuch von 1543 in der Edition von François Guex² und für Norddeutschland wurde die Publikation zur Baustoffversorgung spätmittelalterlicher Städte Norddeutschlands von Antje Sander-Berke³ herangezogen.

Die Publikationen ermöglichen einen direkten Einblick in den Baualltag des Mittelalters und damit auf die Probleme bei der Planung und Durchführung von sowohl städtischen wie auch privaten Bauvorhaben.

Für die Bildquellen wurde auf Günter Bindings Publikation „Der Mittelalterliche Baubetrieb in zeitgenössischen Abbildungen“⁴ zurückgegriffen. Auch seine Publikation „Baubetrieb im Mittelalter“⁵ gab wertvolle Informationen zu bisher kaum beachteten Details. Weiterhin konnten für den vorliegenden Aufsatz 30 bisher unveröffentlichte Quellen, mehrheitlich Baurechnungen aus Zürich, ausgewertet werden.⁶ Zeitlich sind die Quellen auf das Spätmittelalter und die frühe Neuzeit begrenzt.

Vom Thema ausgegrenzt sind alle Arten antiker Mörtel, die Varianten der Barock- und Stuckmörtel sowie die ersten Zementmörtel. Jede dieser Materialgruppen ist wiederum so vielschichtig, dass sich daraus ein eigenständiger Themenkomplex ergeben würde.

2 Die Ausgangsmaterialien – Kalk und Sand

2.1 Kalkstein und gebrannter Kalk – Verfügbarkeit und Qualität

Nürnberg und Zürich

Wollte man im späten Mittelalter ein massives Gebäude errichten, war die Frage nach der Verfügbarkeit des Baumaterials vor dessen Qualität die Wesentlichste, die sich stellte. Massivbauten entstanden aus Stein und Mörtel und Mörtel wiederum in der Regel aus Sand und Kalk. Das erscheint so zwar sehr vereinfacht, betrachtet man aber die Vielfältigkeit von Kalkstein und die Vielfältigkeit der Sandarten, ergeben sich fast unerschöpfliche Kombinationsmöglichkeiten für die Herstellung von Mörteln unterschiedlichster Qualitäten.

Die uneingeschränkte Verfügbarkeit eines guten Materials, sprich Kalkstein, war jedoch nicht immer gegeben. Daraus konnten zahlreiche Probleme erwachsen, die sich nicht zuletzt auch in der Qualität des Bauwerks selbst niederschlugen.

Im Baumeisterbuch des Endres Tucher sind die Standorte der Kalkgewinnung um Nürnberg aus dem späten 15. Jahrhundert überliefert (siehe Tab. 1). Es ist auffällig aber auch verständlich, dass sich alle Orte im Umkreis etwa einer Tagesreise von Nürnberg befanden. Weiter entfernte Orte hätten einen Transport sehr erschwert und die Kosten für den Kalk und damit auch für den Mörtel stark in die Höhe getrieben. Bis auf „Erenhoffen“ lassen sich alle Orte heute noch auf der Karte auffinden.⁷

Die Qualität des gebrannten Kalks war durchaus nicht an allen Orten gleich, obwohl es sich den geologischen Vorkommen nach wahrscheinlich weitgehend um Malmkalk gehandelt haben muss. Tucher schreibt im Kapitel <Von dem kalk> dazu:

„So prennt man auch kalck zu Deinswanck, des mir einer, genannt Fritz Müllner, vill herein pracht hat, dem ich dann sechsundfunftzig pfenning und zu zeitten sechszig pfennig fur en hieigs sümer geben hab. derselb kalck wirt am leschen vill weißer dann der von der Leynburg oder Dieppelsdorf ect. darzu wird er melreicher. und ich hab versucht und eigentlich gemessen, das alle weg acht meß oder sümer des von Deinswanck als vill thun, als neun meß oder sümer des andern kalck thun. Wenn man

Tab. 1: Kalkvorkommen um Nürnberg im späten 15. Jahrhundert

Alte Ortsbezeichnung: bei Endres Tucher genannt	Heutige Ortsbezeichnung	Entfernung bis Nürnberg
Dieppelsdorf	Diepersdorf	18 km
Leynburck	Leinburg	20 km
Weisenprun	Weissenbrunn	26 km
Wellentzleitthen	Oberwellitzleithen	25 km
Deinswanck	Deinschwang	38 km

*den lescht, so vindet mans am melbe. Und ist zu mauren gat gut und zu tünchen, und zu weissen noch vill pesser ect.*⁴⁸

Tucher kennt also die unterschiedlichen Qualitäten von gebranntem Kalk und weiß, dass sich der weitere Weg nach Deinswanck lohnt, auch wenn der Preis für ein „*sümer*“⁴⁹ „zur Zeit“ etwas höher ist als gewöhnlich. Die höhere Ergiebigkeit, die von Tucher gelobt wird, konnte sich bei großen Bauvorhaben sicher rechnen. Bemerkenswert ist, dass es in Deinschwang bis heute noch Kalksteinbrüche gibt.

Die Nürnberger besaßen demnach im späten 15. Jahrhundert für ihre Mörtelherstellung guten Kalkstein. Das garantierte jedoch nicht, dass guter Mörtel hergestellt wurde (siehe Abschnitt 4 Mörtelherstellung).

Im Gegensatz zu Nürnberg ist in Zürich 1539 die Versorgung der Stadtbevölkerung mit Kalk schlecht, was man auf die mangelhafte Ausübung des Baumeisteramtes durch Hans Balthasar Keller zurückführte. Zur Abhilfe dieses Missstandes wurde eine Kommission einberufen, deren Mitglieder sogar bereit waren, im Interesse der Kalkversorgung den Baumeister bloßzustellen.¹⁰ Man sieht daran, dass nicht nur mangelhaftes Vorkommen von Baumaterial für die Versorgung einer Stadt Probleme bringen konnten, sondern auch politische Hintergründe, Streitigkeiten und Uneinigkeiten unter Umständen zu Mangelversorgungen führten.

Aus den Aufzeichnungen Arnold Eschers von der Linth von 1862 und den Fraumünsteramtsrechnungen von 1538 gehen die in Tabelle 2 aufgeführten Orte hervor, aus denen die Stadt einen Teil des gebrannten Kalks bezog.¹¹

Es ergibt sich für Zürich ein ähnliches Bild wie für Nürnberg. Die Orte liegen alle im näheren Umkreis von Zürich. Außerdem konnte der See als Transportweg genutzt werden. Es wurde z. B. von Rüti der gebrannte Kalk in so genannten „Rörli“ (Fässern) auf Schiffen über den See nach Zürich gebracht.

Für Zürich gab es aber neben dem Abbau oder Bruch von Kalkstein noch eine weitere Bezugsquelle, den Fluss Siehl. Kalkstein konnte normalerweise nur in der frostfreien Zeit abgebaut werden. Im Flussbett der Siehl konnte man Kalkstein dagegen auch im Winter sammeln. Es war zu dieser Jahreszeit sogar sicher einfacher, da der Wasserstand niedrig war.

Ein weiteres Problem bei der Kalkbeschaffung stellten die Erschließung eines Vorkommens und die damit verbundenen Wegrechte dar. Sowohl Tucher als auch das Baumeisterbuch von Zürich geben Auskunft über die Wegrechtsstreitigkeiten, die den Zugang zu guten Vorkommen unter Umständen stark behinderten oder gar unmöglich machten. So erstritten sich z. B. die Zürcher Ziegler, die weitgehend im Besitz der Kalköfen waren, gegen den Widerstand der Wollishofer 1543 das Wegrecht über die Brunau. Dieses Recht war ihnen schließlich vom Rat bestätigt worden.¹² Bei Tucher kann man nachlesen, wie die Verweigerung eines Wegrechtes sogar dazu führte, dass ein lange nicht mehr benutzter Weg wieder gangbar gemacht und so die Unabhängigkeit beim Transport erreicht werden konnte. Die Beschreibung dieses Umstandes ist eindrücklich:

*„Ein stad paumeister hat vor zeitten mit einem, genannt der Leyrer, zu der Leynburg gessen, vill zu thun gehabt und dem gemeinlichen vor derselben Leyrer mer denn ander leut auf und am perg der Leynburck hat gehabt. und nachdem er aber der stat paumeister dringen und horchern wolt, bestellt ein paumeister auf ein zeit von anderen auch stein, das den Leyrer verdröss und wolt nit gestatten, das man solich stein uber sein ecker und felt, das er am perg het, furen solt. Dadurch der stat paumeister, die zeit Lutz Steinlinger selig, bewegt ward, und im zweiundfunzigsten jare mit gunst eines erbergen ratz hie zu Nuremberg, auch mit hilfe und anzaigen alter paursleut zu der Leynburg und da umb, ein alten gemeinen erbweg, der vor vill jaren von dem perg erhob gieng, suchen und funden.“*¹³

Das Problem scheint zeitlos und menschlich. „Der Leyrer“, der sich seiner privilegierten Stellung beraubt sah, verwehrte Anderen den Transport über sein Gelände. Mit Hilfe eines Ratsbeschlusses und der Kenntnis alter Bauern, wurde ein vergessener Weg, den der Baumeister Lutz Steinlinger einmal angelegt hatte, erneut gesucht und auch gefunden. Die Unabhängigkeit im Transport war somit wieder hergestellt und die Stadt Nürnberg nicht mehr auf das Wohlwollen von Leyrer angewiesen.

Dem ungehinderten Zugang zu den Vorkommen

Tab. 2: Kalkvorkommen um Zürich um die Mitte des 16. Jahrhunderts

Ortsangaben bei Arnold Escher 1862	Fraumünsteramtsrechnung 1538	Entfernung bis Zürich
Brüche um Rüti		43 km
Schwammendingen		08 km
Gegend um Winterthur		24 km
	Thalwil	12 km

wird in den besagten Quellen eine große Aufmerksamkeit geschenkt. Die Qualität des Materials erscheint dabei eher nebensächlich. Ein Umstand, der sicher darauf zurückzuführen ist, dass man nicht zwischen beliebig vielen Qualitäten auswählen konnte oder sie gar nicht kannte, sondern sich mit dem begnügen musste, was im Umkreis leicht zu bekommen war. Die Materialmengen, welche gerade für städtische Bauvorhaben wie Stadtbefestigungen und Rathäuser gebraucht wurden, waren zum Teil immens und ließen aus Kostengründen keine großen Transportwege zu.

Norddeutschland

Ein kurzer Exkurs nach Norddeutschland soll am Rand aufzeigen, wie unterschiedlich die Verfügbarkeit von gutem Baumaterial war und wie sich diese Tatsache auf den gesamten Baubetrieb auswirken konnte.

Die meisten Städte Norddeutschlands verfügten zwar über Lehmgruben, aber die Kalkvorkommen waren äußerst selten. In küstennahen Gebieten mussten zur Kalkgewinnung sogar Muschelschalen verwendet werden, die bei Ebbe von den Muschelbänken gebrochen wurden. Zum Beispiel beim Bau des Bremer Rathauses 1405 setzte man aus Mangel an anderem Material diese Möglichkeit der Kalkgewinnung ein.¹⁴

Eine Ausnahme bildete Lüneburg; für die Lüneburger muss es ein ausgesprochener Glücksfall gewesen sein, gleich über drei Kalkvorkommen (zum Teil wohl eher Gipsvorkommen) verfügen zu können, nämlich den Kalkberg, den Schiltstein und den Kreideberg.¹⁵

In Hamburg hingegen gab es in der näheren Umgebung keinerlei Kalkvorkommen. Die Bemühungen, Kalksteinvorkommen in der Umgebung aufzufinden, um damit eine Unabhängigkeit von auswärtigen Lieferungen zu erhalten, schlugen fehl. Man war auf längerfristige Verträge angewiesen, die im Fall von Hamburg mit den Segeberger Bürgern geschlossen wurden.¹⁶ Gleichzeitig griff man wie in Bremen auf die Möglichkeit der Kalkgewinnung aus Muschelschalen zurück.

Vor diesem Hintergrund, dass Kalkstein und damit natürlich auch Kalkmörtel in Norddeutschland ein schwer zu beschaffendes Baumaterial war, könnte man das Ausweichen auf die Sichtbacksteinbauweise in einem neuen Licht betrachten. Zum Verbauen von glatten, gebrannten Backsteinen war ein weitaus geringerer Mörtelbedarf notwendig als für die Verarbeitung von Feld- oder Bruchsteinen. Die Backsteine erforderten nur eine feine Fuge und mussten zudem nicht verputzt werden, was bei vielen Feld- oder Bruchsteinmauern so nicht möglich war. Die massiven Backsteinbauten der so genannten Backsteingotik verdanken ihre Entstehung möglicherweise auch dem Mangel an gutem Kalkstein, wobei diese These weiter vertieft werden

müsste.

Nürnberg und Zürich hatten mit ihren Kalkvorkommen reichhaltigere und vor allem einfachere Möglichkeiten für eine Realisierung von Bauvorhaben als z. B. Hamburg und Bremen. Obwohl durch Handelsbeziehungen die backsteinsichtigen Bauten Norddeutschlands sicher bekannt waren, sucht man sie in Nürnberg und Zürich vergebens.

2.2 Zuschlagstoff Sand

Der Zuschlagstoff Sand findet in den Quellen fast keine Erwähnung. Bei Tucher sucht man Hinweise auf Sand vergebens. Im Baumeisterbuch der Stadt Zürich wird neben der Bemerkung, dass jeder Bürger sich um Sand selber kümmern muss, auch ein Beschluss erwähnt, welcher den Baumeister dafür verantwortlich macht, dass in der Kalkhütte auch Sand für die Bürger zur Verfügung stand, „damit nicht die Bürger selbst mußend vmbher loffen, darumb zelugen.“¹⁷ In Zürich kommt ein Großteil des Sandes aus dem Flussbett der Siehl, allerdings wird man auch andere Sandgruben zur Gewinnung ausgebeutet haben.

Dadurch, dass Sand in den Quellen kaum erwähnt wird, scheint das Problem der Sandbeschaffung weitaus kleiner gewesen zu sein, als die Beschaffung des Kalks. Auch in 30 unveröffentlichten Abrechnungen über Baumaterialien in Zürich von 1531 bis 1752, wurde nur einmal die Lieferung von Sand erwähnt.¹⁸ Wichtiger war es vielmehr, die Transportwege so kurz wie möglich zu halten, da dadurch auch die Kosten für den Bau gesenkt werden konnten.

3 Die Herstellung und Lagerung von gebranntem Kalk

3.1 Nürnberg

Der technische Vorgang des Kalkbrennens sowie der Bau von Kalköfen sind an dieser Stelle ausgeklammert, da die verwendeten Quellen darüber keine Auskunft geben. Es werden aber Informationen über die Standorte der Öfen und über die Planung des Kalkbrandes gegeben. Vor allem Endres Tucher schildert für Nürnberg sehr genau, welche Arbeitsabläufe notwendig waren und wann, wo und warum Kalk gebrannt wurde. Auch werden die Mengen von Kalkstein und Holz genau angegeben, welche für die Bestückung eines Ofens benötigt wurden.

In Nürnberg gab es zwei Kalköfen, die auf Reichsboden standen: der eine „zu den stegen“ und der andere „zu dem Hopfgarten“ genannt. Nicht nur die Beschaffung von Kalkstein zur Bestückung der beiden Kalköfen stellte den Baumeister vor Probleme, sondern auch die Beschaffung von Holz für den Kalkbrand selbst. Tucher beklagte sich, dass der Wald in der Nähe der Öfen bereits so stark abge-

holzt war, dass man nun das Holz zum Kalkbrennen von weit her holen musste, was den Preis wohl ganz erheblich in die Höhe getrieben hat, und der Planungsaufwand demzufolge nicht unerheblich war. Tucher schrieb:

„Nun wenn denn der stat paumeister kalcks bedarf zu der stat nottorft, den muss er allewege ein jar vor bestellen, also das zu dem obersten amptman des waldes in sant Laurentzen pfarr geen, oder schick zu ime den schaffer in gegenwertigkeit des amptmans knecht, und ime do zu erkennen geben und laubs begeren zu funf, sechs oder acht öfen kalcks zu holtzen, darnach ir ein paumeister bedarf und vill oder wenig kalcks in den hütten ist, oder gross gepew vor augen hat. Do muss sich ein paumeister selber einrichten, das dopei ein gemein mit kalck auch vorsehen werde.“¹⁹

Der Baumeister hatte Sorge darum zu tragen, dass immer ein ausreichender Vorrat an Kalk in den Kalkhütten zu finden war, vor allem wenn große Baumassnahmen anstanden („gross gepew vor augen“). Kalkstein und Holz wurden vor die Öfen gebracht, für einen Ofen „zweintzig tenner paum, die thun pei zweiff fuder holtz [...] muß man auch haben pei vierzehen fuder derselben stein“.²⁰ Es war also fast die gleiche Menge Holz notwendig wie Stein, um einen Kalkofen zu bestücken (12 Fuder²¹ Holz und 14 Fuder des gleichen Steins). Die Arbeit des Brennens selbst musste in die Hände eines erfahrenen und vor allem vertrauenswürdigen Mannes gelegt werden. Tucher beschrieb den Umstand, dass Kalkbrenner oft Holz oder Steine für eigene Zwecke abzweigten und damit unter Umständen den gesamten Brand gefährdeten.²² Dabei war der Diebstahl von Holz das größere Problem. Ein nicht ausreichend gebrannter Kalk war minderwertig und es ließ sich mit ihm kein guter Mörtel mehr zubereiten. Unter Umständen wurde dadurch eine ganze Baumassnahme gefährdet.

Aus dem Baumeisterbuch von Endres Tucher geht ebenfalls hervor, dass sich die Bauern oft mit Kalkbrennen ein zusätzliches Einkommen verschafften. So wurde wohl von Fall zu Fall entschieden, ob man auf der Baustelle selbst einen Kalkofen errichtete oder den gebrannten Kalk bei den Bauern in der Nähe erwarb. Tucher ließ bei Bedarf auch einen oder zwei Kalköfen auf dem Markt brennen, da die Bauern der Umgebung durch Absprachen den Kalkpreis in die Höhe getrieben hatten und man vermeiden wollte, dass die Bürger der Stadt nicht ausreichend mit Kalk versorgt wurden.²³

Für das mittelalterliche Ravensburg ist z. B. ebenfalls ein fester Kalkofen auf der Peunt (dem städtischen Bauhof) nachgewiesen. Somit war die Stadt in ihrem alltäglichen Kleinbedarf relativ unabhängig. Ähnlich wird es wohl in den meisten mittelalterlichen Städten ausgesehen haben, die über eigene Kalksteinvorkommen verfügten.

Nach dem Brand musste der Kalk gelagert werden, was in Nürnberg in den Kalkhütten im Marstall geschah („das er [der Baumeister] die kalckhütten im Marstall, der dann drei ist, mit kalck nach nottorft vorsehe, dormit gemein statt versorgt und versehen sei.“²⁴).

Der Kalk wurde also erst einmal trocken als Brandkalk aufbewahrt. In den Aufzeichnungen von Endres Tucher wird nicht ein einziges Mal eine Kalkgrube zum Einsumpfen des Kalks erwähnt. Er schrieb aber: „was kalcks man aus der hutten verkauft, den soll ein paumeister alleweg vor ab lassen leschen und den melbsweis²⁵ verkaufen nach dem meß das darzu gehoret.“²⁶

3.2 Zürich

In Zürich wird in der Ziegler-Ordnung von 1519 ein *kalchofen* als feste Einrichtung genannt, wobei die Stadt für die Kosten des Unterhaltes aufkommt. Die Kalköfen waren fast alle im Besitz der Ziegler. Guex schreibt: „Seit Kalköfen erwähnt sind, gehörten sie den Ziegelhütten. Die ältesten Preisangaben mit dem ziegler von 1364 betrafen den Kalkpreis. Dieser ist 1416 und 1433 erneut geregelt mit dem Lehnsbrief für die städtische Ziegelhütte“.²⁷

Die Ziegler werden zudem aufgefordert, einen guten Kalkstein zu verwenden und nicht andere Steine darunter zu tun. Der Kalk soll sich gut löschen lassen „das die jm schwellen²⁸ zergangind, vnd nitt annder stein darunder mischlint.“²⁹

In Zürich lagerte man 1540 den Kalk ungelöscht in Fässern (Rörl), um ihn später zu Mörtel zu verarbeiten. Es gab aber auch eingesumpften Kalk, der möglicherweise nicht zur Mörtelherstellung sondern zum Tünchen diente. 1562 gab es Überlegungen, „wie man mit dem gelöschten kalch, so man hin vnd wider jnn der Statt vmbhin furt, vnd die gaßen darmit beschißt, ein besserer vnd komlichere ordnung machen könnte“. Es sollte in jedem Fall verboten sein „gelösten kalch jnn den bennen [Schubkarren] durch die Stadt zu führen“.³⁰

Für Zürich lässt sich durch die erhaltenen Vorratsinventare der Kalkhütten aus dem 17. Jahrhundert gut rekonstruieren, wie sich der Kalkvorrat insgesamt zusammensetzte.

François Guex listet die Anteile folgendermaßen auf:³¹

„1600 total 508 Malter, davon 378 gelöscht in vier Gruben und 130 Malter ungelöscht in der Kalkhütte.

1609 total 777 Malter, davon 80 Malter in der Hütte, [der Rest offensichtlich gelöscht oder bereits zu Mörtel verarbeitet].

1611 total 832 Malter, davon 60 Malter in der Hütte.

1612 ist wohl er gesamte Vorrat von 692 Malter gelöscht“.

Zwischen 1620 und 1654 sind die Verzeichnisse fast lückenlos erhalten und es wird nirgends un-

gelöschter Kalk verzeichnet. Erst 1673 wird für den Bickelmeister eine neue Ordnung erwähnt, in der darauf hingewiesen wird, dass vor allem im Winter möglichst viel ungelöschter Kalk vorrätig zu halten ist.³² Der Grund dafür kann vielfältige Ursachen haben. Mörtel aus Sumpfkalk ist als Setzmörtel für schweres Mauerwerk viel weniger oder gar nicht geeignet als frischer Mörtel. Auch der Transport von Sumpfkalk ist erheblich umständlicher. Der Wechsel von ungelöschtem zu gelöschtem Kalk, der aus den Vorratsinventaren hervorgeht und der sich zwischen 1540 und 1612 abspielt, muss einen besonderen Grund gehabt haben, der bisher ungeklärt blieb. Auch die Rückkehr zum ungelöschten Kalk nach 1673 geschieht sicher nicht grundlos.

Für wissenschaftliche Untersuchungen von Mörteln aus Zürich ab der Mitte des 16. Jahrhunderts bis nach der Mitte des 17. Jahrhunderts könnte diese Erkenntnis von Bedeutung sein. Durch gezielte Untersuchungen ist möglicherweise der Gebrauchswechsel von ungelöschtem zu gesumpftem Kalk in der Mörtelherstellung nachweisbar. Denkbar ist auch, dass sich Qualitätsunterschiede feststellen lassen, die bisher nicht interpretiert werden konnten. Es ist eine Tatsache, dass in der Zeit ab 1600, in der für Zürich nur noch gelöschter Kalk (Sumpfkalk) in den Vorratsinventaren aufgeführt wird, die Stuckierung von Innenräumen überall groß in Mode kommt. Dafür war ein feinerer Innenputz mit Kalkglätten und Kalkstuckputz notwendig und dafür konnte gesumpfter Kalk verarbeitet werden. Ein Zusammenhang zwischen der Mode der Stuckierungen und einem größeren Bedarf an Sumpfkalk lässt sich somit zumindest nicht ausschließen.

In den bereits erwähnten 30 unveröffentlichten Bauabrechnungen aus Zürich zwischen 1531 und 1760 wird oft nur Kalk erwähnt.³³ Es geht aus den Abrechnungen nicht eindeutig hervor, ob es sich um „geschwellten“ oder „ungeschwellten“ Kalk handelt. In Rechnungen ab 1667 wurden Kalkmengen wieder in „Rörli“ angegeben, was auf ungelöschten Kalk schließen lässt. In den Abrechnungen des frühen 18. Jahrhunderts taucht wieder sowohl geschwellter als auch ungeschwellter Kalk mit separaten Mengenangaben auf.

3.3 Besonderheit bei der Kalkherstellung – das Mahlen des Kalks

Es gibt eine Besonderheit bei der Kalkherstellung, die bisher unerwähnt geblieben ist, nämlich das Mahlen des gebrannten Kalks.

Weder bei Endres Tucher noch im Baumeisterbuch von Zürich werden Kalkmühlen erwähnt. Für Norddeutschland dagegen führt Antje Sander-Berke eine Quellenangabe auf, in der für 1447 in Lüneburg das erste Mal eine Kalkmühle erwähnt wird.³⁴

Für die Herstellung eines schnell bindenden Heißmörtels ist z. B. gemahlener Brandkalk notwendig. Die Qualität und Beschaffenheit des in Lüne-

burg abgebauten, schwefelsauren Kalks – was nichts anderes ist als Gips – erforderte vor der Weiterverarbeitung zu Mörtel ebenfalls das Mahlen des gebrannten Steins. Das zeigt auf, wie unterschiedlich die regionalen Kalk- (oder Gips-?) Vorkommen waren und wie sich diese Unterschiede auch auf die Verarbeitungsweisen auswirken konnten.

Es wäre durch weitere Quellenstudien interessant zu erfahren, in welchen Regionen sich Kalkmühlen nachweisen lassen und welche Kalkstein- oder Gipsvorkommen sich dort befinden. So könnte möglicherweise ein Zusammenhang zwischen Vorkommen und Verarbeitungsweise abgeleitet werden.

3.4 Definition: Kalk oder Gips?

Ein Problem beim Verständnis der Quellen stellt manchmal die Vermischung der Begrifflichkeiten von Kalk und Gips dar. Es wurde nicht immer eindeutig zwischen Gips und Kalk unterschieden. Der Mörtel selbst wird manchmal als Gips bezeichnet und der Vorgang des Verputzens als Gipsen (wie es heute noch üblich ist). Bei Günter Binding kann man dazu folgende Quelle lesen:

„Wenn die Putzer den zu verarbeitenden Gips herbeibringen, muss der Maurer, der für denjenigen arbeitet, dem man den Gips bringt, gemäß seines Eides darauf achten, dass die Bemessung des Gipses in Ordnung sei; und wenn er daran zweifelt, muss er den Gips prüfen oder in seiner Anwesenheit prüfen lassen. Und wenn er erkennt, dass die Bemessung nicht gut sei, muss der Putzer dafür fünf sous Strafe zahlen.“³⁵

In diesem Abschnitt ist immer von Gips die Rede, obwohl es sich sicher um Kalkmörtel handelte, denn einen Absatz weiter wird die Aufforderung erwähnt, dass der Mörtel immer aus gutem Kalkstein hergestellt werden soll.³⁶

Zum Verständnis dafür, dass die Vermischung der Begrifflichkeiten von Kalk und Gips noch bis in das frühe 19. Jahrhundert angehalten hat, seien hier die Definitionen aus der Oekonomischen Encyclopädie von D. Johann Georg Krünitz aufgeführt. Krünitz schreibt zu Kalkmörtel:

„Der beträchtlichste Gebrauch des aus den Kalk=Steinen gebrannten Kalks, oder Stein-Kalks, und des ErdKalks, ist in der Baukunst, da derselbe das Mittel ist, wodurch die Steine mit einander verbunden, und womit die Mauern beworfen oder überzogen (berappet), über-tünchet und geweißet werden. Zu letzterer Absicht wird insonderheit der Gypskalk gebraucht. Zum Mauern wird der gelöschte Kalk mit groben Sande oder klein zerstoßenen Steinen vermischt, welche Vermischung gemeinlich Mörtel, Kalkmörtel, Mauerkalk, oder Mauerspeise, genannt wird, wovon ich in

dem Art. Mauer und Mörtel ausführlich handeln werde.³⁷

Die Bezeichnung Gypskalk bezieht sich bei Krynitz wohl auf reinen weißen Kalkstein. An anderer Stelle definiert Krünitz Gips als Stein einer neuen Art:

„Eben diese Eigenschaften zusammen genommen, sind die Ursache, warum die neuern mineralogischen Schriftsteller den Gyps weder zu den Marmor= noch zu den Spath=Arten rechnen wollen, wie man sonst gethan hat, sondern aus demselben ein eigenes Geschlecht der Steine machen, welche sie gypsartige Steine, L. Lapides gypsei, nennen.“³⁸

4 Das Produkt Kalkmörtel

4.1 Der Mörtelmacher in der Bildquelle

Die Art und Weise der Mörtelherstellung lässt sich eindrücklich aus den zahlreichen Bildquellen erschließen (Abb. 1–9). Fast stereotyp wird immer wieder der gleiche Tätigkeitsablauf dargestellt, was auch als Hinweis darauf gewertet werden kann, wie wichtig die Tätigkeit des Mörtelmachens für den gesamten Bauablauf war. Der Mörtelmacher steht mit der Mörtelhacke in der Hand vor einem Hauf-

werk³⁹ und mischt. In Reichweite findet sich fast immer ein kleiner Bottich mit Anmachwasser (Abb. 2). Manchmal ist das Haufwerk auch unter einem Dach, einer offenen Hütte oder unter dem Gerüst zu sehen (Abb. 3). In vielen Abbildungen werden auch die Knechte dargestellt, die den fertigen Mörtel in Kübeln oder Karren auf die Baustelle tragen (Abb. 4). So oder ähnlich stellt sich die Situation in fast allen Abbildungen dar. Mal sind es große Mörtelhaufen ohne Holzumrandung (Abb. 5), mal exakte Kästen, in denen das Haufwerk lagert, mit der Hacke aufgelockert und mit Anmachwasser vermengt wird (Abb. 6, 7) und manchmal ist es auch nur ein Brett, wie in der Abbildung 1, gegen das der Mörtel mit der Hacke gemischt und zerkleinert wird. Eine Darstellung belegt auch das Stampfen von Mörtel wie es im Kapitel 4.5 *Rezeptangaben in Quellen*, in Rezept 1 gefordert wird (Abb. 8).

Für die Mörtelherstellung war einzig und allein der Mörtelmacher verantwortlich, der für den Steinmetz, den Maurer, den Putzer (Abb. 9) und den Dachdecker den Mörtel bereitete. Tucher schrieb, dass z. B. den Dachdeckern ein „dagknecht“ und ein „morter rurer“ zur Seite gestellt werden sollte, die den Mörtel bereiten müssen.³⁹



Abb. 1: Mörtelmacher mit Mörtelhacke vor einem Haufwerk. Als Anschlag dient nur ein Brett, es existiert kein geschlossener Mörtelkasten, 1496.



Abb. 2: Mörtelmacher mit Mörtelhacke vor einem grossem Haufwerk in geschlossenem Mörtelkasten. Im Vordergrund ein Bottich mit Anmachwasser, 1460.

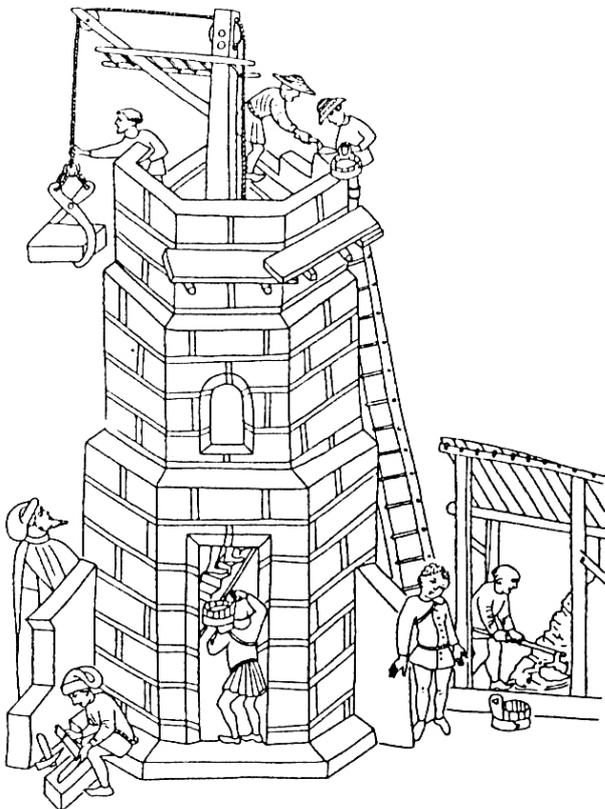


Abb. 3: Mörtelmacher mit Hacke vor einem grossen Haufwerk unter einem Dach (offene Kalkhütte). Davor steht wieder ein kleiner Bottich für Anmachwasser, 1411.

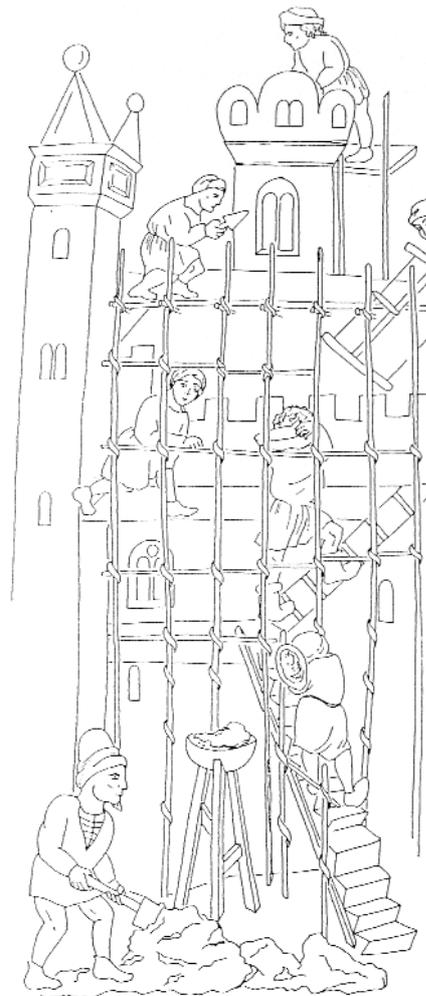


Abb. 4: Hinter dem Mörtelmacher trägt ein Knecht in einer Mulde den Mörtel auf das Gerüst. Die Mulden liegen auf sogenannten Muldengestellen, 1.Hälfte 14. Jh.



Abb. 5: Großes Haufwerk ohne Mörtelkasten, die Mörtelmacher hacken mit langstieligen Hacken den Mörtel fein, 1480.



Abb. 6: Ein Mörtelmacher holt zu einem kräftigen Schlag mit der Mörtelhacke aus um den Mörtel im Mörtelkasten aufzulockern und zu mischen, ein Knecht gibt Anmachwasser dazu, 1492.



Abb. 7: Der Mörtelmacher mit der Hacke vor einem Mörtelkasten beim Mischen, 1425–36.

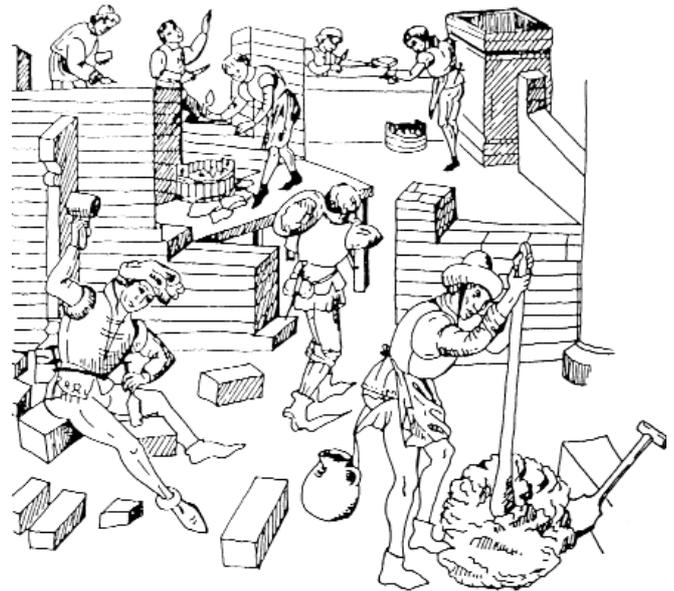


Abb. 8: Ein Mörtelmacher beim Stampfen des Mörtels mit einem langen, unten abgerundeten Holz, Mitte 15. Jh.

4.2 Der Mörtelmacher in Schriftquellen

Die Berufsbezeichnungen für den Mörtelmacher sind vielfältig. Er wird in den Quellen als „cementarius“, „mertermacher“, „mörtermacher“, „mörtermacher“, „morterrurer“, „mörterkocher“, „Mörtelkocher“ u. ä. bezeichnet. Die Bezeichnung „mörterkocher“ oder „Mörtelkocher“⁴⁰ könnte auf die Herstellung von trocken gelöschtem Mörtel oder Heißmörtel verweisen, bei deren Herstellung große Hitze entsteht und so vielleicht der Eindruck erweckt wurde, der Mörtel koche.

Aus den Quellen geht außerdem hervor, dass es sich bei dem Beruf des Mörtelmachers nicht um einen Handlangerberuf, sondern um einen Lehrberuf handelte, auch wenn die Entlohnung der Mörtelmacher weit hinter der von Steinmetzen und Maurern lag.⁴¹ Der Mörtelmacher übte eine verantwortungsvolle Tätigkeit aus, von der unter Umständen das Gelingen des gesamten Bauwerks abhängen konnte. Endres Tucher schrieb dazu über die Mörtelmacher die den Dachdeckern das Material bereiten mussten:

„Als dan liderlich meister hie aufgenommen sein auf dem hantwerck der decker piß her, die den mortar nit gewist haben zu bereiten und die dach in der gemein ubel gedeckt und verwarlost haben, als sie dan des handwerx nit noch nottorft gelernt oder gekunt haben, auch die meister etlich untrüglich knecht von irs eigen nucz wegen dorzu geprauch haben, do-durch den leuten ir zimmer und heuser verdorben und erfault sein.“⁴²

Schlecht ausgebildete Handwerker waren also ein Problem, sodass wohl manchmal auch das beste Material nicht für einen qualitätsvollen Bau



Abb. 9: Ein Verputzer oder Gipser beim Verputzen einer Wandfläche mit Mörtelbrett und Kelle vor einem Mörtelkasten mit Haufwerk und Mörtelhacke 1425–36.

garantieren konnte. Binding führt in einer Quelle im Kapitel <Hütte und Zunft> folgende Vorschriften für die Pariser Mörtelmacher auf:

„Die Mörtelmacher müssen vor dem Meister, der dem Handwerk vorsteht, und den anderen qualifizierten Männern des Handwerks schwören, daß sie den Mörtel nur aus gutem Kalkstein bereiten, und wenn sie anderen Stein verwenden oder er ist aus Kalkstein, aber nicht ausreichen zerkleinert, muss er zerkleinert werden und muss dem Handwerksmeister vier deniers Strafe zahlen. Die Mörtelmacher können ihre Gesellen erst nach sechs Dienstjahren nehmen bei hundert Pariser sous als Bezahlung.“⁴³

In Zürich gab es 1541 offenbar Probleme einen guten Kalkmörtel zu bekommen und das lag den Aufzeichnungen zu Folge nicht am Ausgangsmaterial, sondern an der fehlerhaften Herstellung. Die bereits zwei Jahre vorher gerügten Fehler waren offensichtlich noch nicht ausgemerzt:

„Wieder war der züg übel gewercht, nit recht geschwelt, vnnd mer verbrennt, dann zurecht bracht, damit die welt übel versorgt.“ Die Neuordnung sah nun vor *„das der knecht [...] da vssen bim züg wonne, vnd des zügs warte, Sonnst were alles vergebens.“⁴⁴*

Der Rat wollte also in jedem Fall verhindern, dass das gute Material durch Schlamperei verdarb und die Bürger wieder nicht mit ausreichendem Mörtel versorgt werden konnten.

4.3 Die Mörtelherstellung

Das „Mörtel-Rezept“ – allgemein

Rezepturen für die Mörtelherstellung haben bis heute etwas Geheimnisvolles. Die Suche nach der gewissen Zutat, die den Mörtel besonders fest und widerstandsfähig macht, hält nach wie vor an.

Obwohl Mörtel nur aus Sand und Kalk besteht, ist die Variationsmöglichkeit fast unerschöpflich. Zusätzlich haben Engpässe bei der Materialbeschaffung mit Sicherheit zu Experimenten in der Mörtelherstellung geführt, die heute bei einer chemischen Analyse unter Umständen Rätsel aufgeben und die Vorstellung über die bewusste Zugabe von ungewöhnlichen Zuschlägen noch stärken. Meist waren es jedoch begrenzte, lokale Materialvorkommen, die als außergewöhnliche Zuschläge den Weg in den Mörtel fanden, der dann, je nachdem, gut oder auch schlecht wurde. Die guten Mörtel sind uns überliefert, die Schlechten haben die Zeit nicht überdauert.

Ein Beispiel für einen Zuschlag im Mörtel, welcher in Gegenden ohne Bergbau praktisch nicht vorkommen kann, war Schlacke. In der Region Kitzbühl, in der zwischen 1500 und 1580 ein blühender Kupfer- und Silberbergbau existierte, fanden sich an vielen Gebäuden Putze mit Schlackezusätzen.⁴⁵

Die Verwendung von Schlacken im Mörtel geht

meiner Meinung nach darauf zurück, dass man das Material als Zuschlagstoff nicht verschwenden wollte. Das Wissen darum, dass Schlacken bei der Herstellung des Mörtels nicht schaden, war möglicherweise viel wichtiger als die Erkenntnis, dass sie ihn besonders widerstandsfähig machen konnte. Die Kenntnis über eine gute Qualität und lange Haltbarkeit des Mörtels stellte sich ohnehin erst nach Jahren, möglicherweise Jahrzehnten ein. Die Rezepturen waren zudem meist nur mündlich überlieferte Erfahrungen der Meister, die den Mörtel herstellten. Die „Ressource Schlacke“ als Zuschlag konnte, dort wo sie vorhanden war, erfahrungsgemäß getrost verarbeitet werden, da sie keine Schäden verursachte. Interessant wäre zu prüfen, wie sich die Mörtel nach dem Niedergang der Silber- und Kupferhütten zusammensetzten. Wenn Schlacken in der Gegend um Kitzbühl nicht mehr vorrätig waren, sollten sie theoretisch als Zuschlag aus den Mörteln verschwunden sein. Bestimmte Phänomene waren also regional sehr begrenzt und sollten bei der Untersuchung von Mörteln auch so verstanden und interpretiert werden.

Die Untersuchung eines Mörtels aus der Zeit um 1300, die von Lisa Herrera im Rahmen ihrer Diplomarbeit⁴⁶ über die Wandmalereien von Hohenrain durchgeführt wurde, erbrachten z. B. einen sehr hohen Kalkgehalt; das Verhältnis für den Deckputz war hier fast 1:2. Im Mörtel ließ sich ein sehr feiner Hanfschnitt nachweisen, der sicher das Wasserrückhaltevermögen günstig beeinflusste und so offenbar verhinderte, dass es zu Rissbildungen beim Abbinden des Mörtels kam. Zusätze wie Schlacken und Hanf wurden zwar in keiner der verwendeten Quellen erwähnt, trotzdem lassen sie sich in den Mörteln nachweisen. Ihrer genauen Funktion sollte bei Untersuchungen in jedem Fall weiter nachgegangen werden.

4.4 Wie und wo wurde Kalkmörtel zubereitet?

In Zürich wurden im Sommer 1541 der Betrieb der Kalkhütte und die Mörtelzubereitung neu organisiert. Das *„kalch huß“* und die *„züg hütte“* befanden sich ausserhalb der Stadt vor dem Rennwegtor. Hier konnte man den Kalk aufbewahren und den Mörtel zubereiten. Hier lagerte auch der städtische Ziegelvorrat. Möglicherweise ist dieser Ort vergleichbar mit der Peunt, dem städtischen Bauhof, der bei Endres Tucher für Nürnberg erwähnt wurde. Der Begriff *„züg hütte“* ist in diesem Zusammenhang interessant, da man den Mörtel fast immer als Zeug bezeichnete und manchmal auch zwischen grobem und feinem Zeug unterschieden wurde.

Für die Arbeiten im Zürcher Kalkhaus war Franz Mugler verantwortlich. Er stand im Rang eines Amtmannes und rechnete ab November 1541 regelmäßig den Verkauf von Ziegeln und Mörtel ab, wohlgermerkt Mörtel und nicht Kalk!

François Guex schließt aus der Beschreibung für

„zeugs“ und dem Begriff „geschwelter züg“ richtig, dass es sich um ungelöschten Kalk handelt, der mit Sand und Wasser *gewercht* wurde. Das entsprach dem Verfahren der Herstellung von trocken gelöschtem Kalkmörtel, wie es in den Abbildungen immer wieder zu sehen ist.

Der besondere Vorteil dieses Verfahrens lag darin, das sich der trocken gelöschte Mörtel in den Haufwerken wesentlich besser lagern ließ als der ungelöschte Kalk selbst, der mit der Zeit durch den Kontakt zur Luft an Reaktionsfähigkeit verlor. Dieses Verfahren wird heute wieder von Wolfgang Kenter und den Mitarbeitern des Fränkischen Freilandmuseums Bad Windsheim in Zusammenarbeit mit der Propstei Johannesberg in Fulda in Seminaren weitergegeben. Zum Trockenlöschen werden während der Seminare große Haufwerke aus Sand und ungelöschtem Brandkalk angelegt und mit einer definierten Menge Wasser gelöscht.

Nach dem Anstich haben diese modernen Haufwerke eine große Ähnlichkeit mit den Haufwerken, wie sie auf den Abbildungen der mittelalterlichen Baustellen dargestellt werden (Abb. 10, 11).⁴⁷ Die Verarbeitung des trocken gelöschten Mörtels ist zudem sehr einfach. Er kann für einen längeren Zeitraum bereits fast fertig auf der Baustelle vorrätig gehalten werden.

François Guex folgert ebenso richtig, dass es sich bei der Mörtelzubereitung mit ungelöschtem Kalk um ein übliches und althergebrachtes Verfahren handelte, wie es wohl auch aus alten Rechnungseinträgen hervorgeht.⁴⁸ Die Rechnungseinträge geben außerdem Aufschluss über die jeweils gelieferten Mengen von Sand und Kalk, woraus man heute ungefähr auf die Zusammensetzung des Mörtels schließen kann. 1423 wurden in den Fraumünsterrechnungen folgende Mengenangaben verzeichnet:

„8 Malter Kalk und 15 kareten Sand, dazu 12 ß (Schilling) zu schwellen, 3 Malter und 6 kareten werden 1428 verarbeitet. Das gleicht Mischungsverhältnis ist 1429 erwähnt.“ „Der Rechnungsführer der Grossmünster-Fabrica bezahlte 1468/69 für ij malter kalg...iiij karren sand darinnen und für spiß vnd lon den züg zu reden (sieben) vnd schwellen. Auch 1478 trifft es 2 Malter Kalk auf 4 kareten sand, und 1480 wird bezahlt dz sand zuo Räden (sieben) vnd den kalch zu swelln“.⁴⁹

Das über Jahrzehnte bewährte Mischungsverhältnis für Mörtel in Zürich bestand also aus zwei Karetten Sand auf einen Malter Kalk. Umgerechnet mit den Maßeinheiten, die 1765 gebräuchlich waren, ergäbe sich daraus das Verhältnis von 100 Raumteilen Sand zu 34 Raumteilen Kalk, also in etwa ein Verhältnis von 3:1. Ein Mischungsverhältnis, welches nicht ungewöhnlich ist.

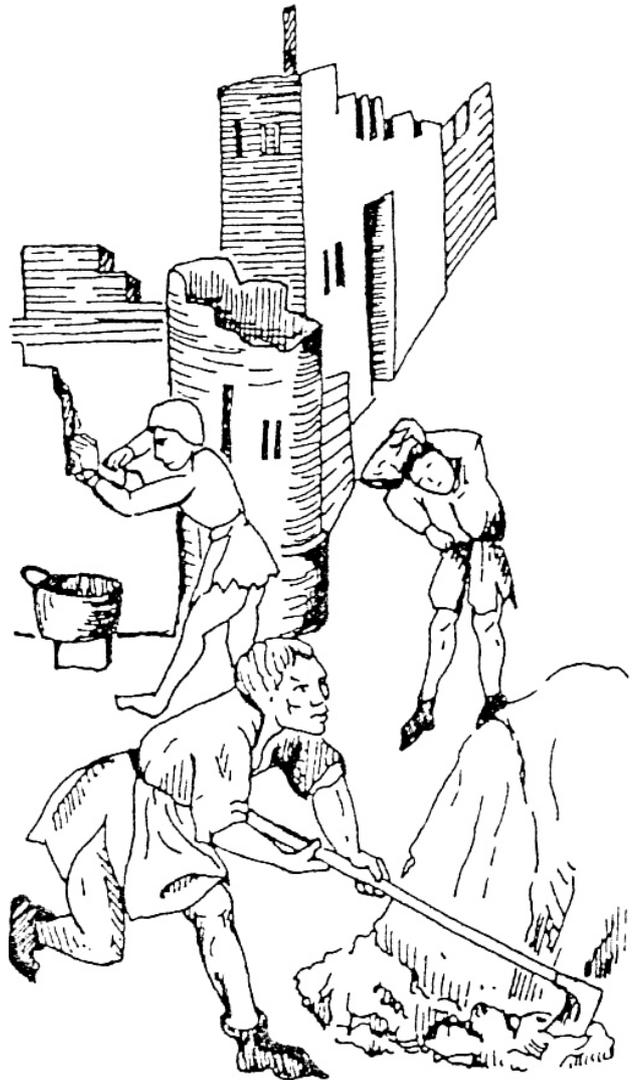


Abb. 10: Historisches Haufwerk (hier ohne Mörtelkasten), 1447/50.



Abb. 11: Modernes Haufwerk im Mörtelkasten, angelegt während des Mörtelseminars im Sommer 2008.

4.5 Rezeptangaben in Schriftquellen

Sehr selten sind Rezepturen für Mörtel tatsächlich aufgeschrieben worden. Ein Problem dieser wenigen Rezeptaufzeichnungen liegt zum Teil darin, dass sie von Personen verfasst wurden, die mit der Herstellung des Mörtels selbst gar nicht vertraut waren. So ergeben sich möglicherweise Verständnis-, Übersetzungs- und Transkriptionsfehler. Nichtsdestotrotz sind solche Aufzeichnungen ein wertvoller Schatz und können bei der Beurteilung von Analyseergebnissen und der Herstellung von Restaurierungsmörteln hilfreich sein.

Die Italienerin Carla Arcolao hat in einer einzigartigen Sammlung⁵⁰ Rezepturen für Mörtel aus verschiedenen Quellen zusammengetragen. Die übersetzten Rezepte stammen von Cennino Cennini (1437), Leon Battista Alberti (1485) und Philibert de l'Orme (oder Delorme) (1567–68). In allen drei Rezepten finden sich nur Sand und Kalk als Ausgangsprodukte für die Mörtelherstellung. Die Beschreibungen sind jedoch zum Teil sehr theoretisch und man gewinnt den Eindruck, vor allem auch beim Rezept von Alberti, dass er alt bekannte Rezepturen von Cato, Vitruv und Plinius nur übernahm und neu interpretierte.

1. Rezept von Leon Battista Alberti:⁵¹

„[...] Cato sagt, dass für einen Fuss Mauerwerk zwei Scheffel Sand und ein Scheffel Kalk benötigt werden. Andere Autoren geben andere Mischungsverhältnisse an. Vitruv und Plinius sagen, dass der Sand dem Kalk in der Weise beigemischt werden müsse, dass es ein Viertel sei bei Bruchsand, und ein Drittel falls es sich um Flusssand oder Meersand handele. Schließlich, wenn die Qualität oder die Art des Steins wie wir im folgenden ausführen werden, fließfähigere oder weichere Materialien verlangen, muss der Sand gesiebt werden; wenn hingegen im Sand sehr grobe Steine gefunden werden, werden dem Sand zur Hälfte kantige Kiesel oder Steinchen zugefügt. Wenn dann noch ein Drittel gestoßener Ziegel hinzugefügt wird erreicht man nach allgemeiner Auffassung ein deutlich festeres Gemisch. Auf jeden Fall, gleich welche Mischung verwendet wird, ist es notwendig, sie wieder und wieder gut durchzuarbeiten, damit auch jedes kleinste Teilchen gut untergemischt wird. Aus diesem Grund, um eine gute Durchmischung zu erreichen, rühren manche die Mischung sehr lange und stampfen sie in einem Mörser. [siehe Abb. 8]

Rezept, schematisch:

(nach Cato) – für ein Fuß (römischer Fuß 0 29.57 cm) aufgehendes Mauerwerk sind zu mischen:

Sand: 2 Scheffel (= 17,46 l)

Kalk: 1 Scheffel (= 8,73 l)

(nach Plinius und Vitruv) mischen:

Kalk: 1 Teil

Bruchsand: 4 Teile oder

Kalk: 1 Teil

Flusssand: 3 Teile oder Meersand“

Das Rezept von Alberti macht die bereits angesprochene Problematik deutlich. Der Verfasser übernahm vorhandene Rezepte und ergänzte sie möglicherweise mit aktuellen Beschreibungen, ohne wahrscheinlich je an der Mörtelherstellung selbst beteiligt gewesen zu sein. Er erwähnt z. B. mit keinem Wort, um was für Kalk es sich handelt und ob die Mischung für einen Setzmörtel oder einen Verputzmörtel gebraucht wurde. Die Aussage „für ein Fuß Mauerwerk“ gibt darüber nicht eindeutig Auskunft. Es scheint für ihn keine Rolle zu spielen oder es ist ihm nicht bewusst, dass es einen Unterschied machen könnte, ob der Kalk ungelöscht, bereits gelöscht, gemahlen oder lange gesumpft war. Er konzentrierte sich lediglich auf die Nennung unterschiedlicher Sandarten und auf die Mengenangaben, die verglichen mit den Angaben, die aus den Bauabrechnungen von Zürich überliefert sind, gering erscheinen. Für eine praktische Umsetzung auf der Baustelle waren diese geringen Mengenangaben sicher nicht sehr geeignet. Wichtig dagegen ist die Aussage, dass das Material gut durchgearbeitet werden musste. Eine Forderung, die indirekt („schlecht gewerchtes zeuch“) auch im Baumeisterbuch von Zürich zu lesen ist.⁵² Der Zusatz, dass (nach allgemeiner Auffassung, also nicht aus eigener Erfahrung des Verfassers!) die Beigabe von gestoßenen Ziegeln ein deutlich festeres Gemisch ergeben würde, ist jedoch wichtig. Diese Art der Zugabe wird zwar in keiner Quelle erwähnt, es verhält sich damit aber sicher ähnlich wie mit dem Zuschlag von Schlacken. War die „Ressource“ Ziegelbruch vorhanden, wurde sie auch verwendet. Die Erkenntnis, dass Ziegelbruch der Mörtelherstellung nicht schadet, sondern im Gegenteil noch nützlich sein kann, hat die Verarbeitung von Ziegelbruch lohnenswert gemacht. In einem weiteren Rezept von Cennino Cennini wird die Herstellung einer möglicherweise fast glänzenden Kalkglätte zur Einebnung der unregelmäßigen Mauerverbände beschrieben.

2. Rezept von Cennino Cennini:⁵³

„Wie eine jede Maueroberfläche glasiert (smaltare) werden kann. Nochmals spreche ich Dir vom aufgehenden Mauerwerk. Von jeher gibt es diese unebenen, oder unregelmäßigen Mauerverbände, die nicht mit der Kelle geglättet werden können. Nimm gut gesiebten Löschkalk und gesiebten Sand, gib dies in einen Behälter und verdünne das ganze mit klarem Wasser mit dem Pinsel aus groben Schweineborsten bis eine Paste entsteht; dann trage diese mit demselben Pinsel mehrmals auf die Maueroberfläche auf. Anschließend poliere mit der Kelle, es wird gut glänzen (smaltata). Und arbeite nass und trocken, als ob Du ein Fresco herstellen wolltest.“

5 Wissenschaftliche Nachweismöglichkeiten unterschiedlicher Herstellungstechnologien

Dieses Rezept erweckt den Eindruck, dass es praktisch umsetzbar ist. Die Anweisungen sind bis auf den Satzsatz eindeutig, die Materialien klar definiert. Die Rezeptur erscheint weniger „aus zweiter Hand“ zu sein als jene von Alberti.

Das letzte Rezept, welches an dieser Stelle erwähnt werden soll, ist insofern interessant, da hier die Mischungsverhältnisse im schematischen Rezept zwar nach Einstufung der Kalkqualität angegeben wurden, Philibert de l'Orme jedoch die Qualität des Sandes als wichtigen Faktor für die Mörtelherstellung beschrieb.

3. Rezept von Philibert de l'Ormes:⁵⁴

„Diskurs über die Verschiedenheit der Sande. Manche sind so gut, dass 5 Teile Sand auf einen Teil Kalk kommen, manchmal gar sieben. Nur einige benötigen zwei bis drei Teile und andere sind so schlecht, das gleich viel Sand wie Kalk nötig wird [...].

Rezept, schematisch (Mischung für gewöhnlichen Mörtel):

1. Mischung man mische:

fetten Kalk	1 Teil
Sand	5/7 Teil

2. Mischung man mische:

anderen Kalk	1 Teil
Sand	3 Teile

3. Mischung man mische:

schlechten Kalk	1 Teil
Sand	1 Teil“

In der schematischen Rezeptur wird, wie gesagt, die Qualität des Kalks als ausschlaggebender Faktor für das Mischungsverhältnis angegeben. Ähnlich wie Tucher, der im Baumeisterbuch über den Kalk von Deinswanck schrieb, dass er so gut sei, dass man viel weniger für Mörtel brauche als von anderen Sorten.⁵⁵ Die Rezeptur Philibert de l'Ormes ist deshalb nicht wirklich schlüssig und man gewinnt den Eindruck, dass die Aufzeichnung eher theoretisch ist, möglicherweise nicht richtig verstanden oder fehlerhaft übermittelt wurde. Ein sinnvoller Aspekt ist jedoch enthalten; Mit gutem Kalk kann man mehr Sand binden, als mit Schlechtem. Eine Tatsache, die Endres Tucher aus der Praxis kannte.

Ein gezieltes Quellenstudium von Bauabrechnungen und Vorratslisten, in denen sich möglicherweise weitere Anhaltspunkte zu Mengenangaben und Zuschlägen finden, könnte für die Interpretation der geschriebenen Rezepturen im Vergleich mit Befundenergebnissen chemischer Analysen hilfreich sein. Die tatsächlich benötigten und auch vorrätigen Materialien mit Rezeptaufzeichnungen und Befundenergebnissen bestimmter Regionen zu vergleichen, würde die Erkenntnis über die verwendeten Mörtel sicher vertiefen.

Bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen von Mörteln steht naturgemäß in erster Linie die Zusammensetzung des Materials im Vordergrund. Die Frage nach der Herstellungstechnologie blieb bisher weitgehend ausgeklammert, möglicherweise auch deshalb, weil die Besonderheiten, die durch eine bestimmte Herstellungsweise vielleicht einen „Fingerabdruck“ in der Probe hinterlassen haben, weitgehend unbekannt sind.

Dr. Karin Kraus beschäftigte sich im Rahmen ihrer Arbeit am Kloster Heydau in Morschen mit der Untersuchung von trocken gelöschten Mörteln.⁵⁶ In den Dünnschliffen von Mörtelproben ist nach Aussage von Dr. Kraus die angewendete Herstellungstechnologie sichtbar:

„Grobe Kalkbindemittelanteile, die sich durch ein mehr oder weniger feines Rissssystem auszeichnen, die klar umgrenzt sind und sich so vom feinkörnigen Kalkbindemittel abzeichnen, die manchmal zoniert sind oder nach außen dichter werden, die auch nicht kalkige, silikatische Bestandteile aufweisen können, sind Zeugnis eines Löschprozesses, beim dem sich über längere Zeit hohe Temperaturen aufbauen konnten, bei dem Wasser nicht über längere Zeit im Überschuss vorhanden war und bei dem die groben Partikel nicht vor der Mörtelbereitung abgetrennt wurden. Für diesen Löschvorgang hat sich in Deutschland der Begriff historisches Trockenlöschen durchgesetzt. In England wird diese Technik als ein Verfahren der Hot-Lime-Technology genannt.“⁵⁷ (Abb. 12, 13)

Diese technologischen Besonderheiten gilt es bei Untersuchungen zu erkennen und richtig zu interpretieren. Sehr hilfreich könnten dabei Vergleichsproben sein, welche mit unterschiedlichen Herstellungstechnologien angefertigt werden. Besteht dann noch die Möglichkeit, regional spezifische Materialien zu verwenden, könnten sich brauchbare Vergleichsproben bei der Untersuchung und Interpretation von historischem Mörtelmaterial ergeben. Diese Art der Untersuchung würde aber voraussetzen, dass für viele Regionen derartige Proben erstellt und die historischen Mörtel gezielt neben ihrer Zusammensetzungen auch auf ihre technologischen Besonderheiten hin untersucht werden.

6 Möglichkeiten und Grenzen der Nachstellung historischer Rezepturen

Bei der Restaurierung historischer Mörteloberflächen hat sich in den letzten Jahren glücklicherweise der Trend zur Erhaltung und Konservierung immer mehr durchsetzen können. Die Praxis aus

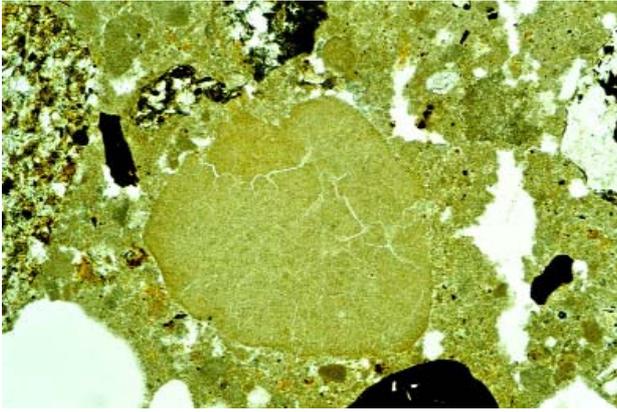


Abb. 12: Römischer Unterputzmörtel aus der Villa am Silberberg bei Ahrweiler. Größe des Kalkbindemiteleinschlusses 2 mm. (Mikroskopische Aufnahmen in einfach polarisiertem Licht).

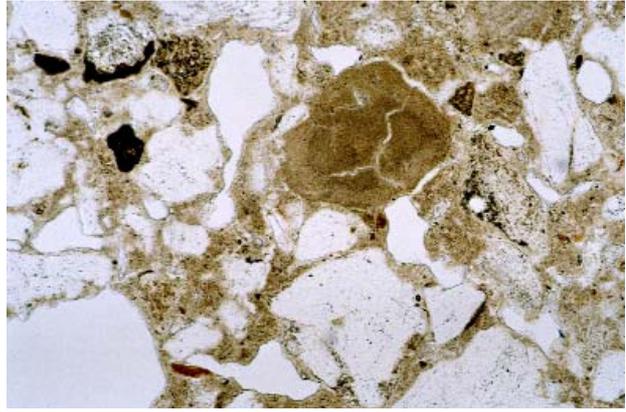


Abb. 13: Vom Restaurator Wolfgang Kenter 2007 nachgestellter Kalkputz unter Verwendung eines in einem Sand-Brandkalk Haufwerk gelöschten Kalks. Größe des Kalkbindemiteleinschlusses 0,3 mm. (Mikroskopische Aufnahmen in einfach polarisiertem Licht).

früheren Jahren, schadhafte Putzoberflächen einfach durch Neuverputze zu ersetzen und dabei vielfach auf industrielle Fertigprodukte zurückzugreifen, wird zwar noch angewendet, aber nicht mehr konsequent ausgeführt. Die Erkenntnis hat sich etabliert, dass der Verlust der historischen Putzhaut auch einen Verlust an unwiederbringlicher Information über Materialien und historische Herstellungstechnologien bedeutet. Die nachgewiesenermaßen große Vielfalt an historischen Mörteln verlangt bei der Konservierung und Restaurierung nach ganz individuellen Maßnahmen und Materialien. Eingehende Voruntersuchungen sollten vorhandene Quelle und die Recherche nach den natürlichen Vorkommen bestimmter Materialien, z. B. regional bekannte Kalk-, Gips- und Sandvorkommen, in die Überlegungen mit einbeziehen. Gezielte Mörtelanalysen können klären, welche regionalen Vorkommen genutzt und welche technologischen Verfahren für die Herstellung des Mörtels angewendet wurden. Technologisch und materiell gute Mörtel lassen sich so möglicherweise von denen unterscheiden, die von Anfang an von schlechter Qualität waren und oft ausgebessert werden mussten. Unter Umständen lässt sich auch der Grund für die schlechte Qualität ermitteln, seien es nun mangelhafte Ausgangsmaterialien oder eine schlechte Verarbeitung.

Für die Konservierung und Restaurierung eines historischen Putzes ist es von Wert zu wissen, woher die Mangelhaftigkeit kommt, da bei der Nachstellung einer historischen Mörtelzusammensetzung technologische Fehler nicht wiederholt oder mangelhafte Ausgangsprodukte verwendet werden sollen. Je größer die Kenntnis über den jeweiligen historischen Mörtel eines Gebäudes ist, umso einfacher gelingt die Herstellung eines adäquaten

Restauriermörtels. Ziel sollte es künftig sein, für die Restaurierung von historischen Putzen die unkritische Verwendung von genormten Werkfertigermörteln ganz auszuschließen, da sie sich nie an der historischen Matrix des jeweiligen originalen Putzes orientieren können und so immer Fremdkörper auf der Oberfläche bleiben.

Die Vielfältigkeit der historischen Mörtel setzt für die Nachstellung von Restauriermörteln aber auch Grenzen. Es ist nicht immer möglich, genau die Mörtelzusammensetzung zu ermitteln, die für das jeweilige Gebäude verwendet wurde. Möglicherweise sind bestimmte Materialien, die ursprünglich Verwendung fanden, heute nicht mehr verfügbar. So verwendet man für die Restaurierung von historischen Mörteln in Norddeutschland heute keinen Muschelkalk mehr. Wichtig erscheint mir aber, dass die jeweils verwendete Technologie zur Herstellung des historischen Mörtels auch bei der Herstellung des Restaurierungsmörtels zur Anwendung kommt. So sollte dort, wo ein trocken gelöschter Mörtel eingesetzt wurde, auch wieder ein trocken gelöschter Mörtel verwendet werden. Die neue Rezeptur kann durchaus aus Materialien bestehen, die dem originalen Material vergleichbar, aber nicht gleich sind. Diese Praxis sollte auch für Sumpfkalk- und Heißmörtel gelten. In den Bereichen, wo sich historische Mörtel über Jahrhunderte erhalten haben, ist weder ihre Zusammensetzung noch ihre Technologie schlecht und es gibt keinen Grund, sie bei einer Restaurierung durch artfremde moderne Materialien zu ersetzen, auch wenn sie stellenweise Schäden aufweisen. Eine dauerhafte Haltbarkeit ohne Schäden können auch moderne Materialien nicht garantieren, wie viele Beispiele inzwischen gezeigt haben (Abb. 14).

Allerdings besteht nach wie vor ein großer Informa-



Abb. 14: Aussenfassade der Silvesterkapelle in Goldbach. Schäden im Sockelbereich nach Neuverputz mit Saniermörtel. Die neuen Schäden traten bereits nach wenigern Jahren wieder auf.

tionsbedarf über Eigenschaften historischer Mörtelmaterialien und die Möglichkeit ihrer Nachstellung für die Restaurierung. Zudem halten sich hartnäckige Fehleinschätzungen über die Haltbarkeit von Kalkmörteln, welche oft auf den Ergebnissen falsch angelegter Versuchsreihen beruhen. Dort wo z. B. ein Sumpfkalkmörtel statt eines ehemals trocken gelöschten Mörtels als Probe angelegt wurde, kann er nicht halten. Es muss nach kurzer Zeit unweigerlich zu Schäden kommen, die dann leider auf das Material Kalk zurückgeführt werden und nicht auf die falsche Wahl des Materials in der Probe.

7 Zusammenfassung

Als wichtigstes Fazit zu den vorliegenden Recherchen steht die Erkenntnis, dass eine Verallgemeinerung über die Herstellung und Zusammensetzung von historischen Kalkmörteln derzeit noch unmöglich ist und vielleicht immer unmöglich bleiben wird. Ein Material wie Mörtel, dessen Zusammensetzung in bisher weitgehend unerforschter Vielfalt existiert, darf nicht auf einige wenige, vermeintlich allgemeingültige Rezepturen reduziert werden. Schließlich wird die Herstellung durch regional verfügbare Ressourcen, durch Wandlungen in der Gestaltung von Architekturoberflächen und sogar politische und gesellschaftliche Auseinandersetzungen stark beeinflusst. Die Erkenntnis über die Vielfalt der Mörtel, die sich aus den bisher ebenfalls weitgehend unerforschten schriftlichen und bildlichen Quellen noch ergeben wird, kann in Ergänzung mit gezielten Untersuchungen historischer Mörtel einen wichtigen Schritt im allgemeinen Verständnis und in der Akzeptanz von Kalkmörteln bedeuten. Gezielte Untersuchungen

von nachgestellten Mörteln mit ortsspezifischen Materialien in verschiedenen Herstellungstechnologien helfen zudem, regionale Phänomene von althergebrachten und üblichen Rezepturen zu unterscheiden. Dadurch wird sich die Bandbreite der Vergleichsmöglichkeiten stark erweitern und regionale Besonderheiten auch als solche erkannt und nicht als Verallgemeinerungen zwischen unreflektierten oder falsch interpretierten Befunden untergehen. Deshalb erfordern vielversprechende Ergebnisse in der Untersuchung historischer Mörtel eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftlern, Restauratoren und Historikern.

8 Danksagung

Meinen Dank möchte ich für die großzügige Unterstützung und Hilfe, die ich bei der Recherche und Korrektur dieses Aufsatzes erhalten habe, aussprechen. Er gilt Dr. Gabriele Grasseger, die es mir ermöglicht hat, das Thema bei der Tagung vorzustellen, Claudia Neuwald-Burg für die Übersetzungen der italienischen Rezepte, Dr. Karin Kraus dafür, dass sie mir Untersuchungsergebnisse zur Verfügung gestellt hat, Dr. Karl Grunder für die Überlassung der 30 unveröffentlichten Quellen aus dem Staatsarchiv Zürich, Wolfgang Kenter und den Mitarbeitern des Freilandmuseums Bad Windsheim für die Anleitung im Mörtel-Seminar im Sommer 2008, Annina Lanfranchi, Gabi Wolf und meinem Mann für die hilfreichen Anmerkungen und die Korrektur des Aufsatzes.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Tucher, Endres: Baumeisterbuch der Stadt Nürnberg (1464–1475). Ediert von Dr. Friedrich von Weech, Bibliothek des Literarischen Vereins in Stuttgart, 1862, Bd. 64, Neuauflage, Amsterdam 1968.

Guex, François: Bruchstein, Kalk und Subventionen – Das Zürcher Baumeisterbuch als Quelle zum Bauwesen des 16. Jahrhunderts. (Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich Bd. 53), Zürich 1986.

Sander-Berke, Antje: Baustoffversorgung spätmittelalterlicher Städte Norddeutschlands. Köln 1995.

Binding, Günter: Der Mittelalterliche Baubetrieb in Zeitgenössischen Abbildungen. Darmstadt 2001.

Binding, Günter: Baubetrieb im Mittelalter. Darmstadt 1993.

Arcolao, Carla: La Ricette del restauro. Malte, intonaci, stucchi dal XI al XIX secolo. 2. Auflage, Venedig 2001.

Diekamp, Anja (Hrsg): Monographie Naturwissenschaft & Denkmalpflege. Innsbruck 2007.

Hoer, Gerorg Paul: Das Lexikon der Betrügereien aller Stände im 18. Jahrhundert. Coburg 1720, Neuauflage 1773, Reprint, Paderborn 2004.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Binding, 2001, S. 26, Abb. 42. (Basel: Michael Furter, Offizin Passo S. Meinradi, Holzschnitt, Schramm 22, Nr. 554; Hecht S. 255 Abb. 67).

Abb. 2: Binding, 2001, S. 29, Abb. 61. (Berlin, Staatsbibl. Preuß. Kulturbesitz, Ms. Germ. Fol. 565, Bl. 396, Buchmalerei, Bi/Nu 297).

Abb. 3: Binding, 2001, S. 30, Abb. 67. (Berlin, Staatliche Museen zu Berlin, Preuß. Kulturbesitz, Kupferstichkabinett, Ms. 78 E 1, fol. 11, Rudolf von Ems Weltchronik (Toggenburg Bibel) Buchmalerei (Wenzel-Werkstatt Bodenseeraum) Bi/Nu 75; Tyghem, Abb. 97; Minkowski Bild 6).

Abb. 4: Binding, 2001, S. 79, Abb. 239. (Leipzig, Universitätsbibl. Rep. I, 1, fol. 1v, Liviushandschrift Buchmalerei (Norditalien), Tyghem, Abb. 59; Brandt II, S 42, Abb. 37).

Abb. 5: Binding, 2001, S. 55/56, Abb. 152. (Den Haag, Mauritius, Kat. Nr. 784, Hubertus van Eyck (?), Der Turmbau zu Babel, Tafelmalerei, Bi/Nu 117; Tyghem, Abb. 161; Minowski, Bild 138; Pächt, Otto: Van Eyck. Der Begründer der alt-niederländischen Malerei. HG.: Maria Schmidt-Dengler. München 1998, S. 207, Abb. 124).

Abb. 6: Binding, 2001, S. 102, Abb. 306. (Mainz, Beter

Schöffer, Offizin Botho, Chronik der Sachsen, Holzschnitt, Schramm 14, Nr. 895).

Abb. 7: Binding, 2001, S. 125, Abb. 372. (Nürnberg, Stadtbibl. Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung, fol. 36 Federzeichnung Treue, Taf. 264, Seitenverkehrte freie Kopie).

Abb. 8: Binder, 2001, S. 170, Abb. 534a. (Straßburg, Bibl. Nationale et Universitaire, Ms. 523, fol. 3 Augustinus, Cité de Dieu, Buchmalerei (Niederlande); Recht S. 344, Abb. A8; Laborde Alexandre Comt de: Les Manuscrits à peintures de la Cité de Dieu de saint Augustin. Paris 1909, Abb. 42; Winckler, Friedrich: Die flämische Buchmalerei der VX. Und XVI Jahrhunderts. Leipzig 1925; Le siècle de la miniature de Philippe le Bon. Ausst.-Kat. Brüssel-Amsterdam 1959, Abb. 223).

Abb. 9 : Binding, 2001, S. 126, Abb. 377. (Nürnberg, Stadtbibl. Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung, fol. 30v, Federzeichnung, Treue, Tafel S. 57; RDK VII, Sp. 275, Abb. 1).

Abb. 10: Binding, 2001, S. 192, Abb. 619e. (Wien, Österr. Nat. Bibl., Cod. 2549, fol. 111, Girat-de-Roussillon-Handschrift, Buchmalerei; Thoss, S. 134, mittlere Abb.).

Abb. 11: Foto Marinowitz, 2008.

Abb. 12: Foto: IFS-M 2195, Institut für Steinkonservierung e. V. Mainz, Dr. Karin Kraus.

Abb. 13: Foto: IFS-M 2437, Institut für Steinkonservierung e. V. Mainz, Dr. Karin Kraus.

Abb. 14: Foto Marinowitz, 2007.

Titelbild: Binding, 2001, S. 76, Abb. 225. (Köln, Heinrich Quentell, Offizin Niederdeutsche Bibel, Holzschnitt, Bi/Nu 313; Schramm 8, Nr. 363; Tyghem, Abb. 157; Eichenberger, Walter u. Henning Wendland: Deutsche Bibeln vor Luther. Hamburg 1977, S. 75, Abb. 168; Minkowski, Bd. 81)

Anmerkungen

¹ Endres Tucher: Baumeisterbuch der Stadt Nürnberg (1464–1475). ediert von Dr. Friedrich von Weech, Bibliothek des Literarischen Vereins in Stuttgart, 1862, Bd. 64, Neuauflage, Amsterdam 1968.

² François Guex: Bruchstein, Kalk und Subventionen – Das Zürcher Baumeisterbuch als Quelle zum Bauwesen des 16. Jahrhunderts. (Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich, Bd. 53), Zürich 1986.

³ Antje Sander-Berke: Baustoffversorgung spätmittelalterlicher Städte Norddeutschlands. Köln 1995.

⁴ Günter Binding: Der Mittelalterliche Baubetrieb in Zeitgenössischen Abbildungen. Darmstadt 2001.

⁵ Günter Binding: Baubetrieb im Mittelalter, Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt 1993.

⁶ Dr. Karl Grunder stellte die 30 unveröffentlichten Quellen für Zürich zur Verfügung. Sie stammen aus dem Staatsarchiv Zürich, weitere Angaben auf Nachfrage.

- ⁷ Tucher (1862), S. 94.
- ⁸ Ebd., S. 94.
- ⁹ Ein „Sümer“ ist ein Hohlmaß mit sehr unterschiedlichen Fassungsangaben. In der Regel wird es für Getreide oder Flüssigkeiten verwendet. In Nürnberg wird aber auch der gebrannte Kalk in Sümern abgemessen, in Zürich erfolgt das Abmessen in Maltern.
- ¹⁰ Guex (1986), S. 13, 47.
- ¹¹ Guex (1986), S. 48.
- ¹² Ebd., S. 50.
- ¹³ Tucher (1862), S. 91.
- ¹⁴ Sander-Berke (1995), S. 47.
- ¹⁵ Sander-Berke (1995), S. 49.
- ¹⁶ Sander-Berke (1995), S. 52.
- ¹⁷ Guex (1986), S. 54
- ¹⁸ Staatsarchiv Zürich, FIII 4 (1654/1655), S. 163: „4lb 14 ß Jacob Äpli von 5 bännen voll sand von der Sill zum Richthuß à 9 ß und 5 bännen voll stein und ein bännen voll kalch dahin z^o führen à 8 ß, den 14. dito [April 1655].“
- ¹⁹ Tucher (1862), S. 89.
- ²⁰ Ebd., S. 90–91.
- ²¹ Ein Fuder ist eine Wagenladung. Die Menge die ein Fuder beinhaltet, kann regional sehr stark schwanken.
- ²² Tucher (1862), S. 92.
- ²³ Tucher (1862), S. 93.
- ²⁴ Ebd., S. 93.
- ²⁵ Ausdruck unbekannt, an anderer Stelle wird erwähnt dass der Kalk nach dem Löschen „*melreicher*“ wird als andere. Es könnte sich auch um eine Art Pulver, ähnlich dem heutigen Kalkhydrat, handeln und nicht um einen Kalkbrei. Siehe auch Zitat Tucher S. 2.
- ²⁶ Tucher (1862), S. 93.
- ²⁷ Guex (1986), S. 50.
- ²⁸ *schwellen* = kochen, hier in der Bedeutung von *löschen* zu verstehen.
- ²⁹ Guex (1986), S. 50.
- ³⁰ Guex (1986), S. 53.
- ³¹ Guex (1986), S. 53–55.
- ³² Guex (1986), S. 54.
- ³³ Abgabe einzelner Quellen auf Nachfrage.
- ³⁴ Sander-Berke (1995), S. 63.
- ³⁵ Binding (1993), S. 106.
- ³⁶ Binding (1993), S. 106.
- ³⁷ Oekonomische Encyklopädie oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus-, und Landwirtschaft von D. Johann Krünitz 1773 bis 1858, Krünitz Online, Volltextversion der Universität Trier, www.kruenitz1.uni-trier.de, Abschnitt: Kalk.
- ³⁸ Krünitz, Abschnitt: Gips.
- ³⁹ Tucher (1862), S. 278.
- ⁴⁰ Deutsches Rechtswörterbuch und Auszug aus Tagwerksordnung der Residenz München, S. 62 in: www.digitalis.uni-keoln.de
- ⁴¹ Binding (1993), S. 137ff.
- ⁴² Tucher (1862), S. 279.
- ⁴³ Binding (1993), S. 106.
- ⁴⁴ Guex (1986), S. 52.
- ⁴⁵ Naturwissenschaft & Denkmalpflege, Hrsg. Anja Diekamp, Innsbruck 2007, Diekamp S. 152/152.
- ⁴⁶ Lisa Herrera: Die Restaurierung der hochmittelalterlichen Wandmalereien der Johanniterkommende Hohenrain und der Versuch eines Vergleichs mit den Restaurierungsmethoden der Wandmalereien von Münchenbuchsee und Bubikon. Diplomarbeit im Fach Wandmalereirestauration, Hochschule der Künste Bern, 2008.
- ⁴⁷ Wolfgang Kenter: Seminarunterlagen „Historische Putztechniken“, 2008.
- ⁴⁸ Guex (1986), S. 52.
- ⁴⁹ Ebd., S. 53.
- ⁵⁰ Carla Arcolao: *La Ricette del restauro. Malte, intonaci, stucchi dal XI al XIX secolo*, 2. Auflage, Venedig 2001.
- ⁵¹ Arcolao (2001), S. 188–189, Übersetzung Claudia Neuwald-Burg.
- ⁵² Guex (1986), S. 52.
- ⁵³ Arcolao (2001), S. 84, Übersetzung Claudia Neuwald-Burg.
- ⁵⁴ Arcolao (2001), S. 109, Übersetzung Claudia Neuwald-Burg.
- ⁵⁵ Tucher (1862), S. 94.
- ⁵⁶ Dr. Kraus präsentierte Untersuchungsergebnisse dazu im Seminar in Bad Windsheim im Sommer 2008. Sie stellte der Verfasserin für den Aufsatz freundlicher Weise Querschliffe aus ihrer Untersuchungsreihe zur Verfügung.
- ⁵⁷ Untersuchungsbefund zum Trockenlöschverfahren, welcher mir von Dr. Karin Kraus für den Aufsatz zusammen mit den Abbildungen 12 und 13 übermittelte wurde. (IFS Institut für Steinkonservierung e. V., Dr. Karin Kraus, 55116 Mainz).