

Gesteinsbestand und Verwitterung auf Friedhöfen des 19. Jahrhunderts, vor allem am Beispiel Münchens

Einleitung

Zu Beginn der 1970er Jahre entsprachen die geowissenschaftlichen Grundlagen, auf denen die technische Beurteilung sowie die Konservierungs- und Restaurierungskonzepte von Denkmalgesteinen beruhten, noch weitgehend dem Stand, der um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert etabliert worden war.¹ Damals hatte – wie der damalige Generalkonservator des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Michael Petzet, schon 1984 konstatierte – „das Thema ‚immissionsbedingte Materialschäden‘ noch in keiner Weise jenes öffentliche Interesse gefunden, das ihm heute im Rahmen der allgemeinen Diskussion um die Folgen des ‚sauren Regens‘ zukommt“. Es war ein besonderes Verdienst der Stiftung Volkswagenwerk, dass sie etwa 1970 das Schwerpunktprogramm „Archäometrie“ initiiert hat und dann bis in die Mitte der 1980er Jahre mit mehr als 30 Millionen DM unterstützte. Dadurch wurde das allgemeine Interesse an den Problemen der Natursteinverwitterung, an der schädigenden Rolle der Umweltbelastungen und an aktuellen Möglichkeiten der Konservierung und Restaurierung steinerner Bauten und Denkmäler erneut belebt.

Im Rahmen dieses Schwerpunktprogramms „Archäometrie“ arbeiteten der Verfasser und seine Mitarbeiter über die „Naturwerksteine und ihre Verwitterung an Münchner Bauten und Denkmälern“. In der hierzu von Grimm und Schwarz 1985 vorgelegten Publikation wird konstatiert, dass „neben der Kartierung der Innenstadt auch die Friedhöfe Münchens auf ihren Gesteinsbestand untersucht“ worden sind.² Auf Anregung des Verfassers hat vor allem Klaus Poschod im Rahmen seiner Diplomarbeit (1984) den historischen Alten Südfriedhof bearbeitet und einen „Gesteinslehrpfad“ vorgeschlagen, der die wichtigsten Denkmalgesteine und ihr Verwitterungsverhalten aufzeigt.³ In der genannten Publikation von Grimm und Schwarz werden die von Poschod beschriebenen 133 Grabdenkmäler des Alten Münchner Südfriedhofs in einem Kurzverzeichnis zusammengefasst; es enthält für jedes Objekt den Namen des Verstorbenen, die Exposition der Vorderseite des Grabsteins, die ungefähre Datierung der Grabstein-Errichtung, das Gesteinsmaterial und die wichtigsten Verwitterungserscheinungen.⁴ An einigen typischen Beispielen gehen Poschod und Grimm auf besonders bemerkenswerte Verwitterungsschäden und deren Behebung durch Restaurierungsmaßnahmen, z. B. frühe Anwendung der Acrylharzvolltränkung, ein (Abb. 22).⁵ Später wurden weitere Münchner Friedhöfe in die Untersuchungen einbezogen, insbesondere der Alte Nördliche Friedhof,⁶ der Waldfriedhof⁷ sowie der Neue Nordfriedhof an der Ungererstraße.⁸

Unsere Erfahrungen im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Archäometrie“ haben ergeben, dass Friedhöfe besonders geeignet sind als Untersuchungsobjekte zur Verwendung und Verwitterung von Denkmalgesteinen. Die große Zahl der Denkmäler und die Vielfalt an heimischen und exotischen Materialien ermöglichen es, die unterschiedlichen Gesteinsarten



Abb. 1 Schmieheim/Baden, Jüdischer Friedhof: Der monotone Denkmalbestand aus Buntsandstein gelangte aus nahe gelegenen Steinbrüchen auf den Friedhof. Dem jüdischen Grundsatz der Unantastbarkeit der Totenruhe entsprechend, haben die Grabsteine die letzten Jahrhunderte unverfälscht durch Steinpflege und -restaurierung überstanden und waren dadurch ungestört der natürlichen Verwitterung ausgesetzt.

und ihr spezifisches Verwitterungsverhalten vergleichend zu erfassen und statistisch auszuwerten. Günstig ist, dass die Monumente allseitig zugänglich sind, so dass die Verwitterungsangriffe an verschiedenen Grabsteinseiten und in verschiedenen Höhen beobachtet werden können. Da das auf dem Stein vermerkte Datum des Todesjahres zumeist mit der Errichtung des Grabmals übereinstimmt, ist die Dauer der Exposition gegen die Verwitterungseinflüsse auf das Jahr genau ablesbar.

Jüdische Friedhöfe sind für solche Untersuchungen besonders geeignet, da die Grabsteine dort – dem jüdischen Grundsatz der Unantastbarkeit der Totenruhe entsprechend – die letzten Jahrhunderte oft unverändert und unverfälscht überstanden haben (Abb. 1). Zwar gilt die Unantastbarkeit streng genommen nur für den Toten selbst; doch wird sie gewöhnlich auch auf den Grabstein übertragen, obwohl auf notwendige Reinigungs- und Restaurierungsmaßnahmen nicht unbedingt verzichtet werden müsste. Doch gerade auf ländlichen jüdischen Friedhöfen wurden die Steinpflege und -konservierung oder der Steinersatz zumeist nur zurückhaltend und behutsam angewandt, so dass die Kontinuität des natürlichen Verwitterungsablaufs dort kaum gestört oder unterbrochen ist.

Die Erfolge des Schwerpunktprogramms „Archäometrie“ der Stiftung Volkswagenwerk, dazu die Aktivitäten der internationalen Verbände ICOMOS und RILEM zum Denkmalschutz sowie die Erfahrungen zum Baumsterben durch Umweltbelastung veranlassten zu Beginn der 1980er Jahre das Deutsche Nationalkomitee für Denkmalschutz, eine dem Schutz der Wälder analoge Initiative zur Bewahrung der Denkmäler zu begründen.⁹ Unter spontaner Befürwortung durch Bundeskanzler Helmut Kohl, der den Denkmalschutz als „eine große geschichtliche Verpflichtung gegenüber der kommenden



Abb. 2 Nürnberg, St.-Johannis-Friedhof: Über 500 Jahre hinweg wurden die liegenden Grabsteine hier aus Blöcken von „Worzeldorfer Quarzit“, einer Abart des Burgsandsteins, gefertigt. Diese heimischen „Weichgesteine“, die aus Brüchen im Wendelsteiner Höhenzug südlich von Nürnberg stammen, wurden erst ab 1860, zu Beginn der Gründerzeit und als Folge der „industriellen Revolution“, durch prunkvolle exotische Gesteine ersetzt. Für die nunmehr hochragenden Denkmäler in aufwändiger Gestaltung wurden vor allem der aus Schweden importierte schwarze und harte Hyperit-Diabas „Schwarz-Schwedisch“ sowie der weiße Carrara-Marmor verwendet.



Abb. 3 Georgensgmünd/Mittelfranken, Jüdischer Friedhof: Auf dem seit dem Ende des 16. Jahrhunderts bestehenden Friedhof wurden bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts fast ausschließlich Grabsteine aus heimischen Burgsandstein-Brüchen und aus nur wenige Zehnerkilometer entfernten Vorkommen von Solnhofener Plattenkalkstein verwendet. Dann setzte unvermittelt die Zufuhr von Fremdgesteinen ein: zunächst grüne, gelbe und rote Sandsteine aus entfernteren Steinbrüchen Nordbayerns, dann zusätzlich exotischer basaltartiger Hyperit-Diabas „Schwarz-Schwedisch“, meist in Obeliskenform. Der schroffe Wechsel zeigt sich deutlich in den beiden Reihen, die von 1880 bis 1905 nacheinander mit Grabsteinen besetzt wurden.

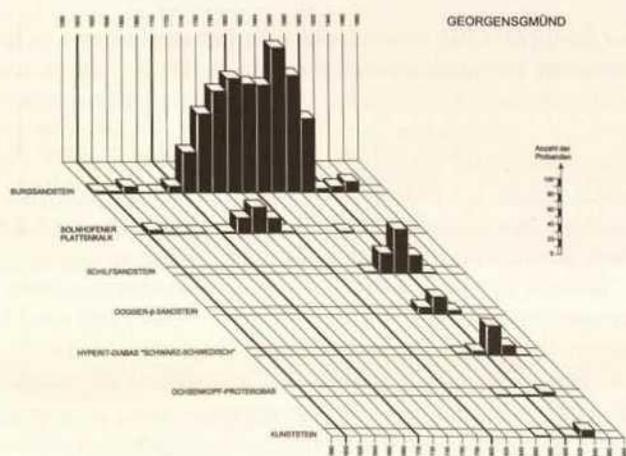


Abb. 4 Georgensgmünd/Mittelfranken, Jüdischer Friedhof: Das Diagramm zeigt die Verteilung der wichtigsten Denkmalgesteine in der Zeit von 1580 bis 1960, unterteilt in Perioden von 20 Jahren. Bis etwa 1860 wurden ausschließlich die heimischen Gesteine Burgsandstein und Solnhofener Plattenkalkstein verwendet. Erst anschließend – im Gefolge der industriellen Revolution und mitbedingt durch die Emanzipation der Juden – wurden diese in benachbarten Steinbrüchen gewonnenen Materialien durch Denkmalgesteine aus entfernteren Bruchrevieren verdrängt: zuerst nach Verfügbarkeit neuer Transportwege durch die „Weichgesteine“ Schilfsandstein und Dogger-β-Sandstein, sodann nach Verfügbarkeit neuer Abbau- und Verarbeitungsmethoden durch die „Hartgesteine“ Ochsenkopf-Proterobas und den basaltartigen Hyperit-Diabas „Schwarz-Schwedisch“.



Abb. 5 Die Pfarrkirche St. Peter zu München war vom Mittelalter bis zum Ende des 18. Jahrhunderts von einem schmalen Kirchhof umgeben. Daran erinnern heute nur noch die renaissancezeitlichen bis klassizistischen Epitaphien an den Kirchenmauern. Sie wurden – wie auch an der Münchner Frauenkirche (vgl. Abb. 25) – fast ausschließlich aus rotem Juraknollenkalkstein, zumeist von Adnet bei Salzburg, sowie aus beigefarbenem Solnhofener Kalkstein gefertigt, zumal deren Steinbrüche bereits Blöcke in der gewünschten Plattendicke lieferten. In der vorindustriellen Zeit bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts, als Schwertransporte auf den Straßen noch äußerst mühselig waren, gelangten diese Kalkplatten in großer Menge auf dem Wasserweg nach München.



Abb. 6 Alter Südlicher Friedhof zu München, 13. Sektion; Ensemble mit Grabsteinen aus dem 19. Jahrhundert (Klassizismus bis Gründerzeit): Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden fast ausschließlich „Weichgesteine“ verwendet, die aus Steinbrüchen in der Umgebung Münchens stammen oder leicht auf den Flüssen herbei zu transportieren waren. Mit den modernen technischen Möglichkeiten und auf den neuen Transportwegen, die durch die industrielle Revolution eröffnet wurden, kamen dann zunehmend auch Denkmalgesteine aus entfernteren Provenienzen hinzu, darunter der schwarze, basaltartige Hyperit-Diabas „Schwarz-Schwedisch“, der sich in gründerzeitlichen Denkmälern oft in Kombination mit weißem Carrara-Marmor findet.

Abb. 7 Mit dem Waldfriedhof in München schuf Hans Grässel zu Beginn des 20. Jahrhunderts in naturnah belassener Waldlandschaft und mit schlicht gestalteter Grabmalarchitektur einen neuen Prototyp, der maßgeblich zur Ablösung der prunkvollen Gründerzeit-Friedhöfe beigetragen hat. Die von Grässel geforderte Beschränkung auf unauffällige heimische Denkmalgesteine stellt eine Rückbesinnung auf die bodenständigen Materialien der vorindustriellen Zeit dar.

Gesteinsgruppen der Denkmäler auf Münchner Friedhöfen

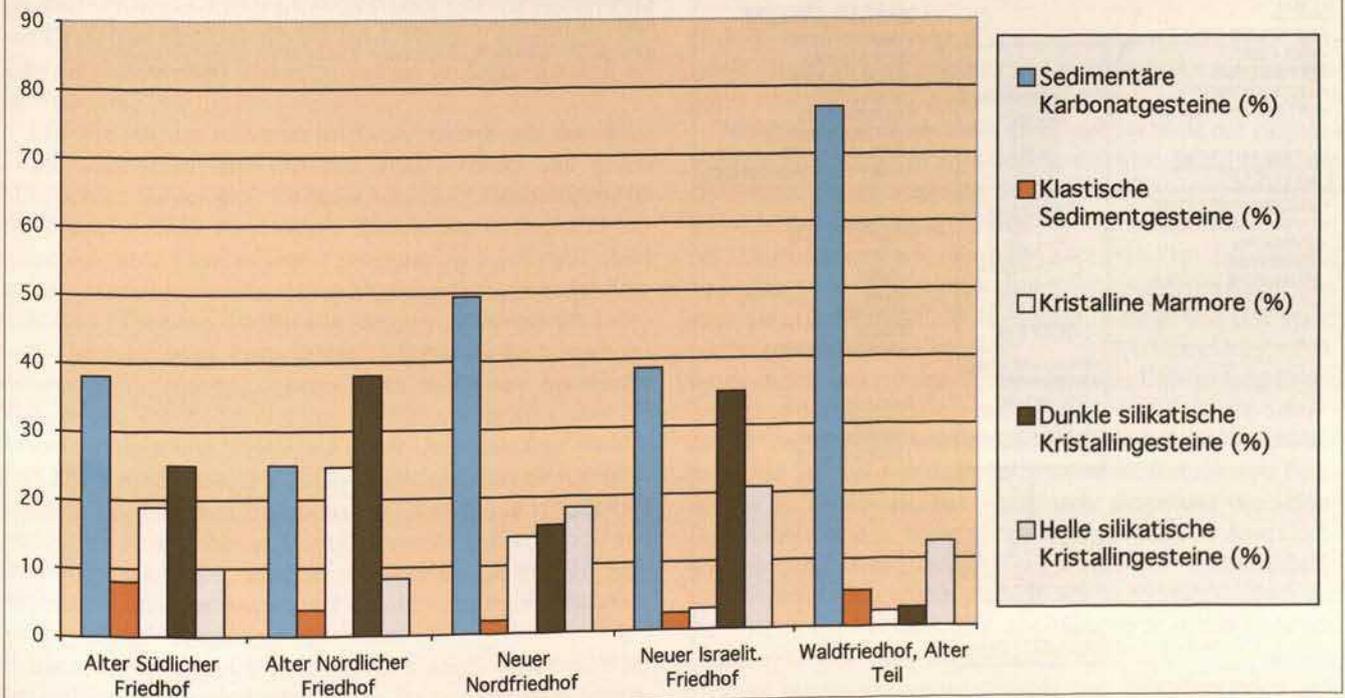


Abb. 8 Prozentualer Anteil der verschiedenen Gesteinsgruppen am Denkmalbestand der Münchner Friedhöfe: Die sedimentären Karbonatgesteine (vor allem Kalksteine) und die klastischen Sedimentgesteine (vor allem Sandsteine) repräsentieren überwiegend die heimischen „Weichgesteine“, wie sie vor der industriellen Revolution dominierten. Dagegen vertreten die kristallinen Marmore sowie die dunklen und hellen kristallinen „Hartgesteine“ überwiegend die exotische Gesteinspalette, die nach der industriellen Revolution Verwendung fand. Weitere Einzelheiten vgl. Text S. 160f.

Generation“ erkannte, wurde 1984 das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Steinzerfall – Steinkonservierung“ beschlossen, sodann 1985/86 durch den Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) eingeleitet und bis in die Mitte der 1990er Jahre mit mehr als 100 Mio. DM unterstützt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die auf den Münchner Friedhöfen begonnenen Kartierungen zur Verwendung und Verwitterung von Denkmalgesteinen von uns auf etwa 200 deutsche Friedhöfe – gleichmäßig über die Bundes-

länder verteilt – ausgeweitet. Die dort durchgeführten überschlüssigen Begehungen wurden auf 27 ausgewählten historischen Friedhöfen ergänzt durch Detailuntersuchungen, um den Bestand an Denkmalgesteinen und deren Verwitterungserscheinungen durch statistische Auszählung an jeweils ca. 1000 Grabmälern genauer zu erfassen.

In zwölf Städten wurden zudem – wie bereits auf den Münchner Friedhöfen erprobt – „Gesteins- und Verwitterungslehrpfade“ ausgewiesen. Hier sollte an jeweils ca. 100 beson-



Abb. 9 Alter Nördlicher Friedhof zu München, Luftbildaufnahme 1984 (phot.: R. Haydn/GAF): Die Darstellung in Falschfarben zeigt den Zustand des Baumbestandes mit gesunden Bäumen in grünen und kranken Bäumen in roten Farben. Im Bereich der Straßen, die den Friedhof umgeben, überwiegen kranke Bäume, wohl geschädigt durch den Ausstoß von Autoabgasen. Dagegen sind im Friedhofsinneren, das von Umwelteinflüssen abgeschirmt ist, nur geringe Beeinträchtigungen zu erkennen. – Adäquat hierzu haben unsere Kartierungen des Grabmalbestandes ergeben, dass die Verwitterungsschäden an der Peripherie des Friedhofs deutlich stärker sind als im Zentrum des Gräberfeldes.

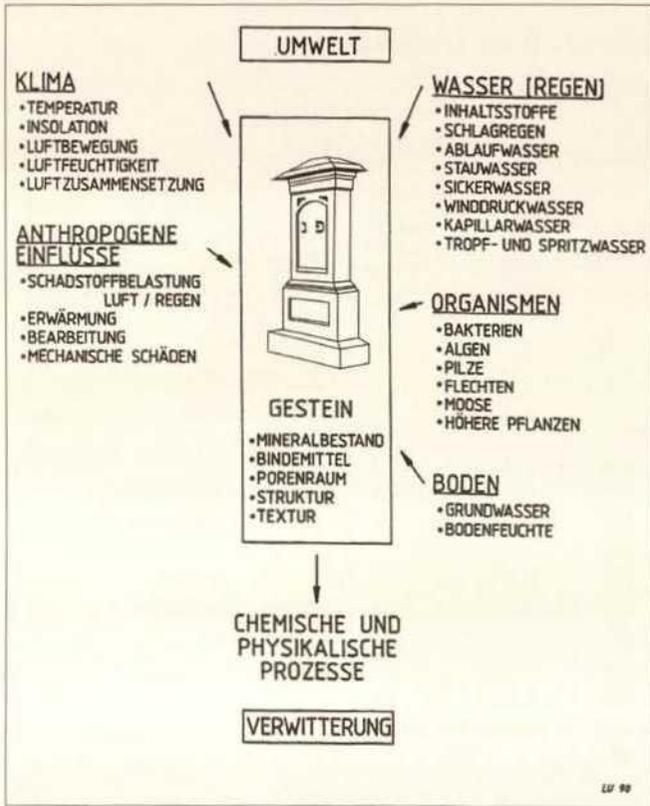


Abb. 10 Schematische Darstellung der verwitterungswirksamen Faktoren: Die vielfältigen physikalischen und chemischen Einflüsse, die auf die verschiedenen, mehr oder weniger resistenten Denkmalgesteine einwirken, führen zu sehr unterschiedlichen, gesteins- und milieuspezifischen Verwitterungsauswirkungen (Zeichnung: Lukas 1990, leicht verändert).

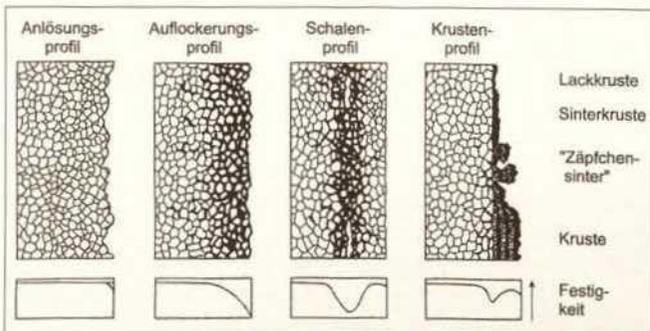


Abb. 11 Durch das Zusammenwirken vielfältiger physikalischer und chemischer, biogen und anthropogen modifizierter Verwitterungsangriffe (vgl. Abb. 10) werden die Gesteine nicht nur an ihrer Oberfläche, sondern auch innerlich verändert und zumeist entfestigt. In schematischer Darstellung zeigt die Abbildung typische Verwitterungsprofile und die dadurch verursachten Festigkeitsunterschiede (vgl. auch Grimm u. Schwarz 1985 sowie Lukas 1990).

ders kennzeichnenden Grabmälern „die ganze Vielfalt der Denkmalgesteine, ihrer handwerklichen und künstlerischen Gestaltung und ihrer Verwitterungserscheinungen beispielartig aufgezeigt werden“.¹⁰ Die Denkmäler wurden zu einem Rundgang gereiht, auf dem wie in einem Freilichtmuseum die verwendeten Gesteine, ihre Verwitterungserscheinungen und die Auswirkungen gelungener oder misslungener Restaurierungen zur Schau gestellt sind.¹¹ Dabei wurden Gesteine aller geologischen Naturwerkstein-Provinzen Deutschlands registriert und Verwitterungsauswirkungen unterschiedlicher Klimaräume und Umweltmilieus erfasst. Um die naturwissenschaftlichen Kennzeichnungen durch sepulkrale Aussagen zu ergänzen, wurden bevorzugt Denkmäler beschrieben, die als Erinnerung an illustre Persönlichkeiten oder durch ihre stilistische Gestaltung bemerkenswert waren.

Zum Gesteinsbestand

Historische Friedhöfe sind Lapidarien, in denen sich über lange Zeiten hinweg Tausende von Grabsteinen angesammelt haben. Die Auswahl der Gesteinsarten für die Grabdenkmäler war jeweils abhängig von der regionalgeologischen Situation, von technischen Entwicklungen und wirtschaftlichen Überlegungen sowie von stilistischen und architektonischen Strömungen und modischen Gesichtspunkten. Durch petrographische Kartierungen und statistische Erhebungen an einer genügend großen Zahl von Grabmälern können der für jeden Friedhof spezifische örtliche Gesteinsbestand und sein Wechsel im Laufe der Zeit erfasst werden.

Die Vielfalt der verwendeten Gesteinsarten aus deutschen Steinbruchrevieren lässt sich dem vom Verfasser und seinen Mitarbeitern vorgelegten *Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland* entnehmen, in dem 200 Gesteine der „alten Bundesländer“ petrographisch gekennzeichnet und in verschiedenen Maßstäben abgebildet sind. Bei der Auswahl dieser Gesteine wurden alle gängigen, altbewährten Steinsorten berücksichtigt. Dazu zählen nicht nur die heute noch gewonnenen Materialien, sondern auch zahlreiche historische Vorkommen, die längst nicht mehr abgebaut werden, aber für Restaurierungen und Steinersatz in der Denkmalpflege wichtig sind. Die Kenntnis dieser Gesteinspalette und ihrer petrographischen und technischen Eigenschaften ist nicht nur erforderlich zur raschen Ansprache der Denkmalgesteine bei den Stadt- und Friedhofskartierungen, sondern auch zur Beurteilung des Verwitterungsverhaltens sowie zur Planung wirksamer Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen.

Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts waren weder die Straßen und Brücken noch die Fahrzeuge für den Transport schwerer Lasten ausgelegt. Dies bedingte, dass auf den Friedhöfen – wie auch bei den städtischen und dörflichen Bauten – vornehmlich Werksteine aus der unmittelbaren Nachbarschaft verwendet wurden. Sie entstammten Steinbrüchen „vor der Haustür“, so dass der Gesteinsbestand die lokale Geologie widerspiegelte. Für Ferntransporte boten sich damals lediglich die Flüsse an. Gleichzeitig ergaben sich Einschränkungen in der Wahl der Werksteine durch die begrenzten technischen Möglichkeiten, die den Abbau und die Bearbeitung harter Gesteinsarten nur in Ausnahmefällen zuließen; als Denkmalgesteine wurden deshalb fast ausschließlich „Weichgesteine“ – vor allem Kalksteine, Sandsteine und Marmore – verwendet, die vom Steinbrucharbeiter einfach zu gewinnen und vom Steinmetz – vor allem im noch bergfeuchten Zustand – leicht zu formen und bildhaue-

Entwicklung und Prognose des sichtbaren Zerfalls von Steinen, die zu unterschiedlichen Zeiten im Ruhrgebiet und in München der Witterung ausgesetzt wurden

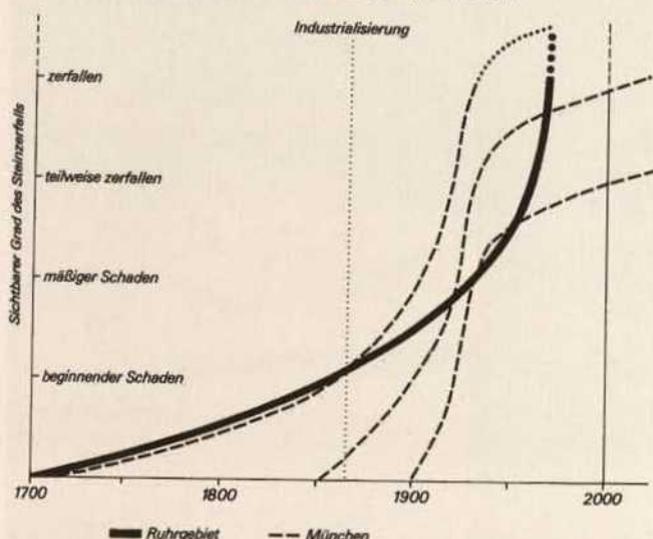


Abb. 12 Schematische Darstellung der Verwitterungsprogression im Ruhrgebiet (nach Winkler 1975, Abb. 72c) und in München (nach Grimm u. Schwarz 1985, Abb. 95): Der um die Mitte des 19. Jahrhunderts beschleunigte Fortschritt der Verwitterungsschäden hat sich durch die im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts eingeleiteten Maßnahmen des Umweltschutzes wieder verlangsamert.

risch zu gestalten waren. Auf den Abbildungen 1 und 2 sind Beispiele für die Verwendung heimischer Materialien auf Friedhöfen in verschiedenen Regionen Deutschlands wiedergegeben.

Mit der „industriellen Revolution“ um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden durch Fernstraßen, Eisenbahnen, Kanäle und Dampfschifftrassen neue Verkehrswege erschlossen, so dass es nunmehr zunehmend zum Import von Gesteinen aus der weiteren Umgebung und schließlich aus aller Welt kam. Gleichzeitig bedingten verbesserte Abbau- und Bearbeitungsverfahren, dass auch die „Hartgesteine“ (z. B. Granite, Basalte und Gneise) in wachsender Menge in das Spektrum der nutzbaren Denkmalgesteine einbezogen wurden. Typisch für diese Entwicklung ist der Siegeszug des basaltartigen Hyperit-Diabases „Schwarz-Schwedisch“, der dem Zeitgeschmack der Gründerjahre – massiv-pompöser Stilpluralismus in der Architektur und „pompe funèbre“ in der Sepulkralkultur – entsprach; ausgehend von seinen Gewinnungsorten in Südschweden überschwemmte dieses tief-schwarze, auf Hochglanz polierte und äußerst widerstandsfähige Gestein in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts die Friedhöfe ganz Europas. Die Abbildungen 3, 4 und 6 zeigen charakteristische Beispiele hierfür.

Trotz der zunehmenden Einfuhr von Fremdgesteinen seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert blieb der heimische Naturstein noch bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts auf den Friedhöfen wie in den Städtebildern dominierend; erst in den letzten Jahrzehnten kam es zur weitgehenden Verdrängung durch exotische Gesteine aus aller Welt: Die Gesteins-Ensembles neuer städtischer und dörflicher Friedhöfe sind – wie auch die „Cities“ der großen Städte – in ihrem Werksteinbestand austauschbar geworden. Die vermehrte Einfuhr ausländischer Gesteine auf Kosten der heimischen Materialien war auch weltwirtschaftlich begründet: Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts sanken die Transportkosten weltweit und stetig; dagegen stiegen in Mitteleuropa die Förderkosten im Steinbruchbetrieb sprunghaft, während sie in Übersee konstant niedrig blieben. Müller kam daher zu dem Schluss, dass „die Schere zwischen den Kosten für För-



Abb. 13 Alter Nördlicher Friedhof zu München, Sektion 10; Grabmal Schorber (errichtet 1883; Kopfrelichs von 1878): Stele aus rotem Plattensandstein (Oberer Buntsandstein); Kopfrelichs aus Carrara-Marmor. Die Verwitterung der Stele führte zu einem typischen „Schalenprofil“ mit einer gut erhaltenen Außenschicht, darunter eine dünne, gänzlich entfestigte Lage, darunter der unverwitterte Gesteinskern (vgl. schematische Darstellung in Abb. 12). Fast zwei Drittel des Schriftfeldes sind bereits als Schale von über 1 cm Dicke ausgebrochen; die restliche Partie scheint oberflächlich intakt, ist aber tatsächlich an einer innerlichen Verwitterungsschicht auch schon zur Abspaltung vorbereitet.

derung und den Transportspesen geradezu zum Import überseeischer Materialien zwingt“.¹² Die Folge war hierzulande ein „Steinbruchsterben“, das sich vor allem seit der Mitte des 20. Jahrhunderts auswirkte: „Von gut 3000 Steinbrüchen von Naturwerkstein im Deutschen Reich vor 1945 bestehen in der heutigen Bundesrepublik nicht einmal mehr 200“ (Stand 1996).¹³ Dieses Steinbruchsterben dauert bis heute an.

Der mit der „industriellen Revolution“ verbundene eklatante Wechsel von heimischen Steinmaterialien zum exotischen Denkmalbestand ist gleichermaßen auf städtischen wie auf ländlichen, auf christlichen wie auf jüdischen Friedhöfen nachweisbar. Von den statistischen Untersuchungen hierzu, die wir auf zahlreichen deutschen Friedhöfen durchgeführt haben, sei hier als Beispiel nur der ländliche jüdische Friedhof von Georgensgmünd (Abb. 4) wiedergegeben. Die Rolle der Binnengewässer, die auch schon in früheren Jahrhunderten einen Transport über weite Entfernungen ermöglichten, ist besonders deutlich im Gesteinsbestand des Petersfriedhofs von Straubing/Donau zu erkennen, wo schon vor 1850 neben den „vor der Haustür“ gebrochenen Graniten des Bayerischen Waldes und den nahe gelegenen Regens-



Abb. 14 Alter Südlicher Friedhof zu München, Sektion 23; Detail des Grabdenkmals Zenetti (Zustand Mai 1992): Die in einer Nische stehende Madonnenstatue aus Carrara-Marmor war bis ins Innerste zermürbt und wurde nur durch eine etwas fester versinterete Außenschale und die partienweise darüber aufgewachsene Schmutz-Gips-Kruste zusammengehalten. Beim Betasten bloßliegender Stellen, z. B. im Bereich des Madonnengesichtes, löste sich zuckerkörniger Kristallgrus; am Boden vor dem Grabmal war ständig Marmor-„Kristallsand“ verstreut. Dem gänzlichen Zerfall des Denkmals konnte inzwischen – trotz des desolaten Zustandes – für einige Zeit Einhalt geboten werden durch oberflächliche Festigung und behutsame Reinigung (vgl. auch Grimm 1999, Abb. 13).

burger „Grünsandsteinen“ auch entferntere Denkmalgesteine über die Flüsse herbeigeschifft wurden: Solnhofener Plattenkalk und Kelheimer „Donaukalk“ über Altmühl und Donau; Rosenheimer „Granitmarmor“ über Inn und Donau; Adneter Roter Juraknollenkalkstein über Salzach, Inn und Donau.¹⁴

Auch auf den Friedhöfen Münchens zeigt sich diese Entwicklung vom heimischen Gestein zum Allerweltsmaterial: Die Epitaphien an den alten Kirchen (z. B. Dom zu Unserer Lieben Frau [Abb. 25], Kirche St. Peter [Abb. 5] und Allerheiligenkirche am Kreuz), die ursprünglich von – inzwischen längst aufgelassenen – Friedhöfen umgeben waren, sowie die älteren, etwa zwischen 1800 und 1860 errichteten Grabsteine des Alten Südlichen Friedhofs (Abb. 6) gehören noch der Epoche vor der „industriellen Revolution“ an. Sie sind dementsprechend nicht nur durch die jeweils zeitgemäßen, meist schlichten Stilelemente gekennzeichnet, sondern auch durch das auf wenige Gesteinsarten beschränkte heimische Material, ergänzt durch Gesteine, die auf Flüssen herans transportiert werden konnten. Dagegen zeigen die jüngeren Denkmäler auf dem Alten Südlichen Friedhof und die Grabstätten des 1868 angelegten Alten Nördlichen Friedhofs wie auch die zu Be-

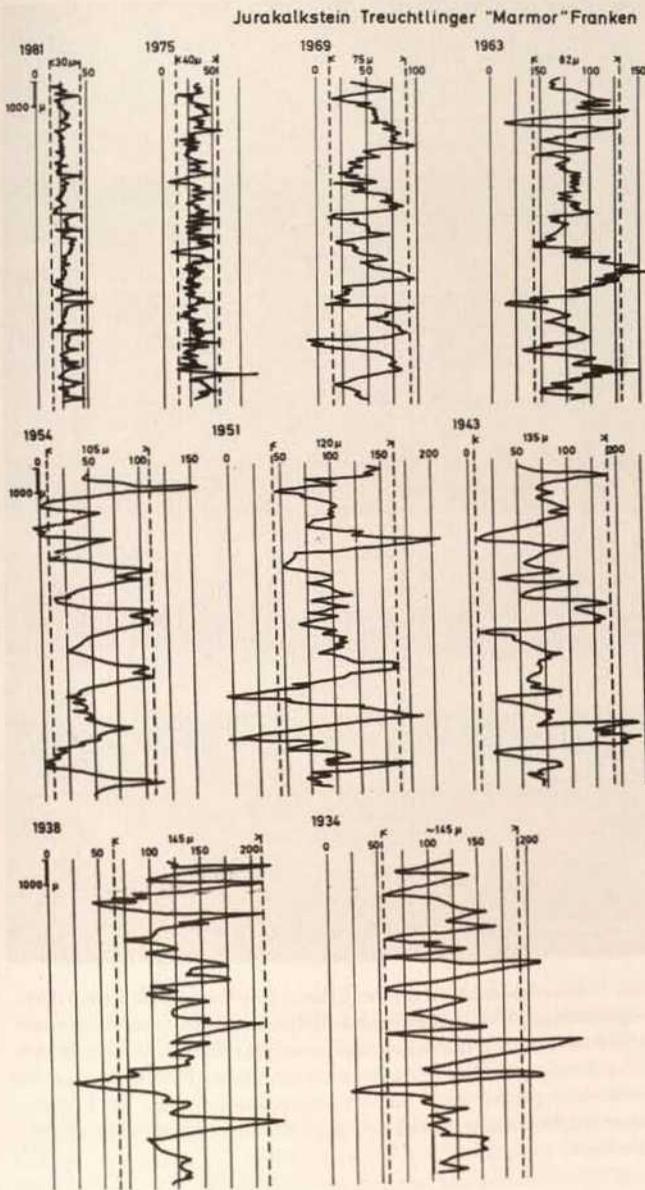


Abb. 15 Neuer Nordfriedhof zu München; Erfassung der verwitterungsbedingten Rauigkeitszunahme an Grabsteinen durch Messung der Tiefe des Mikroreliefs („Mikrokarst“) in μm (vgl. Grimm u. Völkl 1983): Mittels eines Rauigkeitsmessgerätes „Perthometer“ wurden 1983 die Wetterseiten von 62 Grabsteinen aus Treuchtlinger Juralkalkstein vermessen. Die Ausgangsrauigkeit frisch geschliffener Oberflächen betrug $30 \mu\text{m}$. Dargestellt wurde eine Auswahl von 9 Objekten mit einem Alter von 0 bis 50 Jahren (Erstellung der Grabsteine 1934 bis 1983). Der Rauigkeitsfortschritt erwies sich als kontinuierlich und verstärkte sich nach 50 Jahren bis auf etwa $200 \mu\text{m}$, das sind etwa $30 \mu\text{m}$ pro Jahrzehnt. – Gleichartige Messungen an Grabsteinen aus anderen Gesteinsarten ergaben folgende Werte: Granit des Bayerischen Waldes ca. $22,5 \mu\text{m}/\text{Jahrzehnt}$, Bale-Kalkstein ca. $37,5 \mu\text{m}/\text{Jahrzehnt}$, Kristallino-Marmor ca. $47,4 \mu\text{m}/\text{Jahrzehnt}$. – In einem Jahrtausend kann die Verwitterung somit zur Abtragung von mehreren Millimetern Gestein führen.

ginn des 20. Jahrhunderts eröffneten, vom Stadtbaudirektor Hans Grässel gestalteten Grabfelder des neuen Nordfriedhofs, Westfriedhofs und Ostfriedhofs bereits Denkmal-Ensembles, die nicht nur für den Stilpluralismus der Gründerjahre und die nachfolgenden architektonischen Formen der Moderne typisch waren, sondern zugleich auch auf eine breite Gesteinspalette mit Importen aus aller Welt zurückgreifen konnten.

Besondere sepulkral-kulturelle Bedeutung erlangte der von 1905 bis 1907 im Süden Münchens entstandene Waldfriedhof,



Abb. 16 Alter Friedhof zu Bonn; Grabdenkmal Drammer, errichtet um 1900, Zustand 1987: Die durch vier Nägel fixierte Schriftplatte aus Carrara-Marmor ist ein Beispiel für die Durchbiegung von Marmorplatten, wie sie sich vielerorts auf Friedhöfen und an Gebäudefassaden findet. Durch die Entfestigung des Kristallgefüges und die Auflockerung an den Grenzflächen der Calcitkörner bis in den Kern der Platte kam es zu deren Dehnung und Krümmung und nachfolgend zu oberflächlichen Ausbrüchen im Bereich des besonders stark aufgebeulten Zentrums und zu Rissen an den Plattenrändern. Wenige Jahre nach der Aufnahme ist die auch innerlich völlig entfestigte Platte zu Bruch gegangen; auf dem Boden fanden sich nur noch mürbe Marmortrümmer und Kristallsand.

Alter Teil (Abb. 7). Er gilt als Fanal der Friedhofsreformbewegung in Reaktion auf den Prunk der Gründerzeit. Sein Schöpfer, Hans Grässel, strebte mit diesem Friedhof „Schlichtheit in der Ausdrucksform, Bodenständigkeit in der Wahl der Materialien und handwerkliches Können anstatt industrieller Massenproduktion“ an.¹⁵ Dieser Friedhofstyp entsprach zudem der Natürlichkeit jener Zeit: „Wie das Laub von den Bäumen fällt, so sind hier im Schutz der hohen Bäume die vom Lebensbaum geschüttelten Hüllen des Menschenlebens zu einem Schlaf ver-



Abb. 17 Alter Nördlicher Friedhof zu München; Grabdenkmal des Bildhauers Michael von Wagnmüller; gefertigt 1876: Die Skulptur aus Carrara-Marmor erscheint, obwohl seit jeher unter freiem Himmel exponiert, äußerlich in recht gutem Zustand. Dem entsprechen die Ergebnisse der Ultraschallmessungen von Köhler 1993 (Abb. 2 u. 3), die der Verf. in ein 1991 erstelltes Photo übernommen hat (vgl. auch Grimm 1999, Abb. 16). Die in den massigen Teilen des Denkmals gemessenen durchschnittlichen Ultraschallgeschwindigkeiten von 4,8 km/s erweisen, dass das Grabmal in seinem Hauptbestand wohl noch ein Jahrhundert überdauern dürfte, bis es ins Stadium beschleunigten Zerfalls des Marmor-Kristallgefüges geraten wird. Doch im Bereich feingliedrig gearbeiteter Teile wiesen die Ultraschallmessungen nur noch Geschwindigkeiten von weniger als 3,0 km/s auf und lassen somit befürchten, dass die Festigkeit dort bereits stark herabgesetzt ist und dass das Denkmal stellenweise schon erheblich gefährdet und zum Bruch und körnigen Zerfall vorbereitet ist.

sammelt, der nirgendwo besser schlafen lässt, als in der Umarmung der erhabenen und zugleich schützenden Waldnatur.“¹⁶ Durch strenge Auflagen und konsequente Kontrolle hat Grässel persönlich darauf geachtet, dass die wie zufällig in das naturbelassene Waldmilieu eingefügten oder unaufdringlich auf Waldschneisen verstreuten Denkmäler schlicht gestaltet und in heimischen Materialien gefertigt worden sind.

Der um 1816 im Münchner Süden an der Thalkirchner Straße angelegte, später mehrmals erweiterte und vereinzelt bis in unsere Zeit genutzte Alte Israelitische Friedhof enthält – wie der Alte Südliche Friedhof – nebeneinander heimische Steine aus der Zeit vor der „industriellen Revolution“ sowie Fremdgesteine aus der Zeit danach. Dem im Münchner Norden an der Domagstraße errichteten und 1908 eingeweihten Neuen Israelitischen Friedhof verlieh sein Schöpfer Hans Grässel einen ähnlichen Charakter wie dem Waldfriedhof – ein vom Baumbestand bestimmtes Landschaftsmilieu und eine unaufdringliche, konser-



Abb. 18 Cimetière du Montmartre zu Paris: Grufthaus, gefertigt aus dem im Umkreis von Paris anstehenden Kalkstein „Calcaire grossier“. Die geringe Druckfestigkeit dieses porösen Werksteins führte zu Brüchen an den Ecken der Gesteinsblöcke. Ansonsten erwies sich der Kalkstein bei der hier verwendeten guten Qualität als recht verwitterungsresistent: Auch nach einem Jahrhundert der Exposition zeigen sich kaum Korrosionen an der Oberfläche.

vative Formensprache in der Denkmalarchitektur – , so dass Krieg diesen Friedhof kennzeichnen konnte als einen „Waldfriedhof, der auf halbem Weg stehen geblieben ist“.¹⁷ Allerdings entspricht der Neue Israelitische Friedhof nicht der Dominanz heimischer Gesteinsarten, die Grässel streng für den Waldfriedhof forderte; vielmehr wirkt hier noch die Prunkentfaltung der Gründerzeit nach mit einem auffälligen Anteil an hellen und dunklen „Hartgesteinen“, vielleicht als Zurschaustellung der Freiheiten und Reichtümer, die die Juden im 19. Jahrhundert durch Aufklärung und Emanzipation neu erlangt hatten.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse einer statistischen Auszählung der Gesteinsgruppen, die für den Denkmalbestand der Münchner Friedhöfe Verwendung fanden: Auf dem Alten Südlichen und dem Alten Nördlichen Friedhof übertreffen die exotischen dunklen und hellen „Hartgesteine“ sowie kristallinen Marmore deutlich den Bestand an weichen sedimentären Gesteinen (Sandsteinen und Kalksteinen). Das entspricht der Entstehungs-



Abb. 19 Alter Südlicher Friedhof zu München, Neue Arkaden an der Nordmauer des Campo-Santo-Teils; Grabmal Otilie Lindpaintner, gestorben 1892: Das Denkmal mit weiblicher Figur aus weißem Carrara-Marmor vor einem torartigen, von Säulen flankierten Aufbau aus dem dunklen „Hartgestein“ Redwitz ist ein typisches Beispiel für prunkvolle gründerzeitliche Architektur. Im Zweiten Weltkrieg führte eine durch Brandbomben bedingte Feuersbrunst zu Abplatzungen und Schalenbildungen an der Marmorfigur und – viel stärker noch – am dunklen „Hartgestein“. – Die Auswirkungen auf das im Hintergrund sichtbare Grabdenkmal des Architekten Leo von Klenze waren geringer, verursachten aber auch am dortigen Kehlheimer Kalkstein Risse, Schalenbildungen, Abplatzungen von Kanten und Ecken sowie rötliche Verfärbungen.



Abb. 20 Alter Südlicher Friedhof zu München, Sektion 12; Grabmal Jakob Abenthum, gestorben 1903: Säule samt Sockel dieses gründerzeitlichen neoklassizistischen Denkmals sind aus dunklem Hartgestein gefertigt. Sie ruhen auf einem basalen Block aus beigefarbenem Savonnières-Kalkstein aus dem Departement Meuse/Frankreich. Dieser aus winzigen Kalkkugeln (Ooiden) zusammengesetzte, sehr poröse Kalkstein neigt zur Wasseraufnahme und ist deshalb im bodennahen Kapillarwasserbereich stark frostgefährdet. Im Verlauf eines Jahrhunderts führte der vielfach wiederholte Sprengereffekt durch Frost-Tau-Wechsel zur gänzlichen Entfestigung des Kalksteingefüges und schließlich zum Kollaps des basalen Blockes unter der Auflast der Hartsteinblöcke. Aufnahme 1999; der Basisblock ist inzwischen ersetzt worden.

zeit des dortigen Grabsteinbestandes, der überwiegend der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zuzuordnen und damit weitgehend gründerzeitlich geprägt ist. Im Neuen Nordfriedhof, der erst nach der Jahrhundertwende angelegt wurde, macht sich bereits eine Abkehr von der aufwändigen gründerzeitlichen Grabmalarchitektur und – als Reaktion auf deren prunkvolle exotische Gesteinspalette – eine erneute Bevorzugung schlichterer sedimentärer „Weichgesteine“ bemerkbar. Dagegen wirkte auf dem etwa gleichzeitig mit dem Neuen Nordfriedhof eröffneten Neuen Israelitischen Friedhof noch länger die Prunkentfaltung der Gründerzeit mit einem auffälligen Anteil an hellen und dunklen „Hartgesteinen“ nach. – Der Gesteinsbestand auf dem Waldfriedhof zeigt deutlich das von Hans Grässel durch strenge Auflagen erzwungene Übergewicht sedimentärer, zumeist aus bayerischen Steinbrüchen stammender „Weichgesteine“, vor allem Kalksteine: eine bewusste Reaktion auf die in der Gründerzeit bevorzugten exotischen „Hartgesteine“ und aufwändigen Marmore.

Zur Vielfalt der Verwitterungserscheinungen

Verwitterungserscheinungen an Grabdenkmälern stellen Reaktionen des Gesteins auf die Einwirkungen von Klima und Umwelt dar und sind dementsprechend gesteins- und milieuspezifisch (Abb. 10). Zu den naturgegebenen Einwirkungen kamen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts als Folge von Industrialisierung und Bevölkerungszunahme verstärkend noch die anthropogenen Beanspruchungen – z. B. durch den „sauren Regen“ – hinzu, die gleichermaßen, wenn auch in unterschiedlichen Wirksamkeiten, die Steine, die Pflanzen und den Menschen beeinträchtigten. Dies hat sich auf dem Münchner Alten Nördlichen Friedhof bestätigt, wo die von den umgebenden Straßen her wirkenden Umweltbelastungen zu stärkeren Schäden an den Rändern des Friedhofs als in dessen Zentrum führten, wie sowohl am Baumbestand als auch an den Denkmalgesteinen nachweisbar war (Abb. 9).



Abb. 21 Ulm, Denkmal auf dem Alten Friedhof: Der in den Kalkstein eingelassene schmiedeeiserne Kreuzschaft hat beim Rosten eine erhebliche Volumenvermehrung erfahren und dadurch den mächtigen Steinblock gesprengt.



Abb. 22 Alter Südlicher Friedhof zu München: Nach etwa 100-jähriger Exposition war die Madonnenstatue aus Carrara-Marmor innerlich in ihrem Kristallgefüge bis in den Kern entfestigt. Da sie aber außen von einer hauchdünnen calcitischen Sinterkruste schützend umgeben war, täuschte sie vor der Restaurierung einen insgesamt guten Erhaltungszustand vor. Dies wurde bei der Reinigung mittels Trockenstrahlverfahren nicht berücksichtigt, so dass trotz des vorsichtig auf das Objekt abgestimmten Strahlguttes die schützende Haut bis auf den entfestigten Untergrund verletzt wurde. Die dann rasch folgende Verunstaltung durch „Wegreinigung“ des nunmehr bloßliegenden lockeren Calcitkristall-Aggregates ist deutlich ersichtlich am Kopf und an den Händen von Madonna und Kind.

Bezüglich der Denkmalgesteine kam Winkler¹⁸ aufgrund seiner Untersuchungen im Ruhrgebiet zu der Feststellung, dass sich durch die zusätzlichen anthropogenen Belastungen seit der Industrialisierung der Fortschritt der Verwitterung bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts rapide und progressiv beschleunigt habe (Abb. 12).

Die katastrophalen Auswirkungen des Baumsterbens und des Denkmalzerfalls führten seit den 1960er Jahren zu durchgreifenden Umweltschutzmaßnahmen in der BRD und den benachbarten Ländern. Dadurch kam es in den letzten Jahrzehnten – vor allem für die SO_2 - und Staubemissionen – zu erheblich rückläufigen Schadstoffbelastungen der Luft, deren Minderung bis heute andauert. So haben unsere Untersuchungen¹⁹ – ergänzend und modifizierend zu den oben dargestellten Befunden Winklers – ergeben, dass mit der Rückläufigkeit der Umweltbelastungen auch wieder ein verzögerter Verwitterungsfortschritt einherging (Abb. 12). Dass der Höhepunkt der anthropogenen Belastungen in München um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert lag und dass die Beeinträchtigungen gegen Ende des 20. Jahrhunderts wieder wesentlich vermindert waren, zeigt folgender Vergleich alter und neuer Daten zur SO_2 - und Nitrat-Belastung in München:²⁰ Sendtner hat in den 1880er Jahren an Schneeproben vom Alten Südlichen Friedhof einen Sulfatgehalt von 30 mg/kg Schnee ermittelt.²¹ Wir haben

diese Analysen am gleichen Ort ein Jahrhundert später – im März 1983 – an drei Proben wiederholt: Der Sulfatgehalt hatte sich auf nunmehr nur noch 0 bis 3 mg/l verringert; auch die gleichzeitig gemessenen Nitratwerte waren mit 0 bis 0,9 mg/l sehr niedrig.

Dass trotz der rückläufigen anthropogenen Umweltbelastungen manche unserer alten Bauten und Denkmäler nach wie vor in erschreckendem Maß zerfallen, ist bei der trägen Reaktion der Gesteine auf die Angriffe der Verwitterung nicht verwunderlich: Wir büßen zurzeit weniger die eigenen Umweltsünden, als vielmehr die der Väter und Großväter. Auf den historischen Friedhöfen kann heute beobachtet werden, dass viele der Grabmäler, die vor mehr als hundert Jahren aus verwitterungssensiblen Gesteinen gefertigt wurden, derzeit in so desolaten Zustand geraten sind, dass sie nur noch durch hohen restauratorischen Aufwand gerettet werden könn(t)en.

Laboruntersuchungen zum Verwitterungsverhalten der Gesteine berücksichtigen im allgemeinen nur einzelne Verwitterungsfaktoren oder nur einzelne Gesteinsarten, nicht aber die vielfältig kombinierten Einflüsse auf die verschiedensten Gesteinsarten, wie sie in der Natur gegeben sind. Zudem müssen im Labortest der Faktor Zeit gerafft und die Versuchsanordnungen vereinfacht werden. Dagegen stellen die Friedhöfe „Freiland-Laboratorien“ dar, in denen die komplexen und langfristi-

Abb. 23 Wien, 9. Bezirk, Jüdischer Friedhof in der Seegasse; Auf diesem ältesten erhaltenen Friedhof Wiens fanden bis 1783 Begräbnisse statt. Nach Schändungen im Dritten Reich und zwischenzeitlicher Verlagerung der Grabsteine auf den Wiener Zentralfriedhof wurde der Jüdische Friedhof 1984 wieder eingeweiht, nachdem 280 der zuvor 931 Denkmäler wieder aufgestellt worden waren. Ursprünglich bestanden die Grabsteine überwiegend aus rotem Juraknollenkalk mit glatt geschliffenen Oberflächen; doch führte die über Jahrhunderte dauernde Verwitterung zur Bleichung der Farben durch Lösung der eisenoxidischen Pigmente, weiterhin zur Herauspräparierung der Knollenstrukturen und – bedingt durch die Calcitlösung – zur Überprägung der Denkmal-Oberflächen durch ein Kleinrelief („Mikrokarst“).



Abb. 24 Alter Südlicher Friedhof zu München, Sektion 14; Grabmal Nikolaus Scherer, errichtet ca. 1850; Zustand 1981 vor der Restaurierung: Das aus Molassesandstein gefertigte Denkmal zeigt „Rahmenverwitterung“ mit guter Erhaltung der Grabmalkanten und tiefgründiger Herauswitterung der Flächenzentren in Aushöhlungen und Abschalungen bis zur Durchbrechung des dicken Steinblockes in einem faustgroßen Loch. Vor der Festigung des Grabmals durch Kieselsäureester, sodann Acrylharz-Volltränkung (ca. 1984) wurde das Loch wieder durch Steinersatzmasse verfüllt (Foto: K. Poschlod 1981; vgl. Poschlod u. Grimm 1984).



Abb. 25 Dom zu Unserer Lieben Frau (Frauenkirche) in München; Epitaph der Maria Anna Helena von Hirschberg, gestorben 1766 (Detail): Das Epitaph wurde aus ursprünglich durchgängig rotem Juraknollenkalkstein, wohl aus dem Steinbruchrevier von Adnet südlich von Salzburg, gefertigt. Aufgrund seiner heterogenen Zusammensetzung aus harten Kalkknollen in weichem mergeligen Bindemittel ist das Gestein sehr verwitterungsanfällig und weist entsprechend starke Schäden auf: Die Kalkknollen sind herauspräpariert und oberflächlich durch Entzug der Eisenoxid-Pigmente gebleicht worden; dagegen ist das umgebende mergelige Bindemittel tiefgründig ausgewittert, so dass das ständig frisch bloßgelegte Material die ursprüngliche rote Farbe zeigt. Das Epitaph wurde 1983 durch Acrylharz-Volltränkung nachhaltig gefestigt und hat seither kaum weitere Verwitterungsschäden erfahren (vgl. Messerschmitt Stiftung 1986).



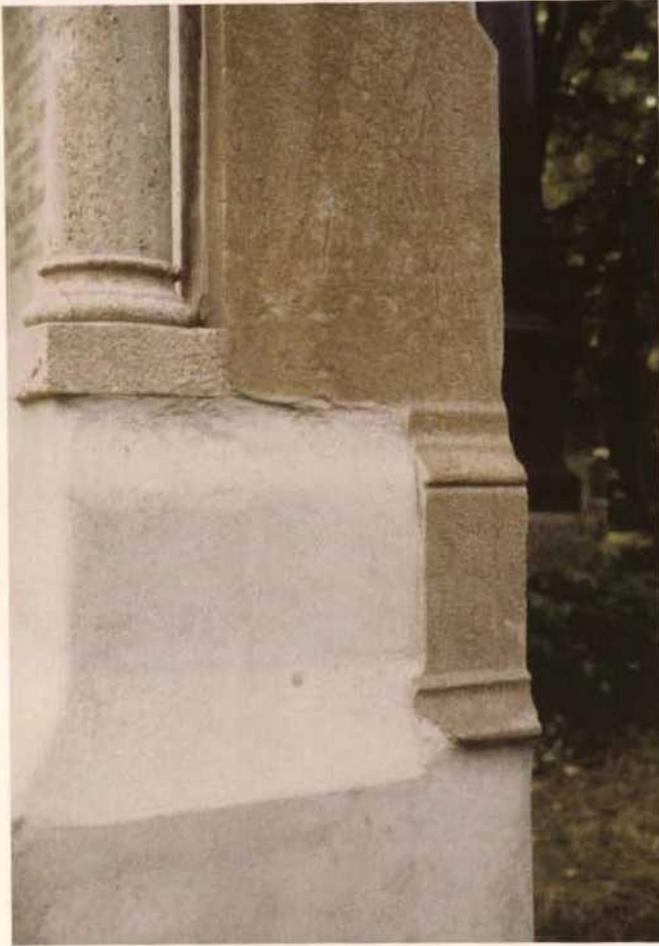


Abb. 26 Alter Südlicher Friedhof zu München: Das um 1862 errichtete Familiengrab der Tier- und Schlachtenmaler Albrecht Adam und seiner drei Söhne wurde aus schweizerischem Molassesandstein gefertigt. Durch Verwitterung wurden die limonitischen Eisenpigmente, die das Gestein zartbräunlich färbten, in einer zentimeterdicken Rinde gelöst und nach außen abgeführt und sodann konzentriert wieder an der Denkmaloberfläche ausgefällt. Dadurch erhielt das ursprünglich hellockerfarbene Gestein eine grauweiße Verwitterungsschicht und darüber eine rostbraune Patina. Durch unsachgemäße Reinigung wurde die Oberfläche teilweise abgetragen, so dass nun neben der erhaltenen dunkleren Gesteinshaut partienweise der hell gebleichte Untergrund bloßgelegt worden ist.



Abb. 27 Kirche des Alten Friedhofs zu Miltenberg/Unterfranken, barockzeitliches Epitaph: Der ehemals schwarze, gelb geaderte Portoro-Oro-Kalkstein aus Portovenere bei La Spezia/Italien ist oberflächlich durch Verwitterung hell gebleicht und nur noch durch die gelben Calcitadern zu diagnostizieren.

gen Verwitterungsvorgänge unter natürlichen Bedingungen ablaufen. Hier können die Experimente, welche die Natur selbst Jahrzehnte oder Jahrhunderte lang an einer breiten Palette von Werksteinen und unter den unterschiedlichsten Milieubedingungen vollzog, nachträglich am Objekt registriert und beurteilt werden. Dabei erweist sich, dass die Auswirkungen der Verwitterung an der Gesteinsoberfläche wie auch subkutan äußerst unterschiedlich sind infolge des sehr vielfältigen physikalischen und chemischen, zudem biogen und anthropogen modifizierten Verwitterungsangriffs und infolge der sehr variablen Resistenz der verschiedenen Gesteine. Dies führt, wenn man den Gesteinsblock von außen nach innen betrachtet, zu gesteinspezifischen Verwitterungsprofilen mit jeweils unterschiedlichen Entfestigungen (Abb. 11). Außer den damit verbundenen einfach zu erklärenden Schadensbildern, wie Mikrokarst (Abb. 23), Schalenbildung (Abb. 13) oder Verkrustungen (Abb. 14), können durch komplexere Einwirkungen auch kompliziertere Verwitterungsformen entstehen, wie Ausbrüche im Kapillarwassersaum (Abb. 20) oder auf die Flächenzentren beschränkte Rückwitterungen („Rahmenverwitterung“, Abb. 24) oder löcherige Oberflächen mit kleinen, biogen bedingten Gruben („Pitting“) oder

mit größeren, in Mustern angeordneten Aushöhlungen („Alveolarverwitterung“). Einen umfassenden Katalog solcher Schadensformen legten Fitzner und Kownatzki 1990 vor.²²

Der Verwitterungsangriff auf die Denkmalgesteine erfolgt durch physikalische und chemische Einwirkungen und kann biogen verstärkt oder modifiziert werden. Eine maßgebliche Rolle spielt dabei das Wasser, das als Flüssigkeit, Eis oder Dampf physikalisch und chemisch auf das Gestein einwirkt und mehr oder minder rasch zu dessen Entfestigung beiträgt oder Substanzverluste durch Lösungsvorgänge und Festigungsprozesse durch Ausfällungsvorgänge bedingt. Hinzu kommen Spannungen im Gestein durch örtlich und zeitlich wirksame Temperatur- und Druckunterschiede.

Der oberflächliche Verlust von Steinsubstanz (Rückwitterung), verursacht durch Abtrag mechanisch gelockerten Materials oder chemisch gelöster Materie, bedingt eine zunehmende Rauigkeit, die von der Festigkeit und chemischen Resistenz des Materials abhängig ist. Aber nicht nur durch Materialverlust, sondern auch durch Anlagerung zusätzlicher Materie kann die Rauigkeit verstärkt werden, z. B. durch Schmutz und Krusten, die an den Außenflächen der Gesteine aufwachsen. Grimm und

Völkl haben gezeigt, dass die Rauigkeit und deren Fortschritte durch Messgeräte mit Genauigkeiten von Tausendstel-Millimetern (μm) erfasst werden können; durch Rauigkeitsmessungen an Gesteinsoberflächen gleichen Materials, aber verschiedenen Alters kann die Geschwindigkeit der Rückwitterung bestimmt werden (Abb. 15).²³

Auch im Inneren der Gesteine können die Verwitterungsvorgänge zu Gefügezerrüttungen und Lösungsvorgängen führen. Je nach der Permeabilität (Durchlässigkeit) der Gesteine und der Art des Verwitterungsangriffs wirken sich diese zerstörenden Vorgänge nur dicht unter der Oberfläche (subkutan) aus oder bedingen eine tiefgründige Entfestigung, die bis in den Kern der Denkmäler reichen kann. Ein Beispiel für subkutane Effekte sind schmale Auflockerungssäume und Schalenbildungen (Abb. 13). Ein Beispiel für tiefgründige Wirksamkeit ist die Auflockerung der Kristallstruktur von Marmorobjekten bis in deren Kern (Abb. 14, 22), bedingt durch die Öffnung der Porenräume an den Grenzflächen der Calcitkristalle;²⁴ die dadurch erhöhte Porosität bewirkt eine Dehnung des gesamten Gesteinsvolumens, die schließlich zu den spektakulären Erscheinungen der Krümmung von Marmorplatten und deren „zuckerartigem Zerfall“ zu Kristallsand führen kann (Abb. 16). Der Grad der Entfestigung des Kristallgefüges im Inneren des Denkmals kann zerstörungsfrei durch Messung der Ultraschallgeschwindigkeit des Objektes ermittelt werden (Abb. 17).

Zur *physikalischen Verwitterung* tragen vor allem folgende Vorgänge bei:²⁵

- Bruch infolge statischer Belastungen (Abb. 18) oder dynamischer Beanspruchungen sowie Abnutzung durch Abrieb oder

Bestoßen. Hierzu zählen auch die durch Setzungen und Senkungen bedingten Risse und Brüche an den Denkmälern sowie die Schäden durch Kriegseinwirkungen, weiterhin die durch Vandalismus verursachten Zerstörungen, die gleichermaßen christliche wie jüdische Friedhöfe beeinträchtigen.

Auch die Stoß- und Schlagbeanspruchungen durch den Abbau der Werksteine im Steinbruch und durch die Bearbeitung seitens des Steinmetzen und Bildhauers können zu Entfestigungen oder Verdichtungen im Gesteinsgefüge führen, die zunächst versteckt sind, aber im Laufe der Verwitterung als spezielle Schadensbilder sichtbar werden.

- Wechselnde, oft periodisch variierende Feuchtebedingungen von trockenem bis wassergesättigtem Zustand führen sowohl bei karbonatischen Gesteinen (z. B. Kalksteine, Dolomite, Marmore) wie auch bei silikatischen Gesteinen (z. B. Granite, Basalte) zu hygrischer Dilatation und Kontraktion. Die dadurch bedingten spezifischen Schwell- und Schrumpfvorgänge der Mineralien im Gesteinsverband können sich zu Längenänderungen in beträchtlichem Ausmaß summieren und im Laufe der Zeit zur Zerrüttung des Gefüges führen.

- Ähnliche Effekte ergeben sich durch thermische Dehnung und Schrumpfung infolge periodischer täglicher Temperaturschwankungen oder infolge episodischer Sonnenbestrahlung (Insolation) und katastrophaler Brandeinwirkungen (Abb. 19). Diese Temperaturverwitterung beruht nicht nur auf den unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen gesteinsbildenden Mineralien, sondern auch darauf, dass gleiche Mineralien sich in verschiedenen Richtungen unterschiedlich dehnen können. Dies wird vor allem bei den Cal-

Abb. 28 Alter Südlicher Friedhof zu München, Sektion 12: Die beiden in Nachbarschaft eines Baumes errichteten Denkmäler sind durch den Druck der Wurzeln in verschiedene Richtungen gekippt und in ihrer Standfestigkeit beeinträchtigt worden.



citkristallen der Marmore wirksam und dürfte ein wesentlicher Grund für den tiefgründigen „zuckerkörnigen Zerfall“ dieses Gesteins sein (s. oben). Aber auch die auf den alten Münchner Friedhöfen häufig zu beobachtende Auflockerung des Rosenheimer „Granitmarmors“, der aus Kalkpartikeln zerfallener Blaualgen zusammengesetzt ist, dürfte vorwiegend durch hygisch und thermisch bedingte Spannungen im Korngefüge begründet sein.

Neuerdings wird der Sprengeneffekt durch Erhitzen auch bewusst zur Bearbeitung von Grabdenkmälern – vor allem aus kristallinen Hartgesteinen – eingesetzt, um durch „Beflammen“ mittels Brennstrahlgeräten der Oberfläche ein unregelmäßig-muscheliges Relief zu verleihen.

- Die oben erläuterte Auflockerung des Korngefüges, verbunden mit Porositätszunahme und dadurch mit Volumenvermehrung des gesamten Denkmals, kann zu Deformationen (gleichmäßige Wölbung oder unregelmäßige Krümmung) von Platten aus Marmoren, selten auch aus anderen Werksteinen, führen, wenn diese in den Ecken durch Nägel fixiert oder fest in einen Rahmen eingefügt sind (s. oben: S. 165 und Abb. 16).

- Durch oftmalig wiederholte Schrumpfung und Quellung von Tonmineralien oder anderen glimmerartigen Mineralien, wie z. B. Muskovit, Biotit oder Glaukonit, kann es im Laufe der Zeit zu Gesteinszerrüttungen kommen.

- Frostsprengung erfolgt durch die Volumenvermehrung von etwa 10 %, die Wasser beim Übergang in Eis erfährt. Wenn also die Gesteinsporen insgesamt oder örtlich zu mindestens 9/10 mit Wasser gesättigt sind, füllt das Eis beim Gefrieren die Poren ganz aus und drückt sodann gegen die Porenwände bis zum Aufbrechen des Korngerüsts. Bei Grabmälern kann vor allem der Kapillarwasserbereich am Fuß des Denkmals einen hohen Wassersättigungsgrad aufweisen, so dass sich hier besonders häufig die Auswirkungen der Frostsprengung beobachten lassen (Abb. 20).

- Rostsprengung wird bedingt durch die Volumenvermehrung bei der Umwandlung von metallischem Eisen in hydroxidische Eisenverbindungen: Die Zerreißen von Naturwerksteinplatten und -blöcken durch rostende Eisenhalterungen, -zapfen und -dübel ist eine bei zahlreichen Grabdenkmälern zu beobachtende Verwitterungserscheinung (Abb. 21).

- Salzsprengung wird durch neu gesprossene oder umgebildete Salze im Gesteinsporenraum provoziert. Bei der Neuspaltung von Salzkristallen wirkt sich der Kristallisationsdruck aus, bei der Umwandlung der Salze von einer niedrigeren in eine höhere Hydratationsstufe führt die Volumenvermehrung zu einem Hydratationsdruck. Wichtige Faktoren, die den Ablauf der Salzsprengung beeinflussen, sind die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse, der Grad der Übersättigung der Salzlösungen, die Frequenz der Kristallisationsvorgänge und die Festigkeit und Porengeometrie (Porenradialverteilung) des Gesteinsgefüges. Bei den Grabdenkmälern können die Effekte der Salzsprengung vor allem im Saum des Kapillarwasserbereiches am Fuß der Denkmäler beobachtet werden, da die Verdunstungseffekte des vom Boden aufsteigenden Wassers dort bevorzugt zur Auskristallisation von Salzen führen.

Da Rostsprengung und Salzsprengung chemische Umwandlungen voraussetzen, stellen sie Übergänge von der physikalischen zur chemischen Verwitterung dar.

Die gesteinszerstörenden Angriffe der *chemischen Verwitterung* sind in der Regel eine Folge von thermodynamischen Ungleichgewichten zwischen Wasser und Gestein:²⁶ Übersättigung des Wassers führt zu Lösungserscheinungen an den Mineralien,

Übersättigung zu Ausfällungsvorgängen und Mineralneubildungen. Komplizierend kommen chemische Verdrängungen und Umsetzungen im Mineralbestand hinzu. All diese Vorgänge, die auch kombiniert auftreten können, sind einerseits von der Art und Aggressivität des Wassers (samt gelösten Säuren, Salzen und Gasen), andererseits von der chemischen Resistenz der Mineralien im Gestein abhängig. Als Aggressor im Wasser wirkt besonders die weitgehend natürlich gegebene Kohlensäure H_2CO_3 ; hinzu kommen bei anthropogener Belastung vor allem die Schwefelsäure H_2SO_4 , daneben die schwefelige Säure H_2SO_3 , weiterhin die Salpetersäure HNO_3 , die aus vorwiegend anthropogenem zugeführtem NO_x entstanden ist.

- Wässer, die durch CO_2 -Gehalt aggressiv sind, führen vor allem bei Karbonatgesteinen (Kalksteine, Dolomite, Marmore) zu Lösungserscheinungen an den Gesteinsoberflächen (Mikrokarst; Abb. 23). Mit der Lösung der Karbonate als Bikarbonate kann eine nachfolgende Wiederausfällung von Calcit in benachbarten Porenräumen oder in einer oberflächlichen Sinterkruste verbunden sein (Abb. 22). Diese durch das sensible Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht provozierten Lösungs- und Ausfällungsvorgänge bedingen, dass eine Verwendung polierter Kalkstein- und Marmor-Objekte unter freiem Himmel vermieden werden sollte, da die Politur bei Zutritt von Wasser schon nach kurzer Zeit durch Abtragung oder Antragung aufgeraut wird und das Gestein dadurch an Glanz und Farbe verliert.

Besonders gefährdet durch Lösungsvorgänge sind Sandsteine, deren Kornbestand aus stabilem Quarz und schwerlöslichen Silikaten zusammengesetzt ist, während das Bindemittel aus leichter löslichem Karbonat – insbesondere Calcit – besteht. Der Lösungsangriff konzentriert sich dann auf den calcitischen Anteil und führt umso rascher zur Entfestigung des Gefüges. Auf den Münchener Friedhöfen sind hiervon vor allem die karbonatisch gebundenen Molassesandsteine und Regensburger Grünsandsteine betroffen, die entsprechend starke Verwitterungsschäden aufweisen (Abb. 24) und besondere „Sorgenkinder“ der Denkmalpflege sind.

- Die Lösungs- und Umwandlungsvorgänge an silikatischen Hartgesteinen verlaufen in der Regel wesentlich langsamer als die an Karbonatgesteinen. Manche Werksteine, die aus che-

Abb. 29 Georgensgmünd/Mittelfranken, Jüdischer Friedhof: Die um 1890 errichteten Grabsteine wurden aus fränkischen Denkmalgesteinen der weiteren Umgebung gefertigt: olivgrauem Schilfsandstein, rotem Buntsandstein und gelbem Eisensandstein. Lediglich die Denkmäler aus dem tonhaltigen Schilfsandstein zeigen einen charakteristischen Bewuchs durch Krustenflechten, angeordnet zu bunten Mosaiken. Diese spezifische Besiedlung in Abhängigkeit vom Substrat kann zur Unterscheidung der verschiedenen Sandsteinarten beitragen.



misch stabilen silikatischen Mineralien zusammengesetzt sind, zeigen auch nach Jahrhunderten noch kaum eine Veränderung ihrer Substanz; zu diesen „unkaputtbaren“ Materialien gehört auch der oben erwähnte Hyperit-Diabas „Schwarz-Schwedisch“, das Leitgestein der Sepulkralkultur der Gründerjahre (s. S. 157). Andere Silikatgesteine – wie z. B. manche Granit-Varietäten – können schon nach wenigen Jahrzehnten deutliche Verwitterungserscheinungen aufweisen und entsprechen damit keineswegs der üblichen Vorstellung besonderer Härte dieses Materials.²⁷ Ursache ist zumeist eine Umwandlung chemisch anfälliger Silikatminerale in Tonminerale, wie Kaolinit, Montmorillonit und Illit. Diese Neubildungen setzen die Festigkeit der Kornbindung herab und lockern den Gesteinsverband zusätzlich durch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge, was zu oberflächlichen Entfestigungen und nachfolgender Korrosion führen kann oder zur Schalenbildung beiträgt.

- Lösungsvorgänge und chemische Umwandlungen in der Gesteinsrinde sowie Wiederausfällung des Gelösten an den Denkmaloberflächen können auch zu Abreicherungen, Anreicherungen und chemischen Veränderungen der Pigmente und damit zur Verfälschung der Gesteinsfarben führen. Vor allem die rot, braun oder grün färbenden Eisenverbindungen, die schwärzlichen Manganverbindungen und die grau bis schwarz färbenden organischen Verbindungen sind davon betroffen. Diese Effekte der Farbumwandlung mindern zwar kaum die Festigkeit der Gesteine, können aber deren äußerliche Erscheinung erheblich beeinträchtigen.

Die Lösung und Abfuhr des Eisenoxids kann zur Bleichung eines ursprünglich roten Steins in einer rosafarbenen bis weißen Rinde führen, wie in München z. B. häufig an Epitaphien oder Grabdenkmälern aus ehemals rotem Juraknollenkalkstein beobachtet werden kann (Abb. 25). Oft aber werden die Eisenpigmente, die der Gesteinsrinde entzogen wurden, nicht völlig abgeführt, sondern verbleiben angereichert auf der Werksteinoberfläche, dort abgeschieden als brauner limonitischer, häufig lackartiger Überzug (Abb. 26).

Besonders instabil sind die organischen Verbindungen, die die grauen und schwarzen Farben vieler Sedimentgesteine – insbesondere Karbonatgesteine – bedingen. Sie verändern sich nicht nur unter der Einwirkung aggressiver Wässer, sondern auch unter Licht- und UV-Strahlung zu einem helleren Grau und schließlich zu Weiß (Abb. 27).

Durch derartigen Pigmententzug können ehemals farbprächtige oder dunkle Gesteinsoberflächen schon nach wenigen Jahren bis Jahrzehnten erhebliche Farbänderungen und -verluste aufweisen. Beim Steinersatz, bei dem oftmals verwitterte Gesteine mit frischen Materialien gleichen Aussehens kombiniert werden, ist darauf zu achten, dass die Farben nicht nur im Zeitpunkt der Restaurierung übereinstimmen, sondern sich auch während des Verwitterungsangriffs in den nachfolgenden Jahrzehnten gleichartig verändern. Dass dies eine besonders schwierige Aufgabe für den Restaurator darstellt, zeigen zahlreiche Beispiele mangelhaften Steinersatzes.

- Die Verdunstung des Wassers im Gestein kann zur Übersättigung an gelösten Komponenten und dadurch zu Ausfällungsvorgängen und Mineralneubildungen im Gesteinsinneren oder an dessen Oberfläche führen. Auf die Effekte der Salzsprengung durch wiederholte Neuspaltung oder Umbildung leicht löslicher Salze wurde bereits oben bei den Erläuterungen zur physikalischen Verwitterung eingegangen. Der schwerer lösliche Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$), der aus der Reaktion von Calcit mit schwefelsauren Wässern entsteht, verhält sich im Gesteinsverband stabiler und stationärer und somit weniger zerstörend als die leicht löslichen Salze. Er ist häufig in der Verwitterungsrinde der Ge-



Abb. 30 Cimetière Saint-Vincent in Paris, Grabkreuz aus Carrara-Marmor: Unter Zierhaken aus Bronze haben biozide Kupferlösungen – erkennbar an der blaugrünen Farbe – zu organismenfreien, deshalb weiß gebliebenen Zonen geführt, während das Gestein daneben durch das Melanin der abgestorbenen Organismen einen schwärzlichen Überzug erhielt. In den weißen, organismenfreien Zonen ist die Gesteinsoberfläche wesentlich glatter als daneben in den dunklen, besiedelten Zonen, wo der biogene Angriff eine deutlich stärkere Korrosion der Marmoroberfläche provozierte.

steine zu finden und oftmals ein wesentlicher Bestandteil der an wettergeschützten Denkmalpartien angelagerten Krusten und Sinterzäpfchen (Abb. 14).

Salzsprengung dürfte auch wesentlich zur Schalenbildung an Denkmalgesteinen (vgl. Abb. 11 und 13) beitragen: Bei jedem Regenereignis werden Wasserfronten mit gelösten Salzen bis in eine bestimmte, von der jeweiligen Porosität abhängige Tiefe ins Gesteinsinnere gesogen. Trocknet diese Wasserfront, so blühen am inneren Saum die Salze aus und führen bevorzugt dort zur Aufsprengung des Gesteinsgefüges durch Kristallisationsdruck.

Biogene Verwitterung erfolgt durch den Einfluss von Tieren sowie von höheren und niederen Pflanzen und von Bakterien, wenn diese die physikalischen und anorganisch-chemischen Vorgänge der Verwitterung differenzieren oder verstärken. Die Beiträge der Tiere und der pflanzlichen Makroorganismen zur Verwitterung sind insgesamt nur gering, wenn auch manchmal spektakulär, wie zum Beispiel beim Heben und Kippen schwerer Grabsteine durch Wurzeldruck (Abb. 28) oder bei der Verschiebung und Sprengung von Gesteinsblöcken durch Efeu und andere Schlinggewächse.

Weniger auffällig, aber umso effektiver sind die Einwirkungen der niederen Pflanzen – wie Moose, Pilze, Flechten und Algen – sowie der Bakterien. Sie suchen sich häufig eine Unterlage (Substrat), die ihrem speziellen Bedarf an Nährstoff und Lebensraum entspricht; daher kann eine spezifische Besiedlung gelegentlich kennzeichnend sein für ein bestimmtes Gestein, wie am Beispiel des Jüdischen Friedhofs von Georgensgmünd erläutert wurde (Abb. 29).²⁸ Die niederen Pflanzen und Mikroorganismen besiedeln nicht nur die Gesteinsoberflächen, sondern wuchern auch in den Porenräumen, vor allem in den oberflächennahen Zonen, mitunter aber auch bis in Tiefen von mehr als 20 cm. Da im Kapillarwassersaum und an den nach Westen gerichteten Wetterseiten der Grabsteine mehr Wasser verfügbar ist, sind die niederen Pflanzen dort häufig angereichert.

An den Krusten, die dem Gestein angelagert sind, haben in der Regel abgestorbene pflanzliche Substanzen erheblichen Anteil, gemischt oder in rhythmischem Wechsel mit neu gesprossenen Gipskristallen und mit aus der Umgebung angewehtem Staub und Ruß. Auch die Schwärzung solcher Krusten kann mikrobiellen Ursprung haben und auf Chlorophylle oder auf Melanin-produzierende schwarze Pilzrasen zurückzuführen sein.

Lange Zeit war umstritten, ob der chemische Angriff der niederen Pflanzen und Mikroorganismen auf das Gestein wesentlich zu dessen Schädigung beiträgt. Erst seit etwa zwei Jahrzehnten haben Geomikrobiologen eindeutige Nachweise erbracht, dass die Stoffwechselaktivitäten der Mikroorganismen zu erheblichen Gesteinszerstörungen führen können. Zu dieser Erkenntnis hat der Verfasser folgende Beobachtung beigetragen, die sich auch auf den Münchener Friedhöfen vielerorts bestätigte: Auf zahlreichen Grabsteinen finden sich unterhalb von Kupfertafeln oder Bronzezierat Zonen, die von Kupferlösungen benetzt wurden und dadurch biozid wirken; dort sind die Gesteinsoberflächen unverschmutzt, weil ohne organischen Aufwuchs geblieben, während unmittelbar daneben – außerhalb des bioziden Einflussbereiches der Kupferlösungen – lebende oder abgestorbene mikroorganische Beläge die Flächen grün und grau verschleiern oder schwarz verkrusten.²⁹ Hinzu kam – noch wichtiger – unsere Beobachtung, dass die unbewachsenen Flächen viel glatter sind als die von Organismen besiedelten Anteile, die eine deutlich stärkere Rauigkeit durch Korrosion aufweisen (Abb. 30). Das bestätigt unwiderlegbar die Feststellungen der Geomikrobiologen, dass die mikrobiellen Einflüsse entscheidend zur chemischen Verwitterung beitragen. Wie Ballerstädt ergänzend feststellte, betrifft dies nicht nur die leichter löslichen Karbonatgesteine, sondern auch die deutlich resistenteren silikatischen Gesteine.³⁰ Durch gezielt an den Grabsteinen angeordnete Kupferkörper oder durch Bestäubung mit Kupferpartikeln oder Benetzung mit kupferhaltigen Lösungen würde sich somit die Möglichkeit eröffnen, die leidige Verschmutzung der Denkmäler durch Organismen zu verhindern und deren Korrosion zu mindern.

Ein derzeit aktuelles Problem ist es, die oft kontroversen Belange des Naturschutzes mit denen des Denkmalschutzes in Übereinstimmung zu bringen. Nach ökologischen Gesichtspunkten sind auf historischen Friedhöfen unnötige Maßnahmen der Oberflächenfestigung und -reinigung an den Denkmälern zu vermeiden, um die Eingriffe in den allmählich gewachsenen „Lebensraum Gesteinsoberfläche“ möglichst gering zu halten. Gerade wenn der Kornbestand der Grabsteinoberflächen unter einem Moos- oder Flechtenbelag gelockert ist, können Reinigungsmaßnahmen zu Substanzverlust führen und damit oft mehr schaden als nützen. Andererseits sind kontrollierende und verändernde Maßnahmen am Biotop dringlich, wenn die Substanzer-

haltung und Schadensvorbeugung am Denkmal dies erfordern. Hier sollte der einmalige Denkmalbestand Vorrang haben vor dem rekultivierbaren Biotop.

Ein Beispiel für den Widerstreit zwischen Naturschutz und Denkmalschutz ist der auf dem Alten Südlichen Friedhof zu München wuchernde Efeu: Dieses immergrüne Gewächs gilt in der Sepulkralkultur als ein Symbol für Auferstehung und ewiges Leben. Auf dem Alten Südlichen Friedhof bietet es zudem dem winzigen Efeu-Kugelglanzkäfer *Clithostethus arcuatus* Lebensraum und Schutz. Da der Alte Südliche Friedhof das vermutlich einzige Vorkommen dieses Käfers in Süddeutschland darstellt,³¹ konnte der Efeu hier unter dem Schutz der Naturfreunde ungehemmt wuchern. Dadurch ist ein großer Teil der Denkmäler von den Schlinggewächsen umhüllt und statisch sowie substantiell erheblich beeinträchtigt worden; manche der Steinblöcke wurden durch den Zelldruck (Turgor) der bis armdicken Efeuäste gehoben, verschoben und gesprengt bis zur Einsturzgefahr. Als endlich in einer jahrelang währenden und bis heute andauernden kostspieligen Aktion der wuchernde Efeu von den Grabmälern entfernt wurde, offenbarte sich das ganze Ausmaß der Schädigungen; nunmehr konnte zielgerecht mit den dringlichsten Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen begonnen werden, wobei allerdings gelegentlich durch unsensibles, fachunkundiges Vorgehen neue Schäden an der Denkmalsubstanz provoziert worden sind.

Literaturverzeichnis

- Ninon BALLERSTÄDT, Die Naturwerksteine des Landes Hessen und ihr Verwitterungsverhalten sowie Untersuchungen zur Entwicklung der Rauheit von Gesteinsoberflächen, Diss. München 1991.
- Bernd FITZNER u. Ralf KOWNATZKI, Bauwerkskartierung – Schadensaufnahme an Naturwerksteinen, in: Der Freiberufliche Restaurator, Heft 4, 1990, S. 25–40.
- Wolf-Dieter GRIMM, Zur Verwitterung von Denkmalgesteinen auf Friedhöfen der Bundesrepublik Deutschland, in: Bautenschutz Bausanierung, Sonderheft „Bausubstanzerhaltung in der Denkmalpflege“, Köln 1986, S. 56–60.
- Wolf-Dieter GRIMM (wiss. Leitung), Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland, (Arbeitsheft 50 des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege), München 1990.
- Wolf-Dieter GRIMM, Naturwerksteine und Denkmalgesteine, in: Die Geowissenschaften, 10. Jg., Nr. 9–10, 1992, S. 251–256.
- Wolf-Dieter GRIMM, Der Petersfriedhof zu Straubing, in: Naturstein, Heft 2/1993, S. 62–69.
- Wolf-Dieter GRIMM, Der Waldfriedhof und der Bogenhauser Kirchhof in München, in: Naturstein, Heft 1/1994, S. 50–55.
- Wolf-Dieter GRIMM, Beobachtungen und Überlegungen zur Verformung von Marmorobjekten durch Gefügeauflockerung, in: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 150/2, 1999, S. 195–235.
- Wolf-Dieter GRIMM, Historische Friedhöfe als Untersuchungsobjekte zur Verwendung, Verwitterung und Restaurierung von Denkmalgesteinen, in: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Bd. 156/1, 2005, S. 103–128.
- Wolf-Dieter GRIMM, Impulsgeber Rolf Sneathlage – 30 Jahre Steinkonservierung, in: Naturstein, Heft 3/2006, S. 24–32.
- Wolf-Dieter GRIMM, Die Denkmalgesteine des Jüdischen Friedhofs von Georgensgmünd, in: P. Kuhn, Jüdischer Friedhof Georgensgmünd (Die Kunstdenkmäler von Bayern, N. F., Bd. 6), München 2006, S. 206–244.
- Wolf-Dieter GRIMM u. Ulrich SCHWARZ, Naturwerksteine und ihre Verwitterung an Münchner Bauten und Denkmälern – Überblick über eine Stadtkartierung, in: Natursteinkonservierung (Arbeitsheft 31 des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege), München 1985, S. 28–118.
- Wolf-Dieter GRIMM, Ulrich SCHWARZ u. Günter DEMEL, Verwendung und Verwitterung von Naturwerksteinen und Denkmalgesteinen im Umkreis der Geowissenschaftlichen Institute der Universität München, (Exkursionsführer zur 143. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft), München 1991, S. 65–93.

- Wolf-Dieter GRIMM u. Jürgen VÖLKL, Rauigkeitsmessungen zur Kennzeichnung der Naturwerksteinverwitterung, in: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 134, 1983, S. 387–411.
- Reinhard HEROLD, Schaden an Naturwerkstein-Bekleidung in Unterführungen – ein Versetzproblem, in: *Granit International*, Heft 5/1976, S. 26–29.
- Julius HIRSCHWALD, *Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung*, Berlin 1912.
- Wolfram KÖHLER, Ultrasonic investigations on four marble tombs in the Old Northern and the Old Southern Cemetery in Munich, (Forsch.-Ber. 11/1993 Eurocare-Euromarble EU 496), München 1993, S. 95–107.
- Nina A. KRIEG, „Schon Ordnung ist Schönheit“. Hans Grässels Münchner Friedhofsarchitektur (1894–1929), ein ‚deutsches‘ Modell?, Diss. München 1990.
- Robert LUKAS, Die Naturwerksteine Baden-Württembergs und ihre Wetterbeständigkeit sowie Verwitterungsprofile ausgewählter Carbonatgesteine, Diss. München 1990.
- Messerschmitt Stiftung (Hrsg.), *Die Epitaphien an der Frauenkirche zu München*, Diss. München 1986.
- Friedrich MÜLLER, *Gesteinskunde – Lehrbuch und Nachschlagewerk über Gesteine für Hochbau, Innenarchitektur, Kunst und Restauration*, 5. Aufl. Ulm 1996.
- Hartmut NETZ, *Letzte Ruhestätte – Friedhöfe als Lebensraum für Pflanzen und Tiere*, (Naturschutz heute, Heft 2/06), Bonn 2006.
- Frank NIEHAUS, *Geologie und Naturwerksteine von Bayern sowie das Verwitterungsverhalten von Naturwerksteinen, ermittelt auf alten bayerischen Friedhöfen*, München 1994.
- Klaus POSCHLOD u. Wolf-Dieter GRIMM, Der Alte Südfriedhof in München, seine Gesteine, seine Restaurierung; mit einem Beitrag von Willy Hafner, in: *Steinmetz und Bildhauer*, Bd. 100, Heft 11, 1984, S. 28–33.
- Erhard M. WINKLER, *Stone: Properties, Durability in Man's Environment*, 2. Aufl. Wien / New York 1975.
- Georg Jakob WOLF, *Münchener Waldfriedhof*, Augsburg 1928.
- 6 Siehe unveröffentlichte Diplomarbeit Günter DEMEL, Untersuchungen zum Naturwerksteinbestand und zur Verwitterung auf dem Alten Nordfriedhof zu München, mit einem Vorschlag für einen „Gesteins- und Verwitterungs-Lehrpfad“, 1988; GRIMM, SCHWARZ u. DEMEL, *Verwendung*, 1991.
- 7 Siehe unveröffentlichte Diplomarbeit Silvia DECKERS, Untersuchungen zum Naturwerksteinbestand und zur Verwitterung auf dem Münchener Waldfriedhof mit einem Vorschlag für einen „Gesteinslehrpfad“, 1988; GRIMM, *Waldfriedhof*, 1994.
- 8 GRIMM u. VÖLKL, Rauigkeitsmessungen, 1983; unveröffentlichte Diplomarbeiten Jens KALTBEITZER, Teil I: Gesteins- und Verwitterungslehrpfad – zusammengestellt auf dem Neuen Nordfriedhof zu München, 1988 und Alfred SCHLÄGER, Bestandsaufnahme von Naturwerksteinen und Verwitterungsercheinungen an Marmoren des Neuen Nordfriedhofes in München, 1988.
- 9 GRIMM, *Impulsgeber*, 2006, S. 26ff.
- 10 GRIMM, *Zur Verwitterung*, 1986, S. 58.
- 11 GRIMM, *Historische Friedhöfe*, 2005, S. 108.
- 12 MÜLLER, *Gesteinskunde*, 1996, S. 210.
- 13 Ebd.
- 14 Vgl. auch GRIMM, *Petersfriedhof*, 1993 sowie NIEHAUS, *Geologie*, 1994.
- 15 KRIEG, *Schon Ordnung*, 1990, S. 115.
- 16 WOLF, *Münchener Waldfriedhof*, 1928, S. 8.
- 17 KRIEG, *Schon Ordnung*, 1990, S. 151, 169.
- 18 WINKLER, *Stone*, 1975, Abb. 72c.
- 19 GRIMM u. SCHWARZ, *Naturwerksteine*, 1985, S. 108ff.
- 20 Ebd., S. 110.
- 21 In HIRSCHWALD, *Handbuch*, 1912, S. 254.
- 22 FITZNER u. KOWNATZKI, *Bauwerkskartierung*, 1990.
- 23 GRIMM u. VÖLKL, Rauigkeitsmessungen, 1983.
- 24 GRIMM, *Beobachtungen*, 1999.
- 25 Vgl. GRIMM u. SCHWARZ, *Naturwerksteine*, 1985, S. 90ff.
- 26 Ebd., S. 95ff.
- 27 HEROLD, *Schaden*, 1976.
- 28 GRIMM, *Georgensgmünd*, 2006.
- 29 GRIMM, *Naturwerksteine und Denkmalgesteine*, 1992.
- 30 BALLERSTÄDT, *Naturwerksteine des Landes Hessen*, 1991.
- 31 Siehe NETZ, *Letzte Ruhestätte*, 2006.

1 GRIMM, *Impulsgeber*, 2006, S. 25f.

2 GRIMM u. SCHWARZ, *Naturwerksteine*, 1985, S. 42f.

3 Ebd.

4 Ebd., S. 66ff.

5 POSCHLOD u. GRIMM, *Der Alte Südfriedhof*, 1984.

Abbildungsnachweis:

Alle Abbildungen aus dem Archiv des Autors.

Abstract

Usage of Stones and their Decay in 19th-Century Cemeteries, with Examples from Munich

The local and temporal changes of the inventories of stones used in the historical cemeteries can be evaluated by statistical surveillance. Such evaluation shows that the Industrial Revolution in the middle of the 19th century caused a blatant change in the usage of monument stones. Previously, the variety of materials was mainly restricted to soft rocks originating from the vicinity. Later, as a result of the Industrial Revolution, improved methods of quarrying and treatment of stones resulted in the inclusion of hard rocks into the inventory of stones and new transportation facilities led to the import of stones from remote sources and finally from all over the world.

At cemeteries, the different types of stone were exposed to varying regional climates and local environments. Therefore, stones were confronted to changes of the physical, chemical, and biogenic influences of weathering, so that the effects of the natural (geogenic) and of the man-made (anthropogenic) weathering can be investigated. The increased environmental stress caused by the Industrial Revolution accelerated the decay of

damageable rocks. Due to a large number of tomb objects it is possible to statistically investigate the frequency and the degree of the features of weathering as they intensify with the course of time and depending on the local environments and on specific properties of the rock materials.

At historical cemeteries, not only the most important monuments but the whole entities of tombstones are listed as subjects of monument protection. Considerable efforts are spent in order to attenuate the effects of weathering by preservation and to repair the damages by restoration. Therefore, historical cemeteries are an excellent study object to investigate the efficiency and the durability of conservation and restoration efforts for various rock materials and to avoid such treatments which have no or even adverse effects.

Many tombstones in the cemeteries of Munich consist of soft rocks with poor resistance against weathering agents. Therefore excellent examples of weathering and of efficient or damaging restoration and preservation measures can be observed. A survey of the stones used in Munich's cemeteries during the last two centuries clearly shows the change of monument rocks caused by the Industrial Revolution and its overlap by the influences of style and fashion. The development of the Waldfriedhof is a special case due to the selection of stones by its founder Hans Grässel.