

Neue Prüfungen zur Beurteilung der Gebrauchseigenschaften von Naturwerkstein (Teil 1):

Gesteinseigenschaften besser prüfen

DR. ALBRECHT GERMANN, DR. RALF KOWNATZKI UND DIPL.-MIN. HENNING ROHOWSKI

Um die Gebrauchseigenschaften von Naturwerksteinen beurteilen zu können, reichen die vorhandenen technisch-physikalischen Gesteinsprüfungen vielfach nicht aus. Je nach Einsatzbereich stellen sich Fragen zum Verfärbungsrisiko, zur Fleckempfindlichkeit und zur Beständigkeit gegenüber chemischen Aggressoren. Im nachfolgenden Artikel (Teil 1) sowie in den nächsten zwei Ausgaben von NATURSTEIN (Teile 2 und 3) stellt NATURSTEIN die Prüfverfahren MineralTest, FleckTest und ChemTest vor, die neue Möglichkeiten der Beurteilung von Gesteinseigenschaften eröffnen.

Der Baustoff Naturwerkstein bietet optische Vielfalt und teilweise überlegene Materialeigenschaften. Aber: Nicht jede Steinsorte ist für jede Anwendung geeignet. Je nach Einsatzbereich werden unterschiedlichste Anforderungen an das Gestein gestellt. Wer das nicht beachtet, muss mit zum Teil irreversiblen Schäden rechnen.

Schäden oft vorprogrammiert

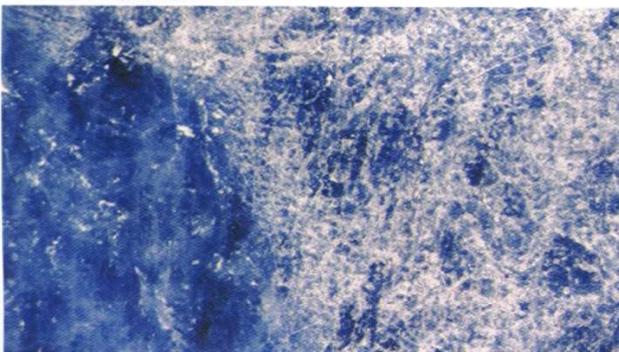
Viele Gesteine enthalten Minerale, die z. T. empfindlich auf Feuchtigkeit reagieren. So kann bereits das Anmachwasser bei der Verlegung unschöne, irreversible Rostflecken verursachen. Durch Kontakt mit Zement erhält das Anmachwasser einen alkalischen pH-Wert (> 12), was weiterhin zu Lösungsprozessen an Eisen-Verbindungen und Umlagerungen führen kann. Daneben können das Anmachwasser bzw. darin gelöste und in Mikrorissen der Minerale angelagerte Mörtelbestandteile

Verfärbungen auslösen. Ist das Verfärbungsrisiko eines Gesteins bekannt, werden bei dessen Verlegung spezielle Klebemörtel eingesetzt, die nur wenig Anmachwasser benötigen bzw. dieses schon kurz nach der Verlegung kristallin binden. Während für die gebräuchlichen Werksteinsorten Erfahrungswerte vorliegen, sind weniger häufig verwendete oder neu auf den Markt gebrachte Sorten in ihrem Verhalten unbekannt. Gerade bei größeren Verlegemaßnahmen, wo die Kosten für den Klebemörtel eine wichtige Rolle spielen, sind aber Informationen zum Verfärbungs- und auch Verformungsverhalten dringend notwendig.

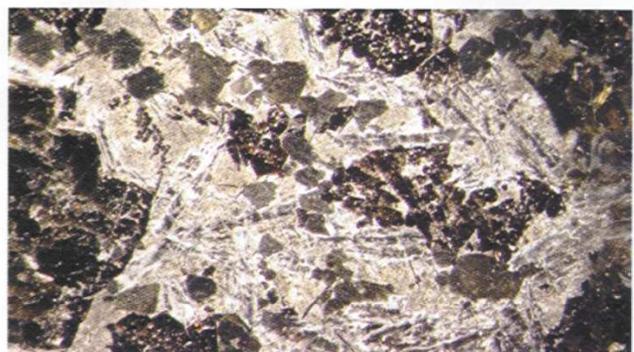
Bodenbeläge aus Naturwerkstein sollten leicht zu unterhalten sein. Mechanische Dauerhaftigkeit, Fleckunempfindlichkeit und Beständigkeit gegenüber chemischen Aggressoren sind hier die entscheidenden Kriterien. Fleckenbildner sind u. a. Rotwein, Kaffee und Speiseöl. Zu den chemischen Aggressoren

gehören nicht nur Haushaltssäuren wie Milchsäure, Kohlensäure und Weinsäure; auch saure oder alkalische Reinigungsmittel können die Politur schädigen. Im Nassbereich (Badezimmer, Schwimmbäder etc.), wo Naturwerksteine in Form von Bodenbelägen und Wandbekleidungen zur Anwendung kommen, spielt die Beständigkeit gegenüber Fleckenbildnern und chemischen Aggressoren eine entscheidende Rolle bei der Auswahl eines geeigneten Gesteins. Um Kalkablagerungen zu entfernen, werden z. T. sehr säurehaltige Reinigungsmittel eingesetzt, was bei entsprechend sensiblen Gesteinen Schäden geradezu vorprogrammiert.

Auch bei der Verwendung von Naturwerksteinen in Form von Küchenarbeitsplatten ist das Wissen um die Gebrauchseigenschaften des gewählten Materials unerlässlich. Unempfindlichkeit gegen Haushaltsaggressoren ist hier Gebot!



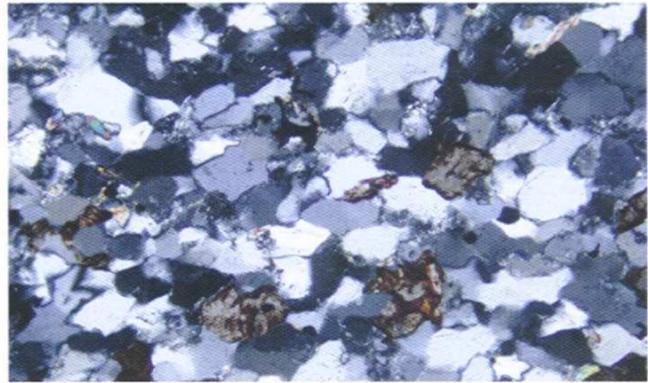
Stereomikroskopische Aufnahme von Sodalithgestein, im rechten Teil durch 20-minütige Einwirkung eines Zementschleierentferners auf Säurebasis zerstört. Bildbreite ca. 1 cm.



Stereomikroskopische Aufnahme von Basalt: Der Anteil der Calciumfeldspäte (Plagioklase) wurde durch die 20-minütige Einwirkung eines Zementschleierentferners auf Säurebasis zerstört. Die Olivine (dunkel) blieben erhalten. Bildbreite ca. 1 cm.



Stereomikroskopische Aufnahme eines granulitischen Gesteins mit Rostverfärbungen, die auf Pyrit zurückzuführen sind. Bildbreite ca. 1 cm.



Durchlichtmikroskopische Aufnahme (Nic+) eines Siderit-führenden Sandsteins. Die Siderite sind randlich in Limonit umgewandelt. Bildbreite ca. 1 mm.

Steinwahl mit Rücksicht auf den Einsatzort

Wer sich die genannten Beispiele für den Einsatz von Naturwerkstein vor Augen hält, wird einsehen, dass dieser in Bezug auf die Gebrauchseigenschaften mit keramischen Belägen, Kunststoffarbeitsplatten etc. konkurriert. Erfahrungswerte aus dem Umgang mit diesen Konkurrenzprodukten werden häufig auf den Baustoff Naturwerkstein übertragen, was je nach Gesteinsorte gut geht oder aber zu Schäden führt.

Selbstverständlich kann man Gesteinsoberflächen durch eine Imprägnierung hydrophob und oleophob einstellen und so quasi mit einer gewissen »Strapazierfähigkeit« versehen – mehr als eine ergänzende Schutzmaßnahme ist das allerdings nicht. Man sollte deshalb bei der Auswahl einer Gesteinsorte stets sicherstellen, dass dieser Stein für den jeweiligen Einsatzort geeignet ist. Dass das selbst Fachleuten nicht immer leicht fällt, ist bekannt. Viele Sorten werden in irreführender Weise auf dem Markt eingeführt. Was als »Granit« bezeichnet wird, muss noch lange keiner sein, also auch nicht über die relativ gute Beständigkeit dieser Gesteinsart verfügen. Ein Anorthosit (z. B. BLUE EYES) enthält beispielsweise keinen Quarz, sondern besteht hauptsächlich aus Ca-reichen Feldspäten, Biotit und Pyroxen. Der Einsatz eines säurehaltigen Zementschleierentferners auf einem Belag aus dieser Gesteinsorte führt bei hohen Anwendungskonzentrationen schnell zu einer Beschädigung der Politur.

Verfärbungsrisiken

Auf mineralische Bestandteile zurückzuführende Farbveränderungen an Naturwerksteinen können im Wesentlichen

zwei Ursachen haben: Zum einen können sich farblich nicht besonders in Erscheinung tretende Minerale in stark gefärbte Alterationsprodukte umwandeln. Zum anderen ist durch Umwandlungsprozesse eine Ausbleichung oder Entfärbung von farbgebenden Mineralen möglich.

Dunkelfärbung

Die Verfärbungen des ersten Typs lassen sich oft auf die Umwandlung von Eisensulfiden, Eisenkarbonaten und Eisenoxiden zurückführen. Eisensulfiden kommt aufgrund ihrer Häufigkeit in den unterschiedlichsten Gesteinen und ihrer geringen Verwitterungsbeständigkeit eine besondere Bedeutung zu (Tabelle 1).

Zu den **Eisensulfiden** gehören die Minerale Pyrrhotin (= Magnetkies), Pyrit, Markasit und Melnikovit-Pyrit. Daneben tritt häufig als weiteres Sulfidmineral, v. a. in basischen Magmatiten, aber auch in Schwarzschiefern, Chalcopyrit (= Kupferkies) auf. Bei der Zersetzung der Eisensulfide handelt es sich um eine Oxidation, die zur Neubildung von Limonit führt. Dieses Gemenge von Eisenhydroxiden (Goethit, Lepidokrokit) wird gemeinhin als »Rost« bezeichnet. Limonit stellt zwar unter atmosphärischen Bedingungen ein stabiles Umwandlungsprodukt dar, kann aber durch basische

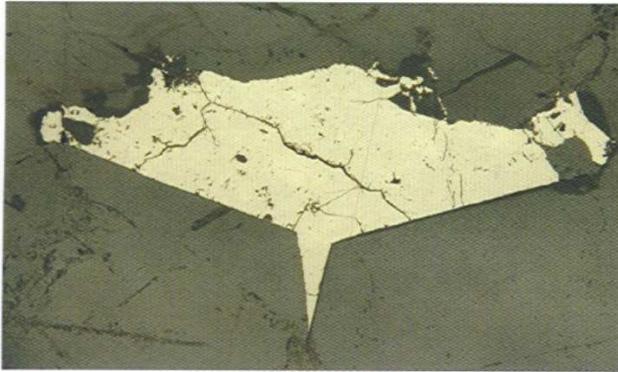
oder saure Lösungen mobilisiert und an anderer Stelle wieder ausgefällt werden. Eine weitere Gefahrenquelle bei der Umwandlung von Eisensulfiden ist die in diesem Prozess entstehende Schwefelsäure, die Begleitminerale schädigen kann. Besonders problematisch ist das bei natrium- oder calciumhaltigen Gesteinen: Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oder Thenardit ($\text{Na}_2[\text{SO}_4]$) können entstehen und durch ihren sehr hohen Kristallisationsdruck ein Zertreiben des Gesteins bewirken.

Die **Eisenkarbonate** Ankerit und Siderit (Tabelle 1) kommen zwar in Naturwerksteinen weniger häufig vor als Sulfide, können jedoch speziell in bestimmten Sandsteinen als Zement oder in Karbonatgesteinen (Kalksteinen, Dolomiten, Marmoren) auftreten. In basischen Magmatiten (z. B. Basalte) trifft man sie gelegentlich als sekundär entstandenes Begleitmineral an. Siderit kann bis zu 10 Gew.-% Mangan enthalten und unter Verwitterungseinfluss zu schwarzen Verfärbungen in Form neugebildeter Manganoxide und -hydroxide führen. Daneben verwittern Siderit und Ankerit sehr rasch unter Bildung von Limonit, der, wie erwähnt, zu Rostverfärbungen führt.

Was **Eisenoxide und Eisenhydroxide** betrifft, ist die Gefahr von Verfärbungen bei Ersteren deutlich geringer (Tabelle 2).

Mineral	Formel	Vorkommen	Verwitterungsverhalten
Pyrrhotin = Magnetkies	FeS	Magmatite, Metamorphite, höher temperierte Mineralgänge	sehr anfällig
Pyrit = Schwefelkies	FeS_2	alle Gesteine	anfällig
Markasit	FeS_2	in Sedimentgesteinen und niedrig temperierten Mineralgängen	anfällig
Melnikovit-Pyrit (gelförmiger Pyrit)	FeS_2	in Sedimentgesteinen	sehr anfällig
Chalcopyrit (= Kupferkies)	CuFeS_2	Magmatite, Metamorphite, Sedimentgesteine, Mineralgänge	anfällig
Ankerit	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$	Mineralgänge, Sedimentgesteine, als Sekundärprodukt in basischen Magmatiten, in Metamorphiten	anfällig
Siderit	$(\text{Fe,Mn})(\text{CO}_3)$	Mineralgänge, Sedimentgesteine, als Sekundärprodukt in basischen Magmatiten, in Metamorphiten	sehr anfällig

Tabelle 1: Verwitterungsverhalten, Auftreten und Zusammensetzung ausgewählter Fe-haltiger Sulfide und Karbonate.



Auflichtmikroskopische Aufnahme (Nic. -) des gleichen granulitischen Gesteins wie in Abbildung 3. Man erkennt ein Pyritkorn, das pseudomorph nach einem zerstörten Mineral gewachsen ist. Die Verwitterung des Pyrits löst die in Abbildung 3 erkennbaren Rostverfärbungen aus. Bildbreite ca. 1 mm.



Auflichtmikroskopische Aufnahme (Nic. +) eines stark martitisierten (zu Hämatit umgewandelten) Magnetits, der randlich zu rostfarbenem Limonit alteriert wurde. Bildbreite ca. 0,5 mm.

Mineral	Formel	Vorkommen	Verwitterungsverhalten
Magnetit	Fe ₃ O ₄	Magmatite, Metamorphite, in Sedimentgesteinen als klastischer Bestandteil (Schwermineral)	beständig
Ilmenit	FeTiO ₃	Magmatite, Metamorphite, in Sedimentgesteinen als klastischer Bestandteil (Schwermineral)	beständig
Hämatit	Fe ₂ O ₃	in Sedimentgesteinen, Magmatiten und Metamorphiten	in fein- und feinstkörniger Form anfällig stabil
Goethit = Nadeleisenerz	α-FeOOH	Hauptbestandteil (in Mitteleuropa ca. 90 Vol.-%) von Limonit, Verwitterungsprodukt; in zahlreichen Gesteinen für Gelb- oder Braunfärbung verantwortlich	stabil
Lepidokrokit = Rubinglimmer	γ-FeOOH	Nebenbestandteil (in Mitteleuropa ca. 10 Vol.-%) von Limonit, Verwitterungsprodukt; verursacht in Limonit eine rote Farbkomponente	anfällig

Tabelle 2: Verwitterungsverhalten, Auftreten und Zusammensetzung ausgewählter Fe-haltiger Oxide und Hydroxide.

Magnetit – ein häufiger Bestandteil von magmatischen Gesteinen und höhergradigen Metamorphiten – ist weitgehend verwitterungsstabil. Ist er allerdings martitisiert (in ein feinkristallines Aggregat von Hämatit umgewandelt), sind Verfärbungen möglich. Sonst ist er gegen Säuren und Laugen weitgehend stabil (Ausnahme: Salzsäure). Auch Ilmenit ist weitgehend stabil. Dagegen kann Hämatit besonders in feinstkörniger Form in Limonit umgewandelt werden.

Meist sind die in diesem Kapitel genannten Minerale mit bloßem Auge oder selbst mit einem Stereomikroskop nicht zu erfassen. Nur eine **polarisationsmikroskopische Untersuchung unter Auflicht** erlaubt hier eine genaue Diagnose. Bei neu auf den Markt eingeführten Gesteinen sollte sie unbedingt durchgeführt werden – nur so lässt sich Schäden vorbeugen! Der häufig in der einschlägigen Literatur auftretende Hinweis »und Erzminerale« reicht gerade im Hinblick auf die Verfärbungsproblematik nicht aus.

Ausbleichung und Entfärbung

Die Verfärbungen des zweiten Typs sind auf eine Ausbleichung oder Entfärbung gefärbter Minerale wie z. B. Feldspäte und hier speziell Plagioklase zurückzuführen. Plagioklase haben im Verlauf der

Erdgeschichte z. T. Umwandlungen erfahren, im Zuge derer sich neue Minerale wie Chlorit, Serizit, Epidot oder Calcit gebildet haben. Außer einer für diese Mineralgruppe typischen leichten Trübung zeigen die derart umgewandelten Plagioklase keinerlei Farbveränderung. Werden jedoch Gesteine, die solche Plagioklase enthalten, der Verwitterung ausgesetzt, kann es unter Wasseraufnahme zur Bildung von Tonmineralen kommen. Optisch äußert sich dies zunächst in einer Aufhellung des Gesteins und einem Glanzverlust. Dieses Phänomen wird relativ häufig bei Charnockiten beobachtet. Längerfristig zerfällt der Plagioklas. Auch was diese Problematik betrifft, ist als vorbeugende Maßnahme eine polarisationsmikroskopische Untersuchung der zur Auswahl stehenden Gesteinsorten zu empfehlen.

Fleckenbildner	Entfernung
Asphalt, Bitumen, Teer	schwierig, nur mit Hilfe von Lösungsmitteln
Öl, Heizöl, Diesel	
Fette	
Harz, Leim	
Nagellack	
Blut	evtl. durch eine Bleichung, ansonsten durch »Auswaschen«
Kaffee, Tee, Rotwein, Cola	
Früchte (Kirschen, Beeren etc.)	
Gerbstoffe	
Tinte	

Tabelle 3: Typische Fleckenbildner.

Fleckempfindlichkeit und Beständigkeit gegen chemische Aggressorien

Flecken entstehen, wenn flüssige, fleckenbildende Substanzen (Tabelle 3) in den Naturwerkstein eindringen. Sie sind zwar Verschmutzungen, wobei unter Verschmutzungen im engeren Sinne Anlagerungen von Schmutzpartikeln (Staub, Ruß etc.) auf der Gesteinsoberfläche zu verstehen sind. Verschmutzungen lassen sich – sofern sie mit dem Gestein nicht chemisch reagiert haben und »gebunden« sind – mechanisch entfernen. Flecken sind dagegen, wenn überhaupt, nur chemisch zu beseitigen.

Die Beständigkeit eines Gesteins gegenüber chemischen Aggressorien (Säuren und Laugen) wird wiederum von dessen Mineralgehalt bestimmt. Die Gesteinsporosität ist nur dahingehend von Bedeutung, als sie das Eindringen einer aggressiven Lösung in tiefere Gesteinsbereiche fördert bzw. behindert. Jedes gesteinsbildende Mineral lässt sich in Bezug auf sein Verwitterungsverhalten bewerten und klassifizieren (Tabelle 4). Die Beständigkeit des jeweiligen Minerals gegen über Säuren und Laugen unterschiedlicher Art und Konzentration (Tabelle 5) lässt sich jedoch nur bedingt von seinem Verwitterungsverhalten ableiten. Eine

praxisgerechte Beurteilung von Naturwerksteinen erfordert den Laborversuch.

Bestehende Prüfverfahren

In den gängigen, in den Normen (DIN und DIN EN) aufgeführten Prüfverfahren werden die beschriebenen Gesteinseigenschaften nur bedingt berücksichtigt. So umfasst die DIN V 52106 zwar einen Hinweis auf eine Gesteinsprüfung bzgl. »Rostgefährdung«, allerdings mit Verweis auf einen Simulationsversuch. Die neuen Normen DIN EN 1341, 1342 und 1343 fordern eine petrographische Beschreibung von Naturwerksteinen, die in Form von Platten, Pflaster- und Bordsteinen im Außenbereich zur Anwendung kommen sollen. Eine Interpretation der petrographischen Untersuchungsergebnisse, z. B. im Hinblick auf ein Verfärbungsrisiko, wird jedoch nicht verlangt. Interessanterweise schreibt die DIN 18332 (VOB) Folgendes vor: »Bindemittel, Mörtel, Klebstoffe, Reinigungs- und Imprägniermittel sind auf den Anwendungsbereich und die Art des verwendeten Natursteins abzustimmen ...«. Wie dies zu geschehen hat, lässt die Norm aber offen. Im Gegensatz dazu ist die Ermittlung technisch-physikalischer Kennwerte (Wasseraufnahme, Festigkeitseigenschaften, Verschleiß, Frostwiderstand etc.) genau geregelt.

Neu: MineralTest, FleckTest und ChemTest

Diese Lücke in der Prüftechnik haben die *Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied* und das auf Natursteinuntersuchungen spezialisierte Beratungsunter-

Mineral	Stabilitätsgrad
Quarz, Zirkon, Turmalin, Rutil, Anatas, Spinell	Extrem stabil
Andalusit, Sillimanit, Topas, Magnetit, Ilmenit, Korund	Sehr stabil
Titanit, Staurolith, Epidot, Disthen, Muskovit	Stabil
Biotit, Muskovit, Serizit, Kalifeldspat, Albit, Pyroxene, Chlorit	Mäßig stabil
Dolomit, Cordierit, Nephelin, Hämatit, Amphibole, Granat, Olivin	Instabil
Fayalit (Fe-reicher Olivin), Apatit, Sodalith, Calcit, Pyrrhotin, Pyrit, Markasit, Chalcopyrit, Siderit	Sehr instabil

Tabelle 4: Stabilität ausgewählter Minerale und Mineralgruppen im Verwitterungsbereich.

Mineral	Beständigkeit gegenüber Säuren und Laugen
Kalifeldspat	Nur in Flußsäure (HF) und Kalilauge (KOH) löslich.
Olivin	Wird von konzentrierter Salzsäure angelöst, in Schwefelsäure findet eine stürmische Zersetzung statt.
Ca-reicher Plagioklas	Wird grundsätzlich von Säuren angegriffen.
Augit	Außer gegen Flußsäure säurebeständig.
Diopsid	Außer gegen Flußsäure säurebeständig.
Quarz	Wird von Flußsäure stärker, von KOH leicht angelöst. Gegen andere Säuren stabil.
Calcit, Siderit	Werden von Säuren stark angegriffen.
Dolomit	Zersetzung etwas langsamer als bei Calcit und Siderit.
Sodalith	Gegen Säuren sehr unbeständig.
Nephelin	Nephelin wird von Salzsäure gelöst.

Tabelle 5: Chemische Beständigkeit ausgewählter Minerale gegenüber Säuren und Laugen.

nehmen *Rock and Mineral Consulting* in Herzogenrath dazu veranlasst, neue Prüfverfahren anzubieten: den »MineralTest«, den »FleckTest« und den »ChemTest«. Beim **MineralTest** werden die Gesteine anwendungsspezifisch auf ihren Mineralbestand hin untersucht. Der jeweilige Werkstein wird per dünnschliff-mikroskopischer Analyse einer Gesteinsgruppe zugeordnet; dabei werden kritische Mineralkomponenten identifiziert. »Missverständnisse« über die anwendungsrelevanten Gesteinseigenschaften lassen sich auf diese Weise von vornherein ausschließen. Mit dem **FleckTest** wird gezielt die Beständigkeit eines Naturwerksteins gegen die wichtigsten Fleckenbildner getestet, mit dem **ChemTest** seine Resistenz gegen bei der Verlegung, Reinigung und Nutzung anfallende Säuren und Laugen. Ziel dieser neuen Prüfverfahren ist die optimale Nutzung des Baustoffs Naturwerkstein.

Details beschreiben wir in den **NATURSTEIN**-Ausgaben 2 und 3 / 2003.

Dr. Albrecht Germann und Dr. Ralf Kownatzki sind Inhaber des Beratungsunternehmens Rock and Mineral Consulting (RMC) in Herzogenrath bei Aachen (www.rock-mineral-consulting.de). RMC hat sich auf die Untersuchung von Naturstein spezialisiert und führt umfassende Natursteinberatungen durch (Porträt siehe NATURSTEIN 6 / 2002).

Dipl.-Min. Henning Rohowski ist Leiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied (MPVA) in Neuwied (www.mpva.de). Die MPVA ist eine bauaufsichtlich anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle. Ein Tätigkeitsschwerpunkt ist die Prüfung von Naturwerkstein (Porträt siehe NATURSTEIN 3 / 2000).

Rollvorhang-Kabine RV – hand – zum händischen Strahlen von übertiefen Schriften und Ornamenten, plastischen Verzierungen, mit und ohne automatischem Strahlmittelkreislauf.

Rollvorhang-Kabine „RVN“



zum automatischen Strahlen



Spezialfabrik für Sandstrahlgebläse Entstaubungsanlagen Druckluftanlagen Zubehör

über 90 Jahre

FRIEDRICH GOLDMANN GMBH & CO.

Postfach 710105 · D-68221 Mannheim-Friedrichsfeld 2 · Tel. (0621) 471034 · Fax (0621) 481100