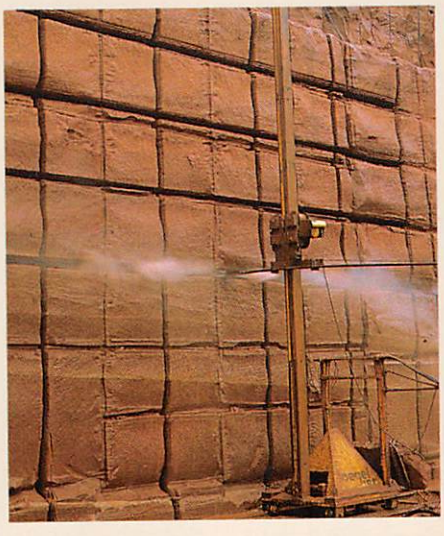
Steintechnisches Institut, Mayen

Christian Singewald

Naturwerkstein

Exploration und Gewinnung

Untersuchung Bewertung Verfahren Kosten





Rudolf Müller

Steintechnisches Institut, Mayen

Christian Singewald

Naturwerkstein

Exploration und Gewinnung

Untersuchung Bewertung Verfahren Kosten

Rudolf Müller

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Singewald, Christian:
Naturwerkstein : Exploration und Gewinnung ;
Bewertung – Verfahren – Kosten /
Christian Singewald.
Steintechnisches Institut, Mayen. –
Köln : R. Müller, 1992
Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 1992

ISBN 3-481-00521-0

ISBN 3-481-00521-0

Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1992
Alle Rechte vorbehalten
Umschlaggestaltung: Steffen Missmahl, Köln
Druck: Druckerei A. Hellendoorn KG, Bad Bentheim
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist als Dissertationsschrift angefertigt worden. Den Betreuern dieser Arbeit, Herrn Prof. Dr.-Ing. Werner Vogt (Institut für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre, Clausthal-Zellerfeld) als Hauptreferenten und Herrn Prof. Dr. rer. nat. Volker Stein (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover), der das Thema angeregt und das Korreferat übernommen hat, möchte ich herzlich für viele fachwissenschaftliche Gespräche und Empfehlungen danken.

Die Dissertation wurde selbstständig und ausschließlich mit eigenen finanziellen Mitteln durchgeführt. Dem Steintechnischen Institut Mayen der Industrie- und Handelskammer Koblenz sowie Herrn Studienrat M. Schäfer danke ich für den Druck und das Verlegen der Arbeit und für das Öffnen zahlreicher Kontakte zur Naturwerkstein-Industrie.

Für die Durchsicht des Manuskripts, wertvolle Vorschläge und Hilfe bei Geländearbeiten danke ich Frau Dipl.- Geol. H. Siemann (Abteilung Geologie der Universität Trier), Herrn Prof. Dr. K. Becker (Weinheim) für Hilfe bei der Erstellung eines Computerprogramms und meinem Vater für zahlreiche kritische Diskussionen.

Herr Dr. J. Lepper (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) half mir freundlicherweise mit Empfehlungen, insbesondere in der Anfangsphase der Arbeit.
Für die spontane Bereitschaft, Radarmessungen in Naturwerksteinbrüchen zu testen, danke ich Herrn Dipl.-Ing. R. Thierbach, Herrn Dipl.-Ing. R. Schuricht sowie Herrn Dipl.-Geophys. D. Eisenburger (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung). In diesem Zusammenhang möchte ich auch Herrn Dr. K.-Ch. Käding (Kali + Salz AG, Kassel) für seine Unterstützung danken sowie Herrn P. Wirths (Fa. Wirths/Kirchheim b. Würzburg) für die Bereitschaft, die Messungen in seinem Steinbruch bei Kirchheim durchzuführen. Herr Dipl.-Ing. B. Lindecke (Kali + Salz AG, Kassel) stellte freundlicherweise ein Meßgerät für Schallpegelmessungen zur Verfügung.

Der Firma Gödeke Metall & Lasertechnik GmbH, Lehrte ist zu danken für Versuche zum Schneiden von Naturwerkstein mit Laserstrahl. Herrn Greiner/Fa. Dimmler danke ich für die Bereitstellung von Expansivzement, wobei Herr Dipl.-Geol. J. Bunk (Bunk Natursteinwerke, Bad Karlshafen) mir freundlicherweise bei der Erprobung des Expansivzementes in seinem Betrieb behilflich war.

Vor allem vor Ort in den Steinbrüchen habe ich vielen Personen zu danken. Alle diejenigen, die mir aus der Naturwerkstein-Industrie und ihren Zulieferfirmen Hilfe leisteten, sind hier gar nicht aufzählbar. Namentlich erwähnen möchte ich Herrn U. Bell (Fa. Bell/Selters i. Westerwald), sowie Herrn K. Betz (Fa. Kiefer-Reul-Teich), Familie H. Diroll (Fa. Diroll/Burgkunstadt), Herrn A. Niefnecker (Fa. Niefnecker/Eichstätt), Herrn St. Keuser (Fa. Rüber-Michels/Mayen), Herrn F. W. Kohlbecher (Fa. Luxem/Mayen) sowie Herrn H. Schneider (Fa. Loegel/Rothbach in Frankreich).

Clausthal-Zellerfeld, im Januar 1992

Christian Singewald

Geleitwort

Die deutsche Naturwerkstein-Industrie hat wie andere seit Jahrtausenden bestehende Industriezweige, spezielle Probleme zu überwinden. Die Verteuerung des Produktionsfaktors Arbeit führte in den Betrieben zu zahlreichen Mechanisierungsansätzen bei Gewinnung und Verarbeitung, die jedoch lange Zeit ungeordnet nebeneinander standen. Die größten Fortschritte waren dabei zweifelsohne im Bereich der Verarbeitung zu verzeichnen, nicht zuletzt, weil der Markt dies so forderte.

Die Gewinnungsbetriebe versuchten, dieser Entwicklung zu folgen, doch oft mit wechselndem Erfolg. Über die vielfach recht unbefriedigenden Ergebnisse tröstete vielerorts lediglich die - im Grunde genommen immer noch gute - Erlössituation hinweg. Und doch blieben viele Rationalisierungsmöglichkeiten ungenutzt. Teils, weil die Lieferanten der Maschinen diesen Absatzmarkt falsch einschätzten, teils, weil die oft noch kleinen Steinbruch-Betriebe die Anforderungen an die Gewinnungsgeräte selbst nicht deutlich genug formulieren konnten. Hinzu kam, daß jeder Steinbruch seine Eigenheiten hat, die vom Besitzer nicht selten überbewertet werden und als Maßstab für die Entwicklung neuer Maschinen gesehen werden. So erklärt sich das bunte Bild, das wir heute in dieser - in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung meist unterschätzten - Industrie antreffen. Die von den Betriebsleitern meist vertretene These, daß es für den Bergmann hinter der Hacke duster sei, lieferte dann noch die Begründung für diese, aus den Lagerstätten und dem Abbaugeschehen sonst nicht erklärbare Vielfalt.

Hier lag der gedankliche Ansatzpunkt für die vorliegende Arbeit von Herrn Singewald. Sie ist meines Wissens der erste Versuch, die lagerstättenkundlichen Kenntnisse über Naturwerksteine zusammenzufassen, zu systematisieren und für eine betriebsnahe Anwendung weiterzuentwickeln. Im selben Arbeitsgang wird versucht, rationale Beziehungen zwischen Lagerstättentyp und zweckmäßigen Gewinnungsgeräten herzustellen. Den Betrieben sollen so einerseits ein Hilfsmittel für die Bewertung der eigenen Lagerstätte, auch im Vergleich zu Wettbewerbern, und andererseits Gesichtspunkte für die günstigste Anlage des Steinbruchs und die zweckmäßigste Geräteausstattung vermittelt werden.

Dies alles kann diesem traditionsreichen Industriezweig nur nützen. Ich wünsche diesem Buch deshalb eine weite Verbreitung bei all denen, die aus seiner Lektüre Gewinn ziehen können.

Hannover, im Februar 1992

Volker Stein

Geleitwort

Die Naturwerkstein-Industrie ist ein Wirtschaftszweig von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung, die in den kommenden Jahren - nicht zuletzt wegen des zu erwartenden Nachfrageschubes aus den neuen Bundesländern - noch erheblich wachsen wird.

Eine rationelle, möglichst vollständige und umweltschonende Nutzung der Naturwerksteinlagerstätten, ist daher dringend erforderlich. Eine Grundvoraussetzung dafür ist eine möglichst genaue Exploration und Bewertung der Vorräte, Aufgaben, die wegen der erforderlichen Mindestabmessungen der Rohsteine wesentlich schwieriger und komplizierter zu lösen sind, als bei Natursteinen und sonstigen mineralischen Massenrohstoffen.

Der Verfasser hat auf der Basis der bekannten allgemein anwendbaren, jedoch für die Naturwerkstein-Industrie unbefriedigenden Verfahren der Vorratsberechnung eine Methode entwickelt, die auf die spezifischen Anforderungen der Naturwerkstein-Industrie zugeschnitten ist. Damit steht jetzt ein neuartiges Bewertungssystem für Naturwerksteinlagerstätten zur Verfügung, das die geologischen und tektonischen Ausgangsdaten mit den Rohsteinverarbeitungsverfahren und den Anforderungen des Marktes verknüpft.

Unter Anwendung der vom Verfasser entwickelten Methode werden in dem vorliegenden Buch alle bedeutenden Naturwerksteinlagerstätten in den westlichen Bundesländern bewertet und dabei alle für die Naturwerkstein-Industrie wichtigen Gesteinsarten erfaßt.

Mit Hilfe der vom Verfasser definierten Rohblockhöffigkeit, verbunden mit der Mindestblockgröße kann der zu erwartende Anteil an Rohblöcken in einer Naturwerksteinlagerstätte ermittelt werden.

Eng verknüpft mit der werksteingerechten Vorratsermittlung ist die Betriebsmittel- und Verfahrensauswahl für die Gewinnung. Hierzu hat der Verfasser in über 130 Betrieben der westlichen Bundesländer und des benachbarten Auslands eine Bestandsaufnahme der vielfältigen Verfahren durchgeführt, die einzelnen Gewinnungssysteme technisch und wirtschaftlich miteinander verglichen und - soweit erforderlich - Verbesserungen vorgeschlagen sowie Empfehlungen für die Verfahrens- und Betriebsmittelauswahl gegeben.

Diese Empfehlungen zur Gewinnungstechnik basieren auf den Kriterien Produktqualität, Leistung, Kosten und Nutzungsgrad der Lagerstätte. Weiterhin wurden umweltrelevante Aspekte, wie Staub- und Geräuschemissionen in der Bewertung berücksichtigt.

Ich bin sicher, daß dieses Buch zu einer wertvollen Informationsquelle für die mit dem Abbau und der Verarbeitung von Naturwerksteinen befaßten Betriebe sowie Behörden, sonstigen Dienststellen und Verbänden wird.

Clausthal-Zellerfeld, im Januar 1992

Werner Vogt

Zusammenfassung

Diese Arbeit befaßt sich erstmals umfassend mit geologischen und tagebautechnischen Gesichtspunkten der Naturwerkstein-Industrie.
Es kann gezeigt werden, daß in diesem kleinen Zweig des heimischen Bergbaus erhebliche Entwicklungschancen bestehen, aber auch beachtlicher wissenschaftlich-technischer Nachholbedarf - so gut auch die vielen einzelnen Betriebe zu arbeiten scheinen. Das beginnt mit der Exploration, Bewertung und Anlage eines Naturwerksteinbruches und reicht bis zu den jeweils dafür geeigneten Abbaugeräten, je nach Gesteinsart und Morphologie, um eine möglichst optimale Ausbeute an Gesteinsblöcken für die Herstellung von Platten-Material zu erzielen.

Im geologischen Teil wird eine zusammenfassende Darstellung der deutschen Naturwerkstein-Lagerstätten gegeben und die dafür geeigneten Explorationsmethoden geschildert. In diesem Rahmen wurden Klüftigkeiten, d. h. Trennflächen im Gebirge in Naturwerksteinbrüchen erstmals mit elektromagnetischen Reflexionsmessungen geortet und vermessen.

In über 50 ausgewählten Lagerstätten wurden an Aufschlüssen Messungen durchgeführt, um die Trennflächenabstände dreidimensional zu ermitteln und ihre Häufigkeitsverteilung darzustellen. Zum Auswerten der Meßergebnisse wird eine Anforderungsdefinition für den sogenannten "Mindestblock" nach Art und Vorkommen geschaffen und dazu die entsprechende "Rohblockhöffigkeit" je Steinbruch berechnet. Hierfür wird eine relativ einfache Näherungsformel sowie eine Computersimulation abgeleitet, nach denen die Lagerstätten bewertet werden. Es stellte sich eine interessante Abhängigkeit zwischen Durchschnittsblock-Volumen und Rohblockhöffigkeit heraus, die sich an zahlreichen Beispielen der Praxis bewährte. Darüber hinaus wurden regionale Trends, die für das Erschließen von neuen Lagerstätten von Bedeutung sein könnten, herausgearbeitet und entsprechende Empfehlungen daraus abgeleitet.

Im bergbaulichen Teil der Arbeit wurden sämtliche in der Bundesrepublik Deutschland und im benachbarten Ausland eingesetzten Gewinnungsverfahren in über 130 Betrieben zunächst erfaßt, dann spezifischen Untersuchungen unterworfen und die umfangreichen Ergebnisse zusammengefaßt. Auch bisher nicht angewandte Gewinnungsverfahren wie das Laserschneiden und der Einsatz von Expansivzement als Ersatz für Explosivstoffe werden erprobt. Es wurden Auswahlkriterien für Naturwerkstein-Gewinnungsverfahren erstellt und vor Ort gemessen und überprüft. Leistungen, Kosten, Qualität und Rohstoffausbeute sind gegeneinander abzuwägen, um damit die schon heute recht zufriedenstellenden Ergebnisse des Deutschen Naturwerkstein-Bergbaus auch für die Zukunft im europäischen Rahmen abzusichern und zu optimieren. Hierzu wurden vertiefende Untersuchungen und Berechnungen zur Auswahl der Gewinnungsverfahren bis hin zur Abbauplanung von Naturwerksteinbrüchen gemacht, je nach Gesteinsart und Morphologie.

Insgesamt soll und kann die vorliegende Arbeit nur eine aktuelle Grundlage bieten, an der sich künftige Entwicklungen nach geologisch-technischen Gesichtspunkten orientieren können. Diese sind nach Möglichkeit umfassend zu vervollständigen - von der sachgerechten Exploration mit den modernsten Methoden bis hin zur schonenden Blockgewinnung -, um damit vornehmlich im internationalen Wettbewerb unter Kostenminimierung die anstehenden, zukunftsträchtigen Rohstoffe effektiver und ergebnis-optimal zu gewinnen.

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines ... 1
1.1 Themenstellung und Ziel der Arbeit ... 1
1.2 Durchführung der Arbeit ... 2

2 Naturwerksteine ... 3
2.1 Definition ... 4
2.2 Verwendung von Naturwerksteinen ... 4
2.3 Bearbeitung von Naturwerksteinen ... 5
2.4 Anforderungen der Naturwerkstein-Industrie ... 7
Spezielle Anforderungen der Weiterverarbeiter an die Steinbrüche ... 7
2.5 Wirtschaftliche Übersicht ... 9
2.5.1 Bemerkungen zur Statistik ... 10
2.5.2 Zukunft ... 15

3 Derzeitiger Stand der Untersuchung, Bewertung und Gewinnung von Naturwerksteinen 17
3.1 Bisheriger Untersuchungsstand ... 17
3.2 Stand der Bewertung und Erschließung ... 18
3.3 Stand der Abbauplanung und Gewinnung ... 19
3.4 Offene Probleme ... 19

4 Exploration von Naturwerksteinlagerstätten ... 21
4.1 Derzeitige Methoden ... 21
4.1.1 Kriterien für die Auswahl untersuchungswürdiger Gebiete ... 21
4.1.2 Erfassung von Abraum und Nutzgestein, gebräuchliche Methoden ... 21
4.1.3 Kosten für die Untersuchung einer Lagerstätte ... 22
4.1.4 Bewertung derzeitiger Methoden ... 22
4.2 Orientierende Marktstudie ... 23
4.3 Geologische Kartierung und Abgrenzung des höffigen Gebietes ... 23
4.4 Untersuchung und Abgrenzung einer Lagerstätte ... 25
4.4.1 Schürfgräben ... 26
4.4.2 Kernbohrungen ... 26
4.4.3 Geophysikalische Verfahren ... 27
4.4.3.1 Refraktionsseismik ... 27
4.4.3.2 Reflexionsseismik ... 27
4.4.3.3 Geomagnetik ... 27
4.4.3.4 Gravimetrie ... 28
4.4.3.5 Geoelektrik ... 28
4.4.3.6 Ultraschallmessungen ... 28
4.4.3.7 Elektromagnetische Reflexionsmessungen (Radar) ... 29
4.4.4 Technische Prüfung ... 29
4.4.4.1 Probenahme ... 29
4.4.4.2 Prüfverfahren ... 30
4.4.5 Abbauplanung ... 32

5 Vorratsermittlung von Naturwerksteinlagerstätten ... 33
5.1 Mindestblockgröße ... 33
5.2 Natürliche Trennflächen als Maß für erreichbare Blockgrößen ... 35
5.3 Meßmethode ... 36
5.4 Erfassen von Trennflächen mittels elektromagnetischer Reflexionsmessungen ... 37
Anwendungsmöglichkeiten ... 41
5.5 Auswerten von Messungen der Trennflächenabstände ... 42
5.5.1 Häufigkeitsverteilung ... 43
5.5.2 Durchschnittsblock ... 45

5.6 Gewinnbare Naturwerkstein-Rohblöcke ... 46
5.6.1 Rohblockhöffigkeit ... 46
5.6.1.1 Rechenansatz ... 47
5.6.1.2 Faustformel zur Abschätzung der Rohblockhöffigkeit ... 47
5.6.1.3 Grafische Darstellungen ... 49
5.6.1.4 Computer - Modell zur Berechnung der Rohblockhöffigkeit ... 50
5.7 Vorrat ... 51
5.8 Einschränkungen ... 51

6 Beschreibung der vermessenen Steinbrüche ... 53
6.1 Diorit ... 54
Herchenrode ... 54
6.2 Granit, Granodiorit ... 56
6.2.1 Tittling ... 57
6.2.2 Oberfrauenwald ... 58
6.3 Sandstein ... 59
6.3.1 Cornberger Sandstein ... 59
6.3.2 Roter Eifelsandstein ... 61
Neuheilenbach ... 61
6.3.3 Wesersandstein ... 63
6.3.3.1 Eckberg ... 65
6.3.3.2 Eschershausen ... 66
6.3.3.3 Amelungsborn ... 67
6.3.3.4 Arholzen ... 68
6.3.3.5 Bad Karlshafen 1 ... 69
6.3.3.6 Bad Karlshafen 2 ... 70
6.3.3.7 Bad Karlshafen 3 ... 71
6.3.3.8 Bad Karlshafen 4 ... 72
6.3.3.9 Wülmersen ... 73
6.3.3.10 Wesersandstein-Gesamt ... 74
6.3.4 Roter Mainsandstein ... 74
6.3.4.1 Remlingen ... 76
6.3.4.2 Eichenbühl ... 77
6.3.4.3 Dietenhan ... 78
6.3.5 Udelfanger Sandstein ... 79
6.3.6 Werksandstein ... 81
Schleerieth ... 81
6.3.7 Schilfsandstein ... 82
6.3.7.1 Sand am Main ... 84
6.3.7.2 Weiler/Sinsheim ... 85
6.3.7.3 Mühlbach ... 86
6.3.7.4 Niederhofen ... 87
6.3.7.5 Freudental ... 88
6.3.7.6 Schilfsandstein-Gesamt ... 89
6.3.8 Coburger Bausandstein ... 90
Neubrunn ... 90
6.3.9 Sandstein des Rhätolias ... 92
6.3.9.1 Heiligersdorf ... 93
6.3.9.2 Burgpreppach ... 94
6.3.9.3 Gereuth ... 95
6.3.10 Obernkirchener Sandstein ... 96
6.4 Kalkstein ... 98
6.4.1 Quaderkalk ... 98
6.4.1.1 Kirchheim 1 ... 99
6.4.1.2 Kirchheim 2 ... 100

6.4.1.3 Eiblstadt ... 101
6.4.1.4 Winterhausen 1 ... 102
6.4.1.5 Winterhausen 2 ... 103
6.4.1.6 Quaderkalkstein-Gesamt ... 104
6.4.2 Jura-Kalkstein (Dickbankkalk) ... 105
6.4.2.1 Gundelsheim ... 108
6.4.2.2 Treuchtlingen 1 ... 109
6.4.2.3 Rehlingen ... 110
6.4.2.4 Treuchtlingen 2 ... 111
6.4.2.5 Grafenmühle ... 112
6.4.2.6 Kaldorf 1 ... 113
6.4.2.7 Kaldorf 2 ... 114
6.4.2.8 Petersbuch 1 ... 115
6.4.2.9 Petersbuch 2 ... 116
6.4.2.10 Erkertshofen 1 ... 117
6.4.2.11 Erkertshofen 2 ... 118
6.4.2.12 Sankt Egid ... 119
6.4.2.13 Jura-Kalkstein-Gesamt ... 120
6.4.3 Thüster Kalkstein ... 121
6.4.4 Anröchter Kalkstein ... 122
6.5 Dolomitstein ... 124
6.5.1 Nüxeier Dolomit ... 124
6.5.2 Kleinziegenfelder Dolomit ... 125
6.6 Tuffstein ... 127
6.6.1 Tuffstein, Osteifel ... 128
6.6.1.1 Ettringer Tuffstein ... 128
6.6.1.2 Weiberner Tuffstein ... 130
6.6.2 Tuffstein, Kassel ... 131
6.7 Auswertung der Meßergebnisse ... 132
6.7.1 Trennflächen und Histogramme ... 132
6.7.2 Messungen in benachbarten Aufschlüssen bzw. Regionen ... 132
6.7.2.1 Quaderkalk ... 133
6.7.2.2 Wesersandstein-Region ... 133
6.7.2.3 Jura-Kalksteine ... 136
6.7.2.4 Trennflächen in anderen natürlichen Aufschlüssen ... 136
6.7.3 Durchschnittsblock-Volumen ... 137
6.7.4 Rohblockhöffigkeit ... 140
6.8 Abhängigkeiten der Rohblockhöffigkeit ... 140
6.8.1 Zusammenhang zwischen Blockgröße und Höffigkeit ... 141
Kritische Überprüfung der η-Werte ... 141
6.8.1.1 Computersimulation ... 142
6.8.1.2 Vergleich der Rechenmethoden ... 143
6.8.2 Lagerstättentypische Einflüsse ... 144
6.9 Vergleiche eigener Ergebnisse mit Befunden aus den Lagerstätten ... 146
6.10 Eignung der Methode zur Beurteilung von Naturwerksteinlagerstätten ... 150

7 Gewinnungsverfahren ... 151
7.1 Einführung ... 151
7.2 Alte Techniken der Gesteinsgewinnung ... 153
7.3 Erfassen und Beschreiben der Gewinnungsverfahren ... 153
7.3.1 Hammer und Meißel ... 154
7.3.2 Bohrgeräte ... 154
7.3.2.1 Handbohrgerät ... 156
7.3.2.2 Reihenbohrgerät ... 156
Schlitzbohren ... 159

7.3.2.3 Nachgeschaltetes Lösen ... 160
7.3.2.3.1 Federkeil ... 161
7.3.2.3.2 Hydraulisches Steinspaltgerät ... 161
7.3.2.3.3 Explosivstoffe ... 163
- Schwarzpulver ... 163
- Sprengschnur ... 163
7.3.2.3.4 Expansivzement ... 165
7.3.3 Schrämmaschine ... 167
7.3.4 Seilsägeverfahren ... 169
Seilkonstruktion ... 171
7.3.4.1 Blockabschieber ... 173
7.3.5 Flammenschneidverfahren ... 173
7.3.6 Wasserschneidverfahren ... 174
7.3.7 Laserschneidverfahren ... 177
7.3.8 Hydraulikbagger ... 178
7.3.9 Einsatz von Transportgeräten ... 178
7.3.9.1 Laderaupe und Radlader ... 179
7.3.9.2 Derrick ... 181
7.4 Umweltschutz- und Arbeitsschutzgesichtspunkte ... 182
7.4.1 Allgemeines ... 182
7.4.2 Entstaubungsverfahren ... 183
7.4.3 Schallemissionen ... 183

8 Auswahl der Gewinnungsverfahren ... 187
8.1 Auswahlkriterien ... 187
8.1.1 Abbauverlust in Abhängigkeit von der Blockgröße ... 188
8.1.2 Maschinen-Einsatz nach Blockgröße ... 190
8.2 Einsatz nach Gesteinsart und Morphologie ... 191
8.2.1 Bohrverfahren ... 191
Schlitzbohren ... 192
8.2.2 Schrämverfahren ... 192
8.2.3 Seilsägeverfahren ... 193
8.2.4 Flammenschneidverfahren ... 193
8.2.5 Wasserschneidverfahren ... 193
8.2.6 Zusammenfassung ... 194
8.3 Güte der Löseflächenausbildung und Verluste ... 196
8.3.1 Breite der Lösefläche ... 196
8.3.2 Güte der Lösefläche ... 196
8.3.3 Bohrverfahren ... 197
8.3.3.1 Handbohrhammer ... 197
8.3.3.2 Reihenbohren ... 197
Schlitzbohren ... 198
8.3.4 Schrämverfahren ... 198
8.3.5 Seilsägeverfahren ... 198
8.3.6 Flammenschneidverfahren ... 199
8.3.7 Wasserschneidverfahren ... 199
8.3.8 Addition der Verluste ... 200
8.4 Leistungen der Gewinnungsverfahren ... 202
8.4.1 Bohrverfahren ... 202
Kalkstein ... 203
Sandstein ... 203
Granit ... 203
8.4.1.1 Schlitzbohren ... 203
8.4.2 Schrämverfahren ... 203
Kalkstein ... 204

Dolomitstein ... 204
8.4.3 Seilsägeverfahren ... 204
Kalkstein ... 204
Dolomitstein ... 205
Sandstein ... 205
Granit ... 205
8.4.4 Flammenschneidverfahren ... 205
Granit ... 205
8.4.5 Wasserschneidverfahren ... 205
Sandstein ... 206
Granit ... 206
Andere Gesteinsarten ... 206
8.4.6 Zusammenfassung ... 206
8.5 Kosten der Gewinnungsverfahren nach Gesteinsart ... 208
8.5.1 Kalkstein ... 211
8.5.2 Sandstein ... 211
8.5.3 Granit ... 212
8.5.4 Kosten und Ausbeute ... 213
8.6 Ergebnis ... 214
8.7 Kombination von Gewinnungsverfahren ... 215
8.7.1 Kombination zweier Verfahren ... 215
8.7.2 Kombination zweier Geräte ... 216

9 Anlage von Naturwerksteinbrüchen und Abbauplanung ... 217
9.1 Generelle wirtschaftliche Gesichtspunkte ... 217
9.2 Feldeszuschnitt, Abbauart und -planung ... 219
9.2.1 Abbauart ... 219
9.2.2 Abraumbeseitigung ... 221
9.2.3 Lagerungsverhältnisse und Tektonik ... 222
9.2.3.1 Flache Lagerungsverhältnisse ... 223
9.2.3.2 Steile Lagerungsverhältnisse ... 223
9.3 "Gänge" bzw. bevorzugte Spaltbarkeiten und Gebirgsspannungen ... 224
9.3.1 Abbau und Steinbruchanlage bei Auftreten von Gebirgsspannungen ... 226
Spannungsentlastung ... 227
9.4 Fehlbeurteilung von Qualität und Vorrat und sonstige Abbauprobleme (ausgewählte Beispiele) ... 228
9.4.1 Eifelsandsteinbruch Neuheilenbach ... 228
9.4.2 Tuffsteinbruch Kassel ... 229
9.4.3 Kalksteinbruch Marching ... 231
9.4.4 Granitsteinbruch Kösseine ... 233
9.4.5 Trachytsteinbruch Weidenhahn ... 235
9.4.6 Sandsteinbruch Udelfangen ... 237
9.5 Nutzbarer Inhalt einer Naturwerkstein-Lagerstätte ... 237

10 Schlußbemerkungen ... 239

11 Literaturverzeichnis ... 241

Erläuterung einiger in der Arbeit verwendeter Begriffe ... 253

Sachverzeichnis ... 255

1 Allgemeines

1.1 Themenstellung und Ziel der Arbeit

Naturwerksteine sind in den letzten Jahren weltweit vermehrt gefragt. Dementsprechend ist auch das Angebot zu steigern. Diese Entwicklung wird sich vornehmlich durch den Trend zu Naturprodukten auch in Zukunft fortsetzen. Im Gegensatz zu anderen Zweigen der Steine und Erden-Industrie ist aber der Naturwerkstein-Markt in besonders starkem Maße Modeströmungen unterworfen. Der Hersteller muß versuchen, den wechselnden Situationen gerecht zu werden, vielfach sein Angebot erweitern sowie neue Gesteine und Gesteinsvarietäten auf den Markt bringen. Folglich müssen Förderleistungen dem Markt angepaßt, neue Lagerstätten erschlossen oder bereits stillgelegte Steinbrüche wieder in Betrieb genommen werden. Dies kann die wirtschaftliche Lage einzelner Betriebe sehr belasten, zumal die wechselnden Ansprüche hohe Mobilität in Management und technischer Ausstattung erfordern.
In mehreren Fällen kann sich bereits kurz nach Beginn eines Abbaus die Gewinnung als unrentabel erweisen, oftmals durch die Förderung zu geringer Rohblockmengen ausreichender Größe. Verantwortlich hierfür ist nicht nur die begrenzte Rohblockhöffigkeit der Lagerstätte, sondern vielfach auch die Auswahl des Gewinnungsverfahrens, sofern dies nicht den geologischen Verhältnissen entspricht, bergtechnisch ungeeignet oder unwirtschaftlich ist. Selbst bei Natursteinen mit guten technischen Materialeigenschaften ist nicht jeder Steinbruch zur Werksteingewinnung geeignet. Der Planung des Abbaus muß eine sorgfältige Analyse vorausgehen, insbesondere der Zugänglichkeit, der vermuteten Blockausbeute, des Trennflächensystems als auch der dazu passenden Abbauverfahren und -geräte, nicht zuletzt, weil die Investitionen für jeden einzelnen Abbaupunkt noch immer zunehmen.

Es gibt bisher keine speziellen und umfassenden Arbeiten über die Exploration und Gewinnung von Naturwerksteinen. Weder Bergbau noch Geologie haben in Forschung und Entwicklung diesem Bereich die nötige Beachtung geschenkt. Die vorliegende Arbeit soll versuchen, dies nachzuholen, um erstmalig einen Überblick zu geben sowohl über die Exploration als auch über die Gewinnung von Naturwerksteinen in den westlichen Ländern der Bundesrepublik Deutschland, ergänzt durch Beobachtungen im benachbarten europäischen Ausland.

Die Vorgehensweise, die zur Erschließung einer Naturwerkstein-Lagerstätte führt, unterscheidet sich zunächst nicht wesentlich von der in der Steine und Erden-Industrie allgemein üblichen. Im Vorfeld des Abbaus sind die geologischen Charakteristika der einzelnen Untersuchungsfelder zu bestimmen, um ein geeignetes Abbaugebiet und vorteilhafte Gewinnungsverfahren auszuwählen. Die Wahl richtet sich nach den spezifischen Lagerungsverhältnissen und der Gesteinsart. Die in der vorliegenden Arbeit in Betracht kommenden Explorationsmethoden sind speziell auf ihre Verwendbarkeit bei Naturwerksteinen zu überprüfen. Weil die Ansprüche hierfür deutlich von denen des sonstigen Steine und Erden-Bergbaues abweichen, gilt es, neue ergänzende Verfahren zu entwickeln. Bereits die Exploration muß also die spezifischen Erfordernisse zur Gewinnung von Naturwerksteinen berücksichtigen. Dafür sind Grundlagen zu schaffen, die zu einer Bewertung und Vorratsermittlung von Naturwerksteinvorkommen führen. Anhand der neuen Untersuchungsverfahren sind Analysen über die Rohblockhöffigkeiten anzustellen und verschiedenartige Lagerstätten zu vergleichen.
Daran anschließend sind geeignete Verfahren für die Gewinnung aufzuzeigen, ihre Einsatzmöglichkeiten, ihre Beschränkungen sowie Verbesserungsmöglichkeiten. Die Vor- und Nachteile der Verfahren sind hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an die Lagerstätten, ihrer Leistungen, der Kosten und der Umwelt- und Arbeitsschutz-Gesichtspunkte vergleichend zu bewerten.
Damit sollen alle wichtigen geologischen und bergbaulichen Kriterien für den Aufschluß eines Naturwerksteinbruches und schließlich seines Abbaus beschrieben werden. An Hand charakteristischer Beispiele gilt es zu demonstrieren, wie durch Veränderung der Abbauplanung höhere Effektivität bzw. höhere Blockausbeuten erreicht werden können, um damit die Wirtschaftlichkeit von Naturwerksteinbrüchen zu verbessern.

Gelegentlich von der Werkstein-Industrie geäußerte Bedenken hinsichtlich der Erschließung neuer Lagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland erscheinen nach den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen nicht mehr begründet. Verlangen doch die Kunden in vermehrtem Maße die verschiedensten heimischen Materialien und besteht bei Restaurierungsmaßnahmen erhöht Bedarf nach Gesteinsarten, die schon für historische Bauten verwendet wurden. Darüber hinaus kommt den neu hinzugekommenen fünf Bundesländern große Bedeutung zu. Dort besteht noch großer Nachholbedarf an modernen Abbaugeräten und dementsprechender Abbauplanung. Weiterhin ist mit einem sehr hohen Bedarf an Material für die in den nächsten Jahren anstehenden umfangreichen Sanierungsmaßnahmen zu rechnen.

1.2 Durchführung der Arbeit

Am Beginn der Arbeit stand die Aufnahme einer großen Zahl von Naturwerksteinvorkommen und die Erfassung der derzeit zur Anwendung kommenden Explorationsmethoden und Gewinnungsverfahren. Die als Grundlage für die vorliegende Arbeit erworbenen Erkenntnisse stammen sowohl aus den 'alten' Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland als auch aus dem benachbarten Ausland. Für Gewinnungsverfahren, die schon im Ausland, aber bisher nicht in Deutschland angewendet werden, wurden Meßergebnisse und Erkenntnisse aus Italien, Frankreich, Liechtenstein und der Schweiz beigebracht.

Im Verlauf der Arbeit wurden 133 Naturwerksteinbrüche zum Teil mehrfach befahren. Dort wurden die Geologie und bergbautechnische Betriebsabläufe erfaßt sowie zusätzliche Erkenntnisse durch Befragungen in den Steinbruchbetrieben und bei Herstellern von Gewinnungsgeräten gewonnen. Ziel war es, möglichst allen Anforderungen und Gesichtspunkten zur Exploration und Gewinnung von Naturwerksteinen gerecht zu werden.

Dank der in den Steinbrüchen gesammelten Erfahrungen zeigte sich, daß von der Betriebskostenseite her der Einsatz bestgeeigneter Geräte und Abbauverfahren, von der Erlösseite her eine möglichst hohe Blockausbeute wesentliche Gesichtspunkte sind, die vertiefend zu untersuchen waren.

Es gelang, auf der Basis einer Mindestblockgröße eine Berechnungsmethode mit graphischer Darstellung für potentiell gewinnbare Gesteinskörper zu entwickeln. Damit wurden die Rohblockhöffigkeit und der Vorrat an nutzbarem Material für Steinbrüche verschiedener Gesteinsart und Lagerungsverhältnisse ermittelt und verglichen. Dies erforderte eine statistische Auswertung der Trennflächenabstände. Hierbei war auch zu untersuchen, inwieweit Beobachtungen und Folgerungen aus benachbarten Aufschlüssen Hinweise auf die zu erwartende Situation in einem neu zu erschließenden Steinbruch geben können. Es wurden je nach regionaler Lage und Gesteinsart Trends herausgearbeitet.

Da die vorherige Erfassung der Trennflächen in neu zu erschließenden Lagerstätten wesentlich ist, wurde dafür der Einsatz von elektromagnetischen Reflexionsmessungen zur Lokalisierung der Trennflächen erprobt.

Schon im Verlauf der Exploration muß geklärt werden, welche Abbaugeräte sich für den Abbau der jeweiligen Lagerstätte am besten eignen, um damit Fehlentscheidungen und späteren Enttäuschungen vorzubeugen. Hierfür ist ein Vergleich der geologischen Charakteristika der Steinbrüche mit den angewandten Gewinnungsmethoden und der sich daraus ergebenden Probleme hilfreich.

Deshalb wurden die zur Naturwerksteingewinnung in Betracht kommenden Gewinnungsverfahren erfaßt, beschrieben und vergleichend bewertet. Neue Technologien wurden auf ihre Eignung als Gewinnungsverfahren für die Naturwerksteinindustrie überprüft. Die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der einzelnen Verfahren wurden aufgezeigt, und die Güte der erzeugten Schnitt- bzw. Bruchflächenausbildung sowie die dabei erreichbaren Leistungen und deren Kosten wurden erfaßt und bewertet. Da auch Arbeits- und Umweltschutzgesichtspunkte zu berücksichtigen sind, wurden Schallpegelmessungen durchgeführt.

Daraus resultiert eine Bewertung der Gewinnungsverfahren in Abhängigkeit von der Gesteinsart, den Lagerungsverhältnissen und der Morphologie. Die so gewonnenen Erkenntnisse bzw.

erarbeiteten Empfehlungen zur Anlage von Naturwerksteinbrüchen und zum Einsatz verschiedener Gewinnungsverfahren wurden bei exemplarisch ausgesuchten Steinbrüchen mit unterschiedlichen morphologischen und geologischen Verhältnissen überprüft. Insgesamt wurde also eine zusammenfassende Darstellung der Gewinnung deutscher Naturwerksteine auf Grund der aktuellsten geologischen und bergbaulichen Erkenntnisse geschaffen.

2 Naturwerksteine

Die Verwendung von polierbaren, homogenen und kompakten Gesteinen für Skulpturen und architektonische Prestige-Arbeiten kann bis in die mediterranen Zivilisationen vor 4.000 Jahren zurückverfolgt werden. Wenn man von einer "Marmor-Kultur" sprechen kann, betraf das vornehmlich den Bereich der Mittelmeerregion [39].
Im 3. Jahrtausend v. d. Z. fanden Werksteine für die Pharaonenstatuen und Götterdarstellungen in Mesopotamien und besonders in Ägypten Verwendung. Man bevorzugte weiche, feinkörnige Kalksteine, welche detailliert behauen und bemalt wurden (z. B. Büste der Königin Nofretete); weiterhin Granite, Diorite (z. B. Sitzstatue des Pharao Chephren) und Quarzite. Letztere waren zwar schwer zu bearbeiten, wiesen dafür aber schönere Farben und eine höhere Verwitterungsresistenz auf. Für die Pyramiden wurden vorwiegend Kalksteine verwendet, untergeordnet auch Granite wie beispielsweise für die Grabkammern und die Spitzen der Pyramiden (Schlußsteine).

Im antiken Ägypten gehörten die Steinbrüche den Pharaonen, im klassischen Griechenland den Stadt-Staaten, unter römischen und byzantinischen Gesetzen den Kaisern. Jeder dieser geschichtlichen Abschnitte besaß seine eigenen speziellen Gewinnungs- und Bearbeitungstechniken.

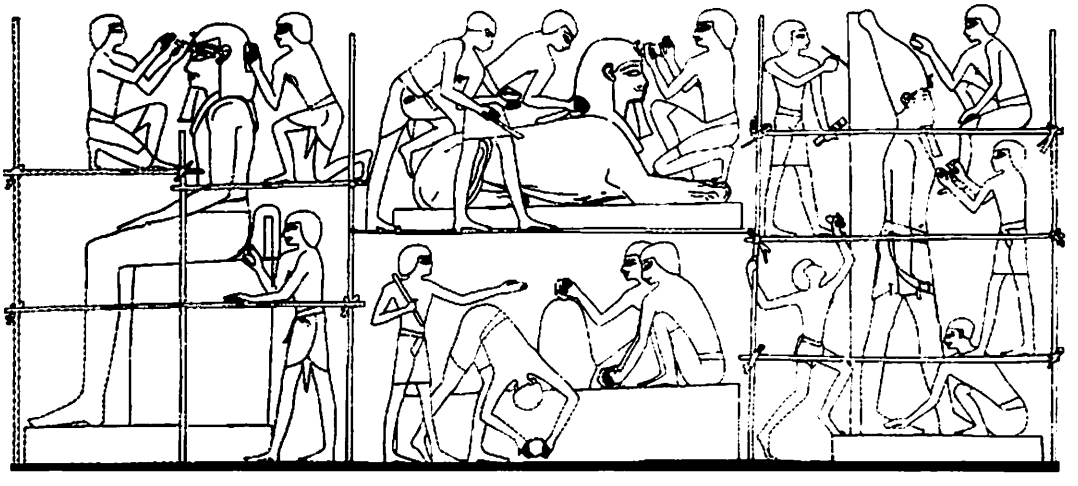


Abb. 1: Ägyptische Bildhauerwerkstatt 1450 v. d. Z., nach einer Malerei im Grab des Wesirs Rechmire; nach [153].

Im Mittelalter und in der Neuzeit unterstanden die Gewinnungsrechte der jeweiligen Regierung. Zunehmend verbreitete sich bis in die Neuzeit das System von Privatkonzessionen, in denen technische und professionelle Traditionen in den Steinbrüchen und Bearbeitungsstätten bis in die heutigen Tage überlebt haben [39].
In Deutschland gab es diese alte Tradition nur in den ehemals römisch verwalteten Gebieten. Die heutige deutsche Naturwerkstein-Industrie entwickelte sich im wesentlichen aus der früheren Bausteingewinnung für den Hausbau. Der Tradition nach ist der weitaus größte Teil

der heutigen Betriebe in Familienbesitz und wird teilweise schon seit vielen Generationen fortgeführt. Die Unternehmen besitzen oft mehrere Steinbrüche und entwickeln sich durch den zunehmenden Naturwerksteinbedarf teilweise zu Großbetrieben. In letzter Zeit steigen auch im Baustoffgeschäft tätige Unternehmen in den Naturwerksteinbereich ein.
Die Vielzahl der abgebauten Lagerstätten reduzierte sich deutlich durch die zurückgehende Verwendung von Natursteinen für den Hausmauerbau. Man beschränkt sich heute daher auf relativ wenige Steinbrüche (ca. 400 - 450 in Deutschland) mit ausgewählten Materialien, die aber um so intensiver abgebaut und veredelt werden.

2.1 Definition

Natürliche Gesteine, die mit der Absicht abgebaut werden, daraus Blöcke oder Platten zu gewinnen, werden als Naturwerksteine bezeichnet. Sie müssen hinsichtlich Größe, Gestalt und Qualität gewisse Mindestanforderungen erfüllen. In Sägereien, Schleifereibetrieben oder Bildhauerwerkstätten werden sie maßgerecht geschnitten und bearbeitet. Die englischen Bezeichnungen "dimension-stone" und "cut-stone" (hinsichtlich geschnittener Ware) drücken die Anforderungen an Natur-"Werksteine" gleich im Begriff aus.
Von den industriell oder manuell bearbeiteten Produkten, den "Fertigarbeiten", wird verlangt, daß das Gestein von allen Seiten zu präzisen Dimensionen formatiert (geschnitten bzw. behauen) und häufig in großen Serien angeboten wird. Die Oberfläche kann dabei texturiert, geschliffen oder poliert sein.

2.2 Verwendung von Naturwerksteinen

Hinsichtlich ihres Verwendungszweckes können Naturwerksteine folgendermaßen eingeteilt werden:
- Monumental-Steine
  Für Monumente, Denkmäler, Grabsteine und die Gestaltung von Skulpturen und Statuen.
- Dekorationssteine
  Für dekorative Zwecke, z. B. bei Möbeln (Tische, Küchenanrichten), Kunsthandwerk.
- Gehwegplatten
- Bordsteine
- Mühlsteine
- den Garten gestaltende Steine
  Hierzu gehören gartenverzierende Elemente wie Beeteinfassungen, Gartenwegplatten, Brunnen und Blumentröge.
- Bausteine
  Hierzu zählen alle natürlichen Steine, die nach ihrer Bearbeitung zur baulichen Verwendung kommen; vornehmlich für Kirchen, historische und repräsentative Bauten sowohl in der Außen- als auch Innenarchitektur als Wände, Verblendmauersteine oder Fassadenplatten, wie auch für Fußböden und Treppenstufen, Fensterbänke, Wandverkleidungen, Fliesen und dgl.
- Pflastersteine
  Sie werden ebenfalls den Naturwerksteinen zugeordnet, sollen aber im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht besonders berücksichtigt werden. An sie werden nur geringe Anforderungen hinsichtlich der Rohmaterialdimension gestellt, so daß Lagerstätten, die sich zur Pflastersteinherstellung eignen, nicht zwingend geeignet sein müssen zur Gewinnung von Rohblöcken bzw. Rohplatten.
- Schiefer
  Sie entsprechen hinsichtlich ihrer Verwendung als Fassaden- und Dachplatten den Naturwerksteinen, haben jedoch eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten auch in anderen Sektoren. Sie wurden daher in dieser Arbeit nicht untersucht.

Naturwerksteine lassen sich also durch ihre Definition und ihre Verwendung deutlich von den Natursteinen abgrenzen.
In die Kategorie der Natursteine gehören ausschließlich die Brechprodukte. Das dafür benötigte Material verlangt nur geringe Größen und hat andere Qualitätsanforderungen zu erfüllen als die Werksteine. Eine starke Zerklüftung des Gesteinsverbandes gestattet oft nur die Aufarbeitung zu Brechprodukten. Die Naturstein-Industrie gewinnt also nur Material zur Herstellung von Mineralstoffen für den Straßen-, Wege- und Wasserbau, wie Schotter, Wasserbausteine, Splitte, Edelsplitte und zugehörige Brechsande.
Vielfach wird der bei der Werksteingewinnung entstehende "Abfall" auch zu Schotter, Wasserbausteinen und ähnlichem, mitunter auch zu qualifizierten Naturstein-Produkten aufgearbeitet.

2.3 Bearbeitung von Naturwerksteinen

Die aus dem Steinbruch gewonnenen Rohblöcke, meist mehrere Kubikmeter groß und oftmals bis zu 20 Tonnen schwer, werden entweder direkt dem Verkauf oder der weiteren Bearbeitung im eigenen Unternehmen zugeführt.
Die Preise pro Kubikmeter Rohblock liegen im Bereich zwischen 450,- DM - 2.000,- DM, je nach Qualität und Nachfrage. Manche Gesteinsvarietäten bringen aber auch deutlich höhere Erlöse. Insgesamt ein höheres Preisniveau wird erzielt für bearbeitetes Material. Daher beschränken sich nur wenige Betriebe auf die reine Gewinnung und den Verkauf von Rohblöcken.
Sofern die Blöcke "bruchroh" veräußert werden, wird die beim Gewinnen des Blokkes entstandene Lösefläche nicht weiter behandelt. Die Mehrzahl der Steinbruchbetriebe bearbeiten die Blöcke in eigenen Betrieben und haben dafür ihre Sägereien und "Weiterbearbeitungsbetriebe" meist in unmittelbarer Nähe der Steinbrüche angesiedelt. Unternehmen mit zahlreichen Steinbrüchen gehen immer mehr zu zentralen Weiterbearbeitungsstätten über. Man beschränkt sich dabei nicht nur auf eigene Blöcke, sondern erwirbt zusätzlich Rohblökke aus anderen Lagerstätten, um so mehrere Gesteinsvarietäten anbieten zu können.

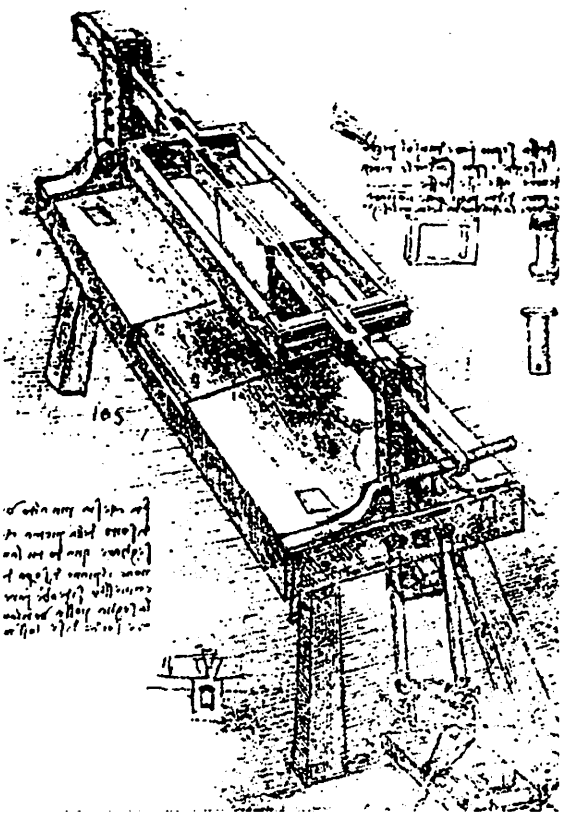


Abb. 2: Eine von Leonardo da Vinci vor 500 Jahren entworfene Blocksäge mit einem Sägeblatt [172].

Die grobe Bearbeitung erfolgt zumeist dadurch, daß man die Rohblöcke durch große stationäre Gesteinssägen mit bis zu 300 cm Durchmesser erreichenden Trennscheiben, Sägeblättern (Einblattgatter) oder auch Seilsägen trennt, um die Blöcke, soweit nicht schon im Steinbruch erfolgt, in eine rechtwinklige Form zu bringen. An stationären Seilsägen kommen sowohl noch alte, mit einem dreifach verdrillten und unter Zugabe von Abrasiva schneidenden Seil bestückte Maschinen zum Einsatz als auch modernste Geräte mit diamantbesetzten Schneidelementen. Das Einblattgatter hat schon eine lange Tradition. Bereits

Leonardo da Vinci entwarf vor 500 Jahren eine solche Blocksäge (Abb. 2) mit einem Sägeblatt, die später noch längere Zeit zum Schneiden von Marmor in Carrara Verwendung gefunden hat.

Zur Herstellung von meist 20 - 30 mm dicken Platten werden die Gesteinsblöcke im Sägegatter geschnitten. Die Sägegatter bestehen aus bis zu 80 oder mehr, heute zumeist diamantbesetzten, an einen Rahmen parallel montierten Sägeblättern (Mehrblattgatter) oder Trennscheiben. Diamantsägeblätter bieten hierbei - außer der Schnittgeschwindigkeit - den Vorteil, daß sie auf der Oberfläche des gesägten Gesteins nur geringfügige Unebenheiten hervorrufen.

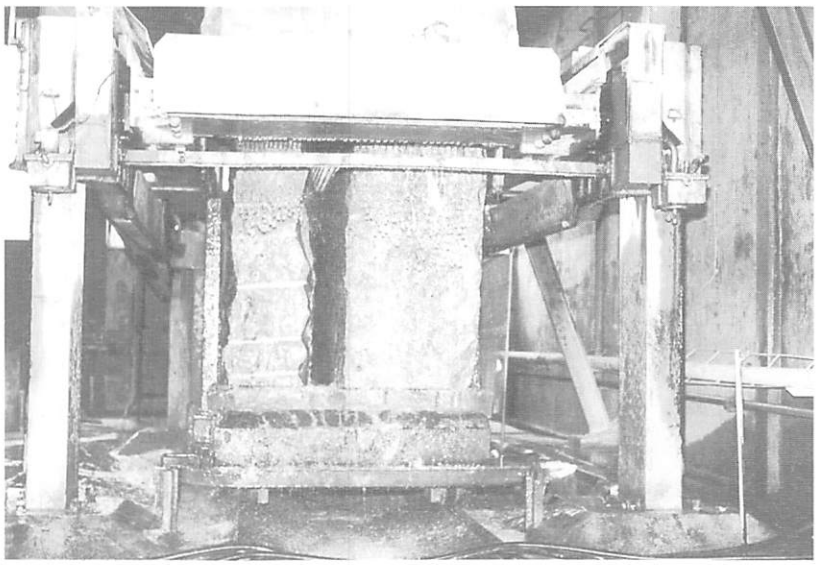


Abb. 3: Sägegatter mit 2 Rohblöcken von 42 und 80 cm Stärke.

Die Abb. 3 zeigt zwei Rohblöcke im Sägegatter. Der linke Block ist 42 cm und der rechte Block 80 cm stark. Sie werden hier in Plattenstärken von 3 cm gesägt.

Nachdem die gewünschten Rohformate hergestellt sind, erfolgt die spezielle Weiterbearbeitung. Für Restaurationsarbeiten erfolgt die endgültige Bearbeitung durch den Steinmetz, oft unter Zuhilfenahme von programmierbaren Konturensägen. Sind strukturierte Oberflächen erwünscht, dann wird das Material mit traditionellen Werkzeugen oder speziellen Stockmaschinen gestockt oder aber durch Flammgeräte (Abb. 4) behandelt, wodurch rauhe Oberflächen entstehen. Die Oberflächenbehandlung mit Flammgeräten erfolgt zumeist bei Graniten, wobei durch den plötzlichen Temperaturschock der Quarz zerspratzt und dadurch eine einzigartig wirkende rauhe Oberfläche erzeugt wird. Andere Oberflächenstrukturen können u. a. mit Spitzeisen und Schlägeln (gespitzt), mit Hilfe eines Scharriereisens (scharriert) oder aber mit Hilfe eines Bossierhammers (bossiert) erzielt werden. Anschließend erfolgt der Zuschnitt

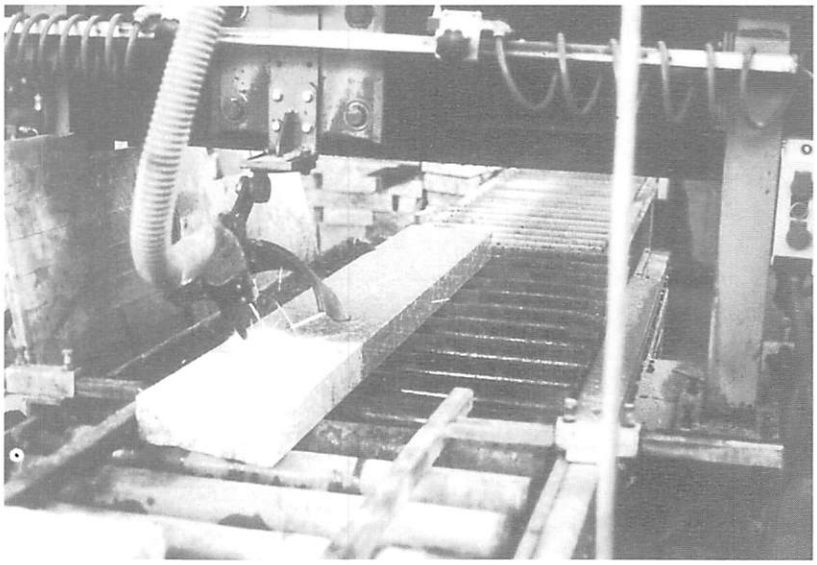


Abb. 4: Oberflächenbehandlung eines Granites mit einem Flammgerät.

in die handelsüblichen bzw. speziell gewünschten Formate. Zur Herstellung von glatten Oberflächen werden die Werksteine geschliffen und anschließend poliert.

2.4 Anforderungen der Naturwerkstein-Industrie

Die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten von Naturwerksteinen machen deutlich, daß möglichst große fehlerfreie Blöcke benötigt werden. Voraussetzung für die Gewinnung von großvolumigen Gesteinsblöcken sind Lagerstätten mit wenig gestörten Bänken, geringer Zerklüftung und hohen Bankmächtigkeiten. Vermarkten läßt sich andererseits ein Gestein nur, wenn es über viele Jahre lieferbar ist. Auch sind gleiche Farbnuancen des Gesteins von Wichtigkeit. Für Naturwerksteine ist eine lange Markteinführung notwendig, und jede Varietät sollte über mindestens 20 Jahre bereitgestellt werden können. Wichtig ist also eine gute und gleichbleibende Qualität sowie eine möglichst große, auf Jahrzehnte gesicherte Lagerstätte in der Größenordnung von mindestens 30.000 - 50.000 m^3 verwendungsfähigem Material.

Nicht nur der Naturwerkstein-Markt, sondern auch die Weiterverarbeiter stellen spezielle Anforderungen an die Steinbrüche. Für diese Anforderungen gibt es technische und wirtschaftliche Gründe.

Spezielle Anforderungen der Weiterverarbeiter an die Steinbrüche

So sollen die Rohblöcke einerseits mit geeigneten Lademitteln handhabungsfähig, andererseits aber nicht zu klein sein. Für die Verarbeitung der Rohblöcke sind im Laufe der Zeit eine Vielzahl weiterverarbeitender Maschinen entwickelt worden, vornehmlich die überwiegend gebräuchlichen Sägegatter. Diese aber verlangen standsichere Blöcke, deren schmalste Kanten nicht wesentlich kleiner als "etwa 0,5 m" sein sollten.

Netto-Block		Platten	
Dimension m	Volumen m^3	Anzahl n	Plattenfläche m^2
0,4 · 0,5 · 0,5	0,1	13	3
0,4 · 0,5 · 1,0	0,2	26	6
0,4 · 1,0 · 1,0	0,4	52	13
0,8 · 1,0 · 1,0	0,8	104	26
1,0 · 1,0 · 2,0	2,0	260	65
1,0 · 2,0 · 2,0	4,0	520	130

Tab. 1: Flächen an Fertigprodukt in Abhängigkeit vom Blockvolumen bei einer willkürlich gewählten Plattengröße von 0,5 · 0,5 · 0,03 m (Sägeverluste wurden nicht berücksichtigt).

Es gibt aber auch aus wirtschaftlichen Gründen eine untere Grenze:

Naturwerksteine werden wegen ihres Preises (mit Ausnahme von Sonderfällen wie Monumenten u. ä.) in möglichst flächenabdeckender Form zum Verkauf gebracht, z. B. für ihren Einsatz als Verkleidungen und Auflagen. Infolgedessen bearbeitet man die rohen Blöcke vorwiegend zu platten-ähnlichem Material.

Die Tab. 1 gibt (lediglich als ein Beispiel) das Zersägen von exakt vierkantigen "Netto"-Blöcken zu Platten wieder. Als Plattengröße wurden willkürlich 0,5 · 0,5 · 0,03 m gewählt. Mit Verdoppelung des Blockvolumens verdoppelt sich selbstverständlich auch die Plattenanzahl bzw. die als Fertigprodukt in Quadratmetern gehandelte Plattenfläche.

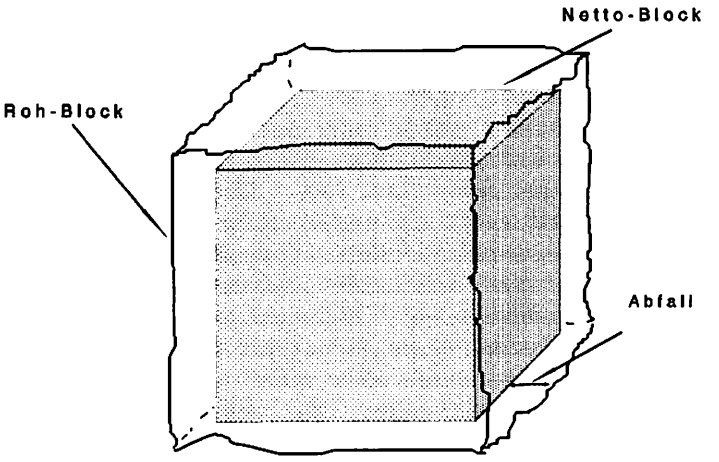


Abb. 5: Netto-Block mit "umhüllendem" Rohblock.

Es zeigt sich aber, daß der Verlust beim Schneiden der Rohblöcke stark von deren Volumen abhängig ist (bedingt durch das Verhältnis von ihrer rauhen Oberfläche zu ihrem Volumen). Sägemehl-Verluste sind flächenproportional, sie wurden hier der Einfachheit halber zu Null angesetzt. Desgleichen wurde der bei jeder Bearbeitung, insbesondere von natürlichen Werkstoffen, eintretende Bruchverlust nicht berücksichtigt.

Um aus einem Block die gemäß Tab. 1 errechenbare Anzahl von sauberen Platten zu erhalten, müßte bereits dieser "Netto"-Block ideale Maße haben. Das ist jedoch bei den aus dem Steinbruch angelieferten Rohlingen keinesfalls gegeben (Abb. 6). Da diese unebene und rauhe Spalt- und Abbauflächen haben, müssen sie zuerst zurechtgeschnitten oder ein Teil der Platten, vornehmlich der äußeren, verworfen werden.

Zwischen Roh- und Netto-Block entsteht somit ein "Abfall" an den Begrenzungsflächen (Abb. 5). Die Abfallmenge wird - außer von der Rauhigkeit - von der Unebenheit der Blockoberfläche bestimmt.
Selbstverständlich wird dies je nach Gestein und Lagerstätte verschieden sein und ist natürlich abhängig vom Bearbeitungsziel.
Nimmt man beispielsweise an, daß der Rauhabfall an jeder Außenfläche etwa gerade der gewählten Plattenstärke (p_s = 0,05 m) entspricht, dann ergibt sich Tab. 2.

Nettoblock	Rohblock		
1,0 · 1,0 · 0,4 m	(1,0 + 2 · 0,05 m) 1,1 m	(1,0 + 2 · 0,05 m) 1,1 m	(0,4 + 2 · 0,05 m) 0,5 m
0,4 m^3	0,6 m^3		

Tab. 2: Volumen des Nettoblocks, welches sich beim Sägen im Sägegatter aus einem Rohblock mit 0,6 m^3 ergibt, vorausgesetzt, der Rauhabfall an jeder Außenfläche beträgt 0,05 m.

Aus den Berechnungen folgt, daß der hier beispielsweise angenommene Rohblock (0,6 m^3) ein um 50 % größeres Volumen aufweisen muß als der formatierte Nettoblock (0,4 m^3).
Bei der Herstellung eines maßgerecht formatierten Blockes aus einer Rohblockgröße von 0,6 m^3 beträgt der durch die rauhen seitlichen Begrenzungsflächen verursachte Abfall 33 Prozent.

Dieser "Abfall-Anteil", bezogen auf den Rohblock, ist nun deutlich abhängig vom Blockvolumen (Tab. 3).

Rohblock		Nettoblock	Abfall
m	m^3	m^3	% des Rohblocks
0,6 · 0,6 · 0,5	0,18	0,10	44
1,1 · 0,6 · 0,5	0,33	0,20	39
1,1 · 1,1 · 0,5	0,60	0,40	33
1,1 · 1,1 · 0,9	1,09	0,80	27
2,1 · 1,1 · 1,1	2,54	2,00	21
2,1 · 2,1 · 1,1	4,85	4,00	17

Tab. 3: Auf den Rohblock bezogener Abfall-Anteil und entsprechendes Volumen des formatierten Nettoblocks.

Für die wirtschaftlichen Belange der Weiterverarbeiter von Rohblöcken ist demzufolge zu beachten, daß die prozentualen Verluste extrem ansteigen, je kleiner diese Blöcke werden. Selbstverständlich gibt es weder exakte Regeln noch daraus abgeleitete Preisgleitklauseln für Blockvolumina, zumal bei jedem Material der Abfall je nach Verwendungszweck unterschiedlich ist.

Allgemein gilt jedoch die Forderung an die Naturwerkstein-Brüche:

"Blöcke von wenigstens ½ m Kantenlänge
bei einem Mindest-Volumen von ca. ½ m^3"

Auf diese Bedingung der Weiterverarbeiter an die Steinbrüche wird in einem späteren Teil der Arbeit, der sich mit der Bewertung von Vorräten einer Naturwerkstein-Lagerstätte befaßt, einzugehen sein.

2.5 Wirtschaftliche Übersicht

Die Weltproduktion von ca. 9 Mio. Kubikmetern an Naturwerksteinen ist folgendermaßen verteilt [39]:

- 73 % aus europäischen Ländern,
- 12 % aus dem Fernen Osten,
- 7 % aus Nord- und Zentralamerika,
- 5 % aus Südamerika und
- 3 % aus Afrika.

Gut 95 % der in den Statistiken erfaßten Produktion an Naturwerksteinen wird von wenigen Ländern gedeckt. Allein Italien, Spanien und Griechenland stellen fast die Hälfte der Weltproduktion. Dann folgen USA, China, Frankreich, Brasilien, Indien und Portugal.

Deutschland soll sich nach diesen Angaben mit unter den 40 Ländern befinden, die sich die restlichen knapp 5 % der Weltproduktion aufteilen.

In der vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen Produktionsstatistik für Deutschland wird unterschieden zwischen

- Marmor,

- Hartgestein und
- sonstigen Weichgesteinen.

Marmor im petrographischen Sinn wird in Deutschland schon seit vielen Jahren nicht mehr gewonnen, es werden jedoch auch polierfähige Kalksteine als Marmor bezeichnet. Bei den Angaben zu deutschem Marmor handelt es sich (bis auf eine Ausnahme) um die als "Treuchtlinger Marmor" und "Jura Marmor" in den Handel kommenden Kalksteine aus der Frankenalb.
Das Natursteinlexikon ([117]:224) vertritt die Ansicht, die Differenzierung in Hart- und Weichgesteine sei eine für die Praxis notwendige Einteilung:

> "Hartgestein: im allgemeinen rechnet man sämtliche Magmagesteine (Ausnahme Serpentinit und vulkanische Tuffe) sowie einige Metamorphite (nämlich Gneise, manche Quarzite, Eklogit, Amphibolit), ja sogar Sedimente (z. B. Grauwacke) dazu."

> "Weichgestein: im allgemeinen rechnet man hierzu die meisten Sedimente (außer Grauwacke, Lydit), einige Metamorphite (Marmor, Ophicalcit, Phyllit, Glimmerschiefer z. T.) und einige Magmagesteine (Serpentinit, Pikrit, vulkanische Tuffe) hinzu. Eine genaue Definition und eine Grenze zu "hart" gibt es nicht."

Die Zweckmäßigkeit derartiger Definitionen wird allerdings bei eingehendem Studium fraglich. Die Grenzen zwischen Hart- und Weichgesteinen sind hiernach äußerst ungenau. So ist unklar, warum man zwar einerseits eine Grauwacke als Hartgestein, aber "die meisten Sedimente" (wie z. B. auch Sandsteine) demnach als Weichgestein bezeichnen müßte. Abgesehen davon, daß nur "manche Quarzite" hiernach zu den Hartgesteinen zählen und der Serpentinit hier fälschlicherweise als "Magmagestein" bezeichnet wird, ist es schwer verständlich, wie man einen Pikrit als Weichgestein bezeichnen kann.
Solche Einteilung in Hartgestein, Weichgestein und Marmor kann demnach sicherlich nicht mehr lange, insbesondere innerhalb der Europäischen Gemeinschaft, aufrecht erhalten werden - zumal man dort schon bei den Außenhandelsstatistiken differenziertere Angaben macht. Bei diesen wird bereits zwischen einzelnen Gesteinsarten wie Sandstein, Kalkstein, Marmor, Basalt oder Granit unterschieden. Jedoch selbst in Italien ist es immer noch verbreitet, Gneise als Granit und polierfähige Kalksteine als Marmor zu bezeichnen. Bereits an dieser Stelle sei angemerkt, daß Statistiken und Angaben von Schneidleistungen in bezug auf die verwendeten Gesteinsbezeichnungen stets mit gewisser Vorsicht betrachtet werden sollten, da sich korrekte Gesteinsbezeichnungen noch nicht überall durchgesetzt haben.

2.5.1 Bemerkungen zur Statistik

Es wurde schon erwähnt, daß die Bundesrepublik Deutschland laut Statistik über die Produktion von Naturwerksteinen an relativ untergeordneter Stelle rangiert. Es folgen hier jedoch einige Betrachtungen, die zeigen, daß dies wenig aussagekräftig ist.

Gemäß Tab. 4 hat die dort ausgewiesene Naturwerkstein-Produktion in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Dabei soll die Herstellung von Halbfabrikaten auf annähernd gleichem Niveau geblieben sein und die Rohblockproduktion von 1982 auf 1989 sich beinahe verdoppelt haben (auf fast 64.000 m^3).

Da vom Statistischen Bundesamt jedoch nur Betriebe mit mehr als 10 Beschäftigten in der Statistik erfaßt werden, muß die Produktionszahl wesentlich größer sein als 98.000 m^3 (1989), denn viele Betriebe im Naturwerkstein-Sektor haben weniger als 10 Mitarbeiter. Trotz dieser Unzulänglichkeit, auf die noch einzugehen ist, wird aber schon der Produktions-Trend deutlich.

Gesteinsart Rohblöcke u. Halbfabrikate	1982 m^3	1987 m^3	1988 m^3	1989 m^3
Hartgestein-Rohblöcke	5.017	3.488	10.144	8.726
Hartgestein-Halbfabrikate	7.290	8.247	10.175	10.380
Marmor-Rohblöcke	25.522	40.808	41.088	40.717
Marmor-Halbfabrikate	25.799	18.285	20.522	21.325
Sonst. Weichgestein-Rohblöcke	6.146	10.096	8.854	14.216
Sonst. Weichgestein-Halbfabrikate	1.165	639	2.539	2.486
Rohblöcke-Gesamt	36.685	54.392	60.086	63.659
Halbfabrikate-Gesamt	34.254	27.171	33.236	34.191
Rohblöcke und Halbfabrikate	70.939	81.563	93.322	97.850

Tab. 4: Rohblock- und Halbfabrikatproduktion in Deutschland der Jahre 1987 - 1989. Im Vergleich dazu (willkürlich ausgewählt) das Jahr 1982 [160]-[163].

Weitere statistische Angaben über Naturwerksteine betreffen die Ein- und Ausfuhr: Tab. 5 für Rohblöcke und Rohplatten, Tab. 6 für bearbeitete Naturwerksteine, hier jeweils für das zuletzt verfügbare Jahr 1989 (auf die Im- und Exporte von Tonschiefern und Pflastersteinen wurde aus den in Kapitel 2.2 genannten Gründen verzichtet).

Die unter Ausfuhr aufgeführten Gesteine haben im wesentlichen folgende Ursprungsorte:

- Quarzit vorwiegend aus dem Odenwald;
- Travertin aus dem Raum Stuttgart und aus Gauingen (Schwäbische Alb);
- Jura-Kalkstein aus der Fränkischen Alb (Bereich Altmühltal);
- Jura-Plattenkalke (Solnhofener Kalksteine) (Frankenalb);
- Granit aus dem Schwarzwald, dem Fichtelgebirge und dem Bayerischen Wald;
- Sandstein vor allem aus dem Raum Coburg, Miltenberg, Würzburg, Obernkirchen, Heuchelberg, Solling;
- Kalkstein vorwiegend aus dem Raum Würzburg;
- Trachyt aus dem Westerwald;
- Basalt aus der Osteifel und vom Vogelsberg.

Besonders auffällig ist, daß für das Jahr 1989 die gesamte Ausfuhr von ca. 226.590 m^3 bereits erheblich größer als die gesamte statistisch erfaßte Produktion von Rohblöcken und Halbfabrikaten (97.850 m^3) ist. Hierzu zeigt sich deutlich die schlechte Qualität der Statistik.

Gemäß Tab. 5 lag der Schwerpunkt bei den Rohblock-Exporten in Basalten und Anderen (Trachyt, Lava, Gneis, Syenit u. a.) mit je fast 150.000 t, bei den Rohplatten überwiegend in Jura-Plattenkalk (mit 90.000 t). Die Rohblock-Importe bestehen zu über 50 % aus Graniten. Im Gegensatz zu den Niederlanden, die in den Statistiken als Exporteur von Rohblöcken auftreten, obwohl sie nicht über eigene Lagerstätten verfügen, wird in Deutschland nur eine geringe Menge von Rohmaterial als Transitware gehandelt.

Die "bearbeiteten" Materialien (Tab. 6) sind z. B. geschnittene, polierte, verzierte, behauene oder anders veredelte Naturwerksteine. Marmor (40 % der Import-Tonnage) und Granit (25 % der Tonnage) sind die Schwerpunkte der Einfuhr (mit insgesamt 450 Mio. DM). Die relativ geringfügige Ausfuhrmenge besteht zu ⅔ aus Jura-Kalksteinen (fast 40.000 t). Wenige der importierten Materialien werden hierzulande bearbeitet und re-exportiert.

Rohblöcke und Rohplatten	Einfuhr 1989		Ausfuhr 1989	
Rohblöcke	t	DM in Tausend	t	DM in Tausend
Quarzit	17.294	5.231	4.463	461
Marmor u. Travertin	24.318	11.568	2.698	504
Jura-Bankkalke			1.144	247
Andere Kalksteine, Alabaster	17.145	7.278	123	86
Granit, roh, grob behauen	249.042	57.182	90.426	4.525
Granit, andere	82.140	31.439	7.372	3.905
Sandstein, roh, grob behauen	8.261	1.427	23.888	988
Sandstein, andere	7.742	2.669	1.454	266
Basalt, Porphyr	10.863	3.418	157.409	3.722
Andere (Trachyt, Gneis u. a.)	6.044	3.166	141.692	7.377
Rohblöcke - Gesamt	422.849	123.378	430.669	22.081
Rohplatten	t	DM in Tausend	t	DM in Tausend
Quarzite	4.547	2.543	17.437	3.663
Marmor und Travertin	8.878	7.653	1.048	865
Andere Kalksteine, Alabaster	47.230	2.920	1.810	131
Granit	10.894	7.479	687	510
Sandstein	3.679	2.049	1.953	756
Porphyr, Syenit, Basalt, Gneis, Trachyt	24.880	10.472	9.693	535
Jura-Plattenkalke	25	2	90.495	25.513
Rohplatten - Gesamt	100.133	33.118	123.123	31.973
Rohblöcke und Rohplatten - Gesamt	522.982	156.496	553.792	54.054
	m^3	DM/m^3	m^3	DM/m^3
Rohblöcke	156.610	788	159.507	138
Rohplatten	37.086	893	45.601	701

Tab. 5: Einfuhr u. Ausfuhr von Naturwerkstein-Rohblöcken und Rohplatten im Jahr 1989 [165], die daraus errechneten Anteile in m^3 (Dichte 2,7) und der Preis pro m^3.

Bearbeitete Naturwerksteine	Einfuhr 1989		Ausfuhr 1989	
	t	DM in Tausend	t	DM in Tausend
Bordsteine	107.536	24.742	1.178	463
Pflasterplatten	60.331	20.006	560	192
Marmor, Travertin, Alabaster geschn.	34.274	42.343	1.077	2.082
Jura-Plattenkalke geschnitten/gesägt			5.121	10.952
Jura-Bankkalke geschnitten/gesägt			8.439	5.921
Andere Kalksteine geschnitten/gesägt	1.439	1.741	284	409
Granit geschnitten/gesägt	28.651	31.428	1.307	2.136
Andere Steine geschnitten/gesägt	21.560	13.066	1.462	1.712
Marmor, Travert., Alabast. and. bearb.	237.050	305.012	2.490	9.595
Jura-Plattenkalke and. bearb.			1.864	3.950
Jura-Bankkalke and. bearb.			23.871	25.081
And. Kalksteine and. bearb.	2.511	4.150	890	1.838
Granit poliert usw. Eigengew. >10 kg	84.594	118.706	3.783	12.466
Granit and. bearb. Eigengew. <10 kg	42.352	56.516	748	2.236
And. poliert usw. Eigengew. >10 kg	9.548	13.761	2.396	3.802
Andere and. bearb. Eigengew. <10 kg	11.076	14.410	380	1.373
Mühlsteine	93	1.499	163	1.429
Bearbeitete Naturwerksteine - Gesamt	643.004	649.369	58.002	87.626
	m^3	DM/m^3	m^3	DM/m^3
Bearbeitete Naturwerksteine - Gesamt	238.150	2.727	21.482	4.079

Tab. 6: Einfuhr und Ausfuhr von bearbeiteten Naturwerksteinen im Jahr 1989 [165]. and. bearb. = anders bearbeitet/poliert/verziert; geschn.= geschnitten .

Die Rohblockpreise differieren sehr stark zwischen Import (780,- DM/m^3) und Export (nur 140,- DM/m^3), wobei hier allerdings 153.000 t Basalt als Wasserbaublöcke für den holländischen Küstenschutz enthalten sind, die den durchschnittlichen Preis sehr stark drücken.

Bearbeitetes Material kostet durchschnittlich 2.700,- DM/m^3 bei den Importen, die kleine Ausfuhrmenge erbringt über 4.000,- DM/m^3. Demzufolge betragen die Importe insgesamt über 800 Mio. DM jährlich, die Exporte bewegen sich etwas unterhalb 150 Mio. DM.

Versucht man, aus den t-Gesamt-Zahlen der Tab. 4 - Tab. 6 eine Bilanz aufzustellen, so resultiert Tab. 7. Hier wurden zu Vergleichszwecken die Tonnage-Zahlen der Tab. 5 und Tab. 6 in Kubikmeter (bei einer angenommenen durchschnittlichen Dichte von 2,7 g/cm^3) umgerech-

jeweils i. 10^3 m^3	Produkt.	+ Import	= Zur Verfg.	- Export	= Verbrauch
Rohblöcke	64	157	221	160	61
Rohplatten	34	37	71	45	26
Bearb. Material	-	238	238	21	217
	98	432	530	226	304

Tab. 7: Zusammenfassung der Statistik-Werte. Sie ergibt den angeblichen Verbrauch in der Bundesrepublik im Jahre 1989.

net.
Demnach müßte in Deutschland im Jahre 1989 530.000 m^3 an Naturwerksteinen zur Verfügung gestanden haben. Angesichts des Exports wären danach im Inland nur 304.000 m^3 abgesetzt worden. Dies ist eine viel zu niedrige Zahl.
Das Importmaterial von mehr als 430.000 m^3 wird überwiegend auch hierzulande verbraucht. Daher muß die in Tab. 7 "errechnete Verbrauchszahl" schon um über 130.000 m^3 zu gering sein. Weil jedoch noch bestimmte Exportsorten auch im Inland abgesetzt werden, muß der "Verbrauch" obendrein noch um diesen Betrag falsch sein. Da man annehmen darf, daß die Ein- und Ausfuhrstatistik (Tab. 5 u. Tab. 6) noch mit dem kleinsten Fehler behaftet ist, wurde daraus eine detaillierte Analyse der Sorten-Bilanzen durchgeführt:

Import

Es kommen aus dem Ausland
Marmor, Travertin, Alabaster etc. (138 · 10^3 m^3). Dazu Bord- u. Pflastersteine (62 · 10^3 m^3) ca. 200.000 m^3

Granit-Einfuhr (fast 500.000 t)
ca. 184.000 m^3

Sonstige Importe ca. 48.000 m^3
432.000 m^3

Export

Bevorzugte deutsche Exportsorten:
Jura (53 · 10^3 m^3), Sandstein (> 10 · 10^3 m^3)
ca. 63.000 m^3

Granit-Ausfuhr (überwiegend roh)
ca. 41.000 m^3

Hohe Ausfuhr an Blöcken (z. B. Basalt 62 · 10^3 m^3, Andere 50 · 10^3 m^3 und Sonstiges
ca. 122.000 m^3
226.000 m^3

Diese Exportmenge liegt bereits über dem zweifachen der in der deutschen Statistik (Tab. 4) genannten Produktionszahl, die schon deshalb falsch sein muß, weil nicht alle Steinbrüche, sondern nur die größeren Betriebe in der Statistik erfaßt werden.
Allein das aus der Fränkischen Alb stammende Material aus rohen bzw. bearbeiteten Jura-Bankkalken und Jura-Plattenkalken wird in den Exportstatistiken (Tab. 5 und Tab. 6) mit bereits fast 50.000 m^3 Ausfuhr ausgewiesen. Gerade bei solcherlei Naturwerksteinen herrscht auf dem Inlandsmarkt ebenfalls eine große, aber befriedigte Nachfrage. Nach dem mehrjährigen Studium für die vorliegende Arbeit dürfte allein das hierzulande Verbrauchte und eben nur aus dem Jura (Altmühltal) stammende Material gut noch einmal so viel wie das Doppelte der Exporte ausmachen. Dies wäre also zur Exportmenge hinzuzurechnen. Analoges dürfte auch für Sandsteine gelten. Sofern bei Basalten und "Anderen" angenommen wird, daß der Inlandsverbrauch aus heimischen Steinbrüchen wenigstens 50 % der Exportmengen ausmacht, so ergibt sich für diese insgesamt eine Produktion:

	Export	Inland	insgesamt
Jurakalke	53.000 m^3 · 2 =	106.000 m^3	159.000 m^3
Granite	41.000 m^3 · 2 =	82.000 m^3	123.000 m^3
Sandsteine	10.000 m^3 · 2 =	20.000 m^3	30.000 m^3
Basalte + "Andere"	122.000 m^3 · ½ =	61.000 m^3	183.000 m^3

von fast 500.000 m^3.

Hiervon sind gegebenfalls noch Küstenbausteine und ähnliche nicht typische Naturwerkstein-Ware abzusetzen.
Auf das gleiche Produktionsvolumen kommt man, wenn in jedem der derzeit in Betrieb befindlichen 450 deutschen Steinbrüche nur eine mittlere jährliche Menge von 1.000 m^3 gewonnen würde. Tatsächlich liegt die Fördermenge um ein Vielfaches höher, weil tausend Kubikmeter etwa die notwendige Fördermenge darstellen, um einen Bruch überhaupt wirtschaftlich zu betreiben. Trotzdem kommen die hier abgeleiteten Produktionsannahmen den tatsächlichen Gegebenheiten wohl viel näher als die völlig ungesicherte Zahl der sogenannten "Produktions-Statistik". Diese ist also dringend revisionsbedürftig.
Rechnet man zu dem oben geschätzten Absatz der hiesigen Steinbrüche im Inland von mindestens 270.000 m^3 noch die Importmenge (ca. 430.000 m^3), so resultiert insgesamt ein Verbrauch in der (alten) Bundesrepublik von mindestens 700.000 m^3.

2.5.2 Zukunft

Geht man sicherheitshalber von einem Verbrauch an echtem Naturwerkstein von 700.000 Mio m^3 in Deutschland aus, so wird außer einer allgemeinen Absatzzunahme und dem steigenden Verlangen nach Naturprodukten (zusammen etwa 0,1 bis 0,15 Mio. m^3), nicht zuletzt für die dringenden Bau- und Restaurationsarbeiten in den "neuen" Ländern (sicherlich ca. 0,15 - 0,2 Mio. m^3), schon sehr bald eine Größenordnung von 1 Mio. m^3 Absatzvolumen erreicht sein. Folglich haben die heimischen Produzenten im nächsten Jahrzehnt einen adäquaten Nachfrageschub zu befriedigen. Zusätzlich besteht noch die Chance einer gewissen Umstrukturierungsmenge (vielleicht > 50.000 m^3), denn der allgemeine Trend geht heute zu den "silikatischen Gesteinen" (Granit, Sandstein).
Gerade die mit 30 % (d. h. ca. 2,6 Mio. m^3) der Weltproduktion [39] führende Nation Italien (durch Tradition bzw. öffentliche Akzeptanz sowie Unterstützung sonst be-

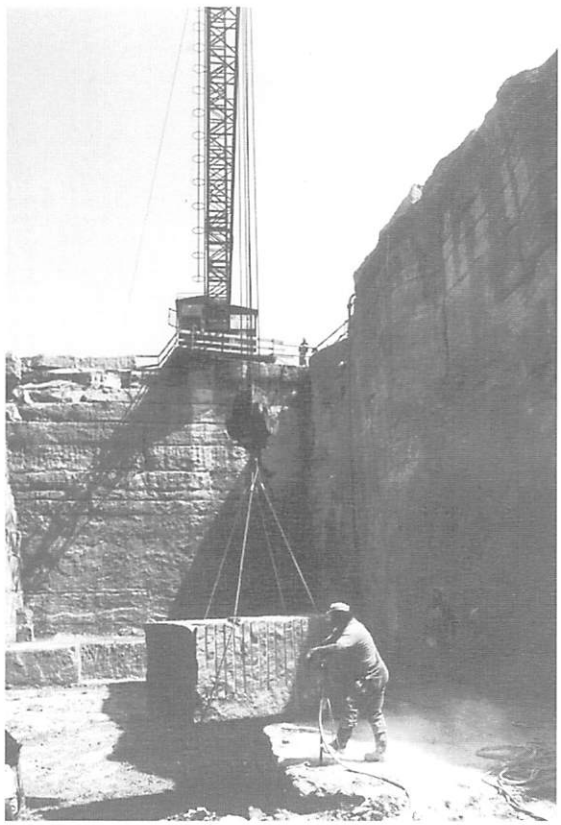


Abb. 6: Naturwerksteinbruch in der Fränkischen Alb. Ein mit Handbohrhämmern abgebohrter und anschließend abgespaltener Rohblock wird mit einem Kran aus dem Steinbruch gehoben.

günstigt) hat jedoch an diesen immer mehr gefragten Gesteinen wenig aufzuweisen. Es sind lediglich Granitvorkommen in Baveno/Piedmont und in Sardinien vorhanden.
Deutschland hingegen hat ein großes Potential an abbauwürdigen Graniten, so im Schwarzwald, Odenwald, vor allem im Bayerischen Wald und Fichtelgebirge. Diese könnten in Zukunft (z. B. für die "Umstrukturierung" weg vom Marmor) eine bedeutende Rolle spielen. Auch stehen Granite bzw. Granodiorite in den neuen Ländern (Oberlausitz) an sowie im Elbsandsteingebirge die gewünschten Sandsteine. Darüber hinaus bietet sich für die heimische Industrie angesichts von derzeit 0,6 Mio. t Granit-Importen noch ein weiteres Potential zur besseren Binnenmarktdeckung.
Dies alles könnte im Jahre 2000 den deutschen Betrieben einen gesicherten Absatz bringen und damit ein Produktionsvolumen, welches über der Menge der in der Bundesrepublik zur Zeit insgesamt verbrauchten Naturwerksteine liegt. Bei einer derartigen, vermutlich 60 - 80 prozentigen Steigerung müßten die Betriebe in die Lage versetzt werden, mehr und rentabler Naturwerksteine zu gewinnen. Noch sind in Deutschland die in Abbau befindlichen Steinbrüche steigerungsfähig. Ihre spezifischen Leistungen sind geringer als vergleichsweise in Italien, trotz der dort teilweise ungünstigen abbautechnischen (morphologischen) bzw. sonstigen Rahmenbedingungen.

Somit stellt die Naturwerkstein-Branche einen kleinen, aber extrem wachsenden Zweig des heimischen Bergbaus dar. Die vorliegende Arbeit ist als Versuch zu werten, die Effizienz und die Einsatzmöglichkeiten bei der Verwendung einheimischer Naturwerksteine zu steigern.

3 Derzeitiger Stand der Untersuchung, Bewertung und Gewinnung von Naturwerksteinen

3.1 Bisheriger Untersuchungsstand

Die Forschungsschwerpunkte liegen in Deutschland seit längerem bei Arbeiten über das Verwitterungsverhalten und die Haltbarkeit von Naturwerksteinen. Hier sei auf FRANK [72], GRIMM [83], GRIMM & VÖLKL [85], STEIN [166], WARSCHEID et al. [176] und WINKLER [180] verwiesen.
Auf standortprägende Auswirkungen speziell der Werksteinindustrie geht die Arbeit von HOTTES [96] ein. EGGERT et al. [62] befassen sich in einem speziellen Kapitel über Naturwerksteine vorwiegend mit den wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Naturwerksteinindustrie (Produktionszahlen, Import und Export), aber auch mit den Vorratssituationen der einzelnen Bundesländer.
Mit dem geologischen Umfeld von Naturwerksteinvorkommen befassen sich im wesentlichen die Arbeiten von CURRIER [43]; PESCHEL [141]; POWER [145],[146]; WEINIG et. al. [178]. Hierbei gehen SCHÖNE & PESCHEL [154] auch auf Rohblockdimensionen und ihre Auswirkungen auf die Gewinnungsverfahren ein.
Arbeiten über die Gewinnung von Naturwerksteinen gibt es in Deutschland keine; hier sei auf italienische Arbeiten verwiesen. Veröffentlichungen über Gewinnungsverfahren gibt es vornehmlich von Seiten der Maschinen-Hersteller, z. B. in den Veröffentlichungen der Associazione costruttori italiani macchine per il marmo e affini (Vereinigung italienischer Marmormaschinen-Hersteller, ACIMM), hier auch von COSTA [40]. Weiterhin finden sich Abhandlungen zu Gewinnungsverfahren z. T. in PANDOLFI & PANDOLFI [137].
Einen guten Überblick über den Naturwerksteinsektor mit schönen Steinbruchabbildungen, eindrucksvollen Bildern und Darstellungen von einigen Gewinnungsverfahren bis zur Bearbeitung und Verwendung von Naturwerksteinen bietet das Buch von CONTI et al. [39]. Insbesondere den Angaben über den Welthandel von Werksteinen wird viel Beachtung gewidmet, wobei sich aber immer wieder die italienische Herkunft des Buches schwerpunktmäßig bemerkbar macht. Allerdings geschieht das in gewissem Maße nicht ganz zu Unrecht, da Italien sicherlich als das im Weltmaßstab wichtigste "Naturwerkstein-Land" zu bezeichnen ist.

Sowohl vom Bergbau als auch von der Geologie wurde dem Gebiet der Naturwerksteine bisher also nicht die ihm zustehende Beachtung geschenkt. Es sind kaum Versuche unternommen worden, montangeologische und bergbauliche Erkenntnisse zum Nutzen der Naturwerksteinindustrie anzuwenden. Dieser Industriezweig sieht daher auch nur selten die Notwendigkeit, sich der Hilfe der Geologie und des Bergbaues bei Exploration oder Gewinnung zu bedienen. So konnte sich sogar häufig eine unrichtige geologische oder bergbauliche Nomenklatur einbürgern, deren nachträgliche Ausmerzung oder Korrektur sehr schwierig ist. Leider findet sich in der Internationalen Natursteinkartei [132], in der die meisten internationalen Naturwerksteine in Bildtafeln dargestellt sind, eine Vielzahl unkorrekter geologischer und petrographischer Beschreibungen und insbesondere auch im Textband eine verwirrende Nomenklatur. Gleiches gilt, wie schon teilweise erwähnt, auch für das Natursteinlexikon [117] und das Gesteinskunde-Buch für die Naturwerksteinindustrie [131]. Nachfolgend seien aus letzterem einige Beispiele unkommentiert zitiert:

> "Eine wesentlich größere Rolle spielt das metamorphe Verwitterungsprodukt Serpentinit in der Bautechnik".
> "Granite, die nur diesen einen Feldspat (Alkalifeldspat) enthalten, heißen Alkaligranite, sind fast immer kräftig rot und besitzen häufig deshalb keinen schwarzen Glimmer, weil das gesamte Fe im Hämatit verbraucht wurde, der die Rötung verursacht".
> "Migmatit ... ein Gestein, in dem zwei Gesteinstypen zusammen vorkommen, nämlich Orthogneis und Paragneis".

Auch im Natursteinlexikon [117] ist der Großteil der Begriffe falsch erläutert. Dadurch sind früher eingeschleuste Fehler im Sprachgebrauch und fehlerhafte Begriffe nicht ausgeräumt; sie tragen eher zur Verwirrung als zur Klärung bei. Auch hierfür seien nur einige Beispiele genannt [117]:

"Schizolithe: wissenschaftliche Bezeichnung für Spaltungsgesteine".

"Spaltungsgesteine: neben Tiefen- und Ergußgesteinen die 3. Gruppe der Glutfluß- und Magmagesteine. Früher sagte man Ganggesteine, ein Ausdruck, den man vermeiden sollte, weil auch Erguß- und Tiefengesteine gangartig auftreten können. Dagegen sagt das Fremdwort Schizolithe, daß sich ein Magmateil abgespalten hat.".

"Arkose: mehr oder weniger verfestigter Granitgrus".

"Grauwacke: zu den Sandsteinen zählendes Sedimentgestein, das einen erheblichen Kohlenstoffanteil (organischen Ursprungs) aufweist.".

"Intrusion: ...In tiefen Bereichen der Erdkruste wird glühend-zähflüssiges Magma mobilisiert und nimmt in Hohlfalten Platz...Die Grenze vom Tiefengestein zum Mantelgestein der ehemaligen Decke ist in Kulturstaaten häufig identisch mit der Grenze Wald/Feld.".

"Kleintektonik: Während die Tektonik die Lageveränderungen ganzer Landschaften betrifft, stellt sich die K. bereits innerhalb von Gesteinsstücken ein.".

In der letzten Auflage des Natursteinlexikons von 1986 wird das Seilsägeverfahren immer noch als ein Verfahren beschrieben, welches mit einem 300 - 400 m langen Drahtseil unter Zugabe von Quarzsand und Wasser schneidet, obwohl bereits zu Beginn der 80 er Jahre Seilsägen mit einem nur ca. 50 m langen Diamantseil in der Anwendung vorherrschten.

Hier sind also - wie schon bei den Statistiken von Naturwerksteinen - dringend Revisionen erforderlich. Ein Weg in diese Richtung ist die vom Steintechnischen Institut Mayen (IHK-Koblenz) seit einiger Zeit durchgeführte berufliche Weiterbildung [156]. Geplant sind auch Seminare zur Gewinnung von Naturwerksteinen.
Als positives Gegenbeispiel zu den zuletzt kritisierten Arbeiten ist hier der Bildatlas von GRIMM [84] mit petrographischen Beschreibungen von 200 ausgesuchten Naturwerksteinen der Bundesrepublik Deutschland zu nennen, der eine solide Basis für alle ähnlichen, weiterführenden Arbeiten auf diesem Gebiet bildet.

3.2 Stand der Bewertung und Erschließung

Recht problematisch steht es um die Art und Qualität von "Begutachtungen" der Naturwerkstein-Vorkommen. Sie erfolgen leichtfertigerweise immer noch nach den im Steine und Erden-Sektor üblichen Methoden für Massengüter;

- Anhand von Kernbohrungen wird die Gesamtmächtigkeit des Gesteins festgestellt.
- Das Volumenprodukt aus Mächtigkeit und Fläche der Lagerstätte wird - abgesehen von geringen Korrekturabschlägen - als "Vorrat" gerechnet.
- Diese Vorräte werden dem gewinnbaren und auch verwertbaren(!) Material gleichgesetzt.
- Nur selten errechnet man Vorratsmengen nach der Rohblockhöffigkeit.
- Falls Rohblockhöffigkeiten angegeben werden, so werden diese zu hoch angesetzt, da Block-Mindestmaße nicht berücksichtigt werden.
- Oft werden die erzielbaren Preise pro Kubikmeter nach Preisen für Gesteine angesetzt, die in unmittelbarer Nähe abgebaut werden, ohne dabei zu beachten, daß es sich um verschiedene Gesteinsarten und -qualitäten handelt, die sogar z. T. unterschiedliche Märkte haben.

Sowohl im Vorfeld der Lagerstättenerschließung als auch bei der Bewertung von in Betrieb befindlichen Naturwerksteinbrüchen muß dies zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Sind kleine Betriebe dem Konkurrenzdruck nicht gewachsen, müssen gelegentlich die Steinbrüche oder der gesamte Betrieb zum Verkauf angeboten werden. Bei Betriebseinstellung ist

eine Bewertung der Lagerstätten erforderlich. In diesem Falle stehen die Gutachter heute oft noch vor einem für sie beinahe unlösbaren Problem.

3.3 Stand der Abbauplanung und Gewinnung

Ein weiteres Problem betrifft die Planung und eine den geologischen Gegebenheiten angepaßte Durchführung des Abbaus.
Die Beobachtungen in zahlreichen Steinbrüchen führten zu der Erkenntnis, daß die Mehrzahl der Betriebe keine vorausschauende Abbauplanung durchführt. Die Gewinnung erfolgt nach rein qualitativen Merkmalen, sprich: "immer dem guten Gestein nach" und vielfach ohne System.
Nach längerer Zeit bzw. Jahren der Gewinnung können sich so für den Abbautreibenden überraschende Komplikationen herausstellen. Bei Gesteinen mit verschiedenen Varietäten ist es oft nicht möglich, diese gleichzeitig zu gewinnen und zu vermarkten.

Neben mangelnder technischer Abbauplanung können auch Material- bzw. Qualitätsunterschiede zu Problemen führen (vgl. a. Kapitel 9.3). Da von jeder Gesteinsvarietät auf viele Jahre eine gleichbleibende Qualität und Farbe bereit gestellt werden muß, ist es zum Teil unerläßlich, auf "schlecht ausbeutbare" Bereiche und Lagerstätten zurückzugreifen. Man kann nicht davon ausgehen, daß in naher Zukunft bei dem ansteigenden Bedarf an Naturwerksteinen nur Gesteine mit idealer Blockgrößenausbeute in wenig gestörten Verhältnissen abgebaut werden können. Auch Lagerstätten mit hohen Abraumüberlagerungen sind vermehrt auszubeuten. Manche Betriebe werden auch Abbau unter Tage vornehmen müssen. Bei zunehmendem Abbau in die Teufe treten Problem durch höheren Gebirgsdruck bzw. andersartige Gebirgsspannungen auf.

Auch bei der Auswahl der Gewinnungsverfahren werden oftmals Überlegungen versäumt, ob das Verfahren eine der Lagerstätte angemessene Ausnutzung erlaubt oder ob mit anderen Verfahren nicht höhere Rohblockmengen erzielt werden könnten, sobald Vorteile und Nachteile der spezifischen Lagerungsverhältnisse und Gesteinsarten ausreichend gegeneinander abgewogen worden sind. Die Auswahl der Gewinnungsverfahren erfolgt in der Praxis nicht selten in Anlehnung an benachbarte Betriebe, dabei wird in der Regel kein Vergleich von Kosten und Erlösen durchgeführt.
Als Beispiel für eine Gewinnung mit ungeeignetem Abbaugerät seien hier zwei durchaus vergleichbare Betriebe mit schräg lagernden Lagerklüften genannt:
- Der eine Betrieb gewinnt mit einem "einfachen" Reihenbohrgerät kostengünstig pro Monat durchschnittlich 350 m^3 an Naturwerkstein.
- Der andere Steinbruch mit vergleichbarem Material und ebenfalls schräg lagernden Klüften erbringt mit einem hydraulischen Reihenbohrgerät auf einem Raupenfahrzeug etwa die gleiche Menge, benötigt dafür jedoch ein volles Jahr!
Offensichtlich liegt der Grund in dem teuren Fahrzeug, das bei den vorliegenden morphologischen Bedingungen eine viel zu eingeschränkte Mobilität aufweist.

3.4 Offene Probleme

Im Rahmen der Untersuchungen stellten sich folgende wesentliche Probleme heraus:

- Der Anlage des Steinbruchs liegt selten eine längerfristige Abbauplanung zugrunde.
- Die Auswahl der Gewinnungsverfahren und Geräte erfolgt mehr nach Tradition oder Zufall als nach optimalen bergbaulichen und geologischen Erkenntnissen.
- Die Bewertung von Naturwerkstein-Brüchen ist meist nicht hinreichend auf die Belange von Werksteinen abgestellt.

Folglich ergaben sich hieraus alle miteinander verknüpften Schwerpunkte und Aufgaben dieser Arbeit, nämlich:

- Kriterien für eine längerfristige Abbauplanung zu erarbeiten. (Kapitel 9)
- Dem hat die Kenntnis und Berücksichtigung aller bergbaulichen Verfahren und Geräte vorauszugehen, die nach geologischen Gesichtspunkten abzustimmen sind. (Kapitel 7 und 8)
- Hierzu ist ein generelles Bewertungskriterium für Naturwerkstein-Vorkommen zu erarbeiten: zur Lösung latenter Probleme in laufenden Betrieben, zum Vergleich verschiedener Lagerstätten und für Aussagen über die Abbauwürdigkeit neuer Lagerstätten. (Kapitel 5 und 6)

Damit stößt man zunächst auf die Probleme der Exploration von Naturwerksteinen, die vor all den anderen Bereichen als ein gesonderter Komplex abzuhandeln sind. (Kapitel 4)

Zuvor sei noch, einerseits zur Vervollständigung, andererseits weil heutzutage vor jeder Exploration zwingend, kurz auf ein Problem verwiesen, welches sich akut als größte Hürde aller bergbaulichen, ja zunehmend aller industriellen Tätigkeit aufbaut:

Die größten Schwierigkeiten vor der Erschließung von Naturwerksteinlagerstätten liegen nach Aussagen der Betreiber nicht in den zu geringen Vorräten, sondern in den Genehmigungsverfahren. Die Äußerungen der Firmen hierzu klingen vielfach pessimistisch, da es nach ihren Angaben kaum noch möglich ist, eine Abbaugenehmigung zu bekommen, wenn das Gebiet nicht gerade in entsprechende Vorranggebiete fällt. Derartige Aussagen sind sicherlich nicht ganz unzutreffend, sollten aber etwas differenzierter betrachtet werden, da bei Richtigkeit dieser Angaben eigentlich kaum noch Gewinnungsbetriebe existieren dürften.
Nur wenige Betriebe sind in der günstigen Situation, über genügend genehmigte Reserveflächen (Privatbesitz) zu verfügen. Drastisch gestiegene Grundstückspreise (z. T. spekulativ überhöht) und die diversen Ansprüche an die Landschaft lassen den Erwerb neuer Flächen aber immer schwieriger und die Genehmigungsverfahren immer langwieriger werden [62], was vor allem mittelständische Betriebe eindeutig überfordert, die Tendenz zum auch bürokratisch leistungsfähigen Großbetrieb also fördert.
Bei Lagerstätten, die unter die Aufsicht der Bergämter fallen, ergibt sich der Vorteil, daß man es im wesentlichen nur mit einer (und zudem seit langen Jahren sachverständigen) Behörde zu tun hat.
Hinzu kommen immer mehr Schwierigkeiten durch (wie einer der Steinbruchbesitzer meinte) "emotional aufgeladene Reaktionen von selbsternannten Naturschützern". Von solchen Problemen ist ja nicht nur die Naturwerksteinindustrie, sondern die gesamte Steine und Erden-Industrie betroffen. Anzumerken sei hier aber, daß diese Ansicht durchaus nicht immer von der zuständigen Naturschutzbehörde geteilt wird.
Berücksichtigt werden sollte, daß die Ausdehnung eines Naturwerksteinbruchs mit einem durchschnittlichen Jahresausbringen von ca. 1.500 m^3 ($\approx$ 4.000 t) Material erheblich geringer ist als bei anderen Betrieben der Steine und Erden-Industrie. Dies sollte die betroffene Industrie der Öffentlichkeit stärker verdeutlichen.
Auf diese Probleme soll und kann im Rahmen dieser Arbeit aber nicht näher eingegangen werden.

4 Exploration von Naturwerksteinlagerstätten

Jede bergbauliche Tätigkeit beginnt mit der Exploration. Zunächst soll deren bisherige Methoden in der Naturwerkstein-Industrie untersucht werden. Anschließend wird eine generelle Empfehlung zur Exploration von Naturwerksteinvorkommen gegeben, die nach Möglichkeit alle bergbaulichen und geologischen Erkenntnisse umfaßt.

4.1 Derzeitige Methoden

Um einen Überblick über die derzeitig angewendeten Explorationsmethoden zu bekommen, wurden im Rahmen der Befahrung der Betriebe mündliche Befragungen durchgeführt und zusätzlich bei 25 zumeist großen Betrieben ergänzende Anfragen in schriftlicher Form gestellt. Die Antworten hierauf sollen nachfolgend kurz dargestellt werden.

4.1.1 Kriterien für die Auswahl untersuchungswürdiger Gebiete

Über zwei Drittel der befragten Betriebe gaben an, auf der Suche nach weiteren Naturwerksteinlagerstätten zu sein.

Für die Auswahl neuer Gebiete wurden nachstehende Kriterien angegeben (Zitate):
- Auswahl nach der geologischen Karte,
- geologisch gute Formationen sowie
- nach vorhandenen alten Steinbrüchen.

Weiterhin werden angegeben,
- Lagerung,
- möglichst hohe Mächtigkeit sowie
- generelle Eignung als Naturwerkstein, des weiteren
- Farbe,
- Strukturen,
- Körnung,
- Festigkeit und
- Haltbarkeit der angetroffenen Gesteine.

Für die Auswahl untersuchungswürdiger Bereiche geben die Firmen zumeist Gebiete an, die sich in unmittelbarer Nähe des derzeitigen Abbaugebietes befinden.

4.1.2 Erfassung von Abraum und Nutzgestein, gebräuchliche Methoden

Nur knapp die Hälfte der Betriebe erfaßt (nach eigenen Angaben) im Vorfeld des Abbaus die Größenordnung des anfallenden Abraums. Die Ermittlung von verwertbarem und nicht verwertbarem Material erfolgt zumeist während des Abbaus.

Die Betriebe, die Abraum und Nutzgestein im Vorfeld des Abbaus erfassen, geben hierfür folgende Methoden an:
- "Abschätzung nach Augenschein",
- "Betrachtung alter vorhandener Steinbrüche",
- "Erfahrung",
- "alte Erfahrungswerte",
- "harte Wasser",
- "Schätzung durch Probelöcher" u. a.

(Zitate aus schriftlicher Befragung).

Nur sehr wenige Betriebe machen Probeschürfungen z. B. mittels Radlader oder Kernbohrungen. Die wenigsten Betriebe bedienen sich bergbaulicher und geologischer Aussagen bzw. Gutachten oder der dafür üblichen Untersuchungsmethoden.

4.1.3 Kosten für die Untersuchung einer Lagerstätte

Die Kosten für die Untersuchung eines Naturwerksteinvorkommens schwanken nach Angabe der Betriebe pro Hektar zwischen DM 1.000 bis DM 200.000. Jedoch erscheinen diese Extremwerte wenig fundiert.
Große Probleme bereiten nach Auskunft der Betreiber die hohen Erschließungskosten, verbunden mit dem Risiko, daß das Gestein sich auf Grund der zu geringen Blockgröße zur Herstellung von Naturwerksteinen im Nachhinein als ungeeignet herausstellt.

4.1.4 Bewertung derzeitiger Methoden

Beispiele für die Exploration von neu angelegten Naturwerksteinbrüchen sind kaum anzuführen. Knapp ein Drittel der im Laufe der Untersuchungen befragten Betriebe ist derzeit nicht auf der Suche nach weiteren Lagerstätten, weil diesen Betrieben die Vorräte noch für einige Jahrzehnte ausreichend erscheinen. Es findet selten eine systematische Prospektion auf neue Lagerstätten statt. Da die meisten Steinbrüche in der Bundesrepublik schon seit alters her Familienbetriebe sind oder seit vielen Jahren traditionell abgebaut werden, hält man sich bei der Suche und Neuerschließung eines Steinbruchs an Gebiete, in denen schon aus der Bergbaugeschichte eine Naturwerksteinlagerstätte bekannt ist. Ausschlaggebend ist weiterhin, daß auf Grund von unmittelbar in der Nähe liegenden Steinbrüchen die Abraummächtigkeit ungefähr abgeschätzt werden kann. Oft noch wird der Abbau nach sichtbaren Qualitätsmerkmalen ("immer dem guten Stein nach") vorangetrieben, was sich aber später nicht unbedingt bezahlt macht. Die Betriebe tasten sich während des Abbaus von nutzbarem und von der Blockgröße her verwertbarem Material immer weiter voran, allerdings ohne eine gesicherte Abbaurichtung zu kennen. Dabei kann es natürlich nicht ausbleiben, daß mancherlei Überraschungen auftreten.

In der Naturwerksteinindustrie fehlt es bislang generell an der Bereitschaft, die Wissenschaft heranzuziehen. Die Naturwissenschaft wird in Deutschland noch nicht, wie dies in Italien schon vermehrt der Fall ist, als Hilfe für den Steinbruch gesehen, sondern immer noch als "reine Forschung". Dies zeigen die häufigen Reaktionen der Steinbrucharbeiter und Steinbruchbetreiber. Nicht zuletzt ist hier die Wissenschaft in entscheidendem Maße selbst schuld, weil bisher kaum Versuche unternommen wurden, bergbauliche und geologische Kenntnisse zu vermitteln und zum Nutzen dieser Industrie anzuwenden, oder die im Naturwerksteinbereich verbreitete Haltung "das haben wir schon immer so gemacht" auszumerzen bzw. zumindest abzuschwächen.

Schwierigkeiten bereitet den Betrieben generell die Beurteilung der geologischen Gegebenheiten, da ihnen aus den oberflächennahen Aufschlüssen die Abbauwürdigkeit nicht ersichtlich ist. Bohrungen und Probeschürfungen geben den Betrieben zwar einen Hinweis, ob Gestein anstehend ist, aber die Dimension der zu gewinnenden Blöcke ist derzeit erst ersichtlich, wenn eine größere Fläche von über 100 m^2 freigelegt ist.
Viele Betriebe führen Kernbohrungen zur Untersuchung der Lagerstätte durch. Oftmals werden die Bohrungen sogar zu dicht und fast alle aber nur in vertikaler Richtung abgeteuft. Dabei wäre es meist leicht möglich, zusätzliche Horizontal-Bohrungen zu stoßen, was dann zu aussagekräftigeren Ergebnissen führen würde.
Wenn sich nur wenige Betriebe eines geologischen Gutachters bedienen, so liegt es sicherlich mit daran, daß für Naturwerksteine erfahrene Gutachter fehlen. Auch war durch manche "Gutachten" noch lange nicht gewährleistet, zuverlässige Aussagen über das verwertbare

Material oder gar über die Zahl der Blöcke mit einer vorgegebenen Mindestgröße zu erhalten. Wie schon erwähnt, wurden dabei gravierende Fehler gemacht. Spätestens bei fortschreitendem Abbau wurde die Differenz zwischen Voraussage und tatsächlichen Gegebenheiten evident.
Um Mißverständnissen vorzubeugen, muß man aber anerkennen, daß die seit Jahrzehnten im Steinbruch tätigen Mitarbeiter eine enorme Erfahrung, ein Gespür und einen Blick für den "Stein" haben. Solche Erfahrung wird man sich schwerlich anderweitig aneignen können. Bei der Anlage von Steinbrüchen wird zuweilen aber der notwendige große Überblick vergessen. Je nach Gesteinsart, Lagerung und Gebirgsspannung sollte von Anfang an überlegt werden, wie und womit in 5, 10 oder 20 Jahren weiter sinnvoll abzubauen ist. Dadurch kann auch unvorhergesehener Kostenbelastung wie durch mehrmaliges Umlagern von Abraum, unnötiges Abpumpen von Wasser usw. vorgebeugt werden.

4.2 Orientierende Marktstudie

Parallel zur Exploration ist eine orientierende Marktstudie anzustellen. Bald nach ersten Funden vermarktungsfähiger Werksteine ist zu klären, ob für das betreffende Material eine hinreichende Nachfrage besteht, welche Farben und Varietäten vorhanden und welche davon in den nächsten Jahren sicher vermarktbar sind. Hierbei ist die Beständigkeit des Marktes zu untersuchen und festzustellen, ob das Gestein eventuell einem schnell wechselnden Modetrend - wie z. B. bei schwarzen Materialien - ausgesetzt ist. Andererseits ist fortlaufend bei der Exploration zu klären, ob die geplante Produktion durch gleichbleibende Qualität und Menge gesichert ist.
Während früher vorwiegend Marmor gefragt war, geht heute der Trend immer mehr zu Sandsteinen und vor allem zu Graniten. Dies hat nicht nur rein ästhetische, sondern auch zweckmäßige Gründe, wie Haltbarkeit, Kratzfestigkeit und Verwitterungsresistenz.
Im Rahmen der Marktstudie sind über den erzielbaren Marktpreis pro Kubikmeter Erlösabschätzungen anzustellen und Kostenrechnungen für die durchschnittliche Jahresförderung durchzuführen. Auch ist zu entscheiden, ob nur reine Gewinnung oder eine Weiterbearbeitung des Materials mit zusätzlicher Wertschöpfung stattfinden soll.

4.3 Geologische Kartierung und Abgrenzung des höffigen Gebietes

Die geologische Voruntersuchung läßt Rückschlüsse auf die Ergiebigkeit eines Gebietes zu. Der Umfang der Untersuchungen reicht von der Bewertung alter kleiner Lagerstätten bis hin zur großregionalen Ersterkundung von Hoffnungsgebieten.
Zur Abgrenzung eines höffigen Gebietes muß zunächst eine höffige Formation auf der Grundlage von (falls vorhanden) geologischen und topographischen Karten und Luftbildern detailliert auskartiert werden. Die für das Gebiet der Bundesrepublik fast flächendeckend zu erhaltenden geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 sind für Voruntersuchungen gut geeignet, für detaillierte Abgrenzungen aber nicht ausreichend. Die geologische Kartierung muß daher im Maßstab 1:10.000 oder besser 1:5.000 erfolgen. Luftbilder sollten mit herangezogen werden, wobei deren Informationsgehalt für einen so kleinen und begrenzten Bereich wie eine Naturwerksteinlagerstätte nicht überschätzt werden sollte. Satellitenbildauswertungen sind auf Grund der unzureichenden Auflösung für derartige Zwecke meist wenig brauchbar, können aber im Ausland bei Fehlen anderer Informationen im Einzelfall dennoch geprüft werden.

Im Rahmen der geologischen Aufnahme ist die Tektonik zu erfassen, auszuwerten und zu analysieren. Insbesondere die Raumstellungen der Schichtung oder Bankung und eine Gesamtmächtigkeit der nutzbaren Gesteine sowie Mächtigkeitsveränderungen sind wichtig. Bei den Trennflächen sind Erkenntnisse über ihre Fortsetzung bedeutend, weiterhin die Tatsache, ob es tektonisch, sedimentär, diagenetisch oder spätdiagenetisch angelegte Trennflächen sind.

Auch die Art der Kluftfüllungen sowie die Weite der Trennfugen ist aufzunehmen, da sich hieraus Konsequenzen für die Auswahl des Gewinnungsverfahren geben. Störungen und Störungszonen sind zu erfassen, bei Karbonatgesteinen ist das Auftreten und die Orientierung von Verkarstungserscheinungen zu klären.

Ausgehend von der geologischen Kartierung sind nun Bereiche mit möglichst guten Naturwerkstein-Dimensionen vorläufig abzugrenzen. Diese Bereiche sind intensiver hinsichtlich der Dichte und Raumstellung der Trennflächen zu untersuchen. So sollten Naturwerksteinlagerstätten möglichst nur drei Trennflächenscharen aufweisen, die zudem senkrecht zueinander stehen, d. h. als Ergebnis der Trennflächenanalyse sollten deutliche Einregelungen vorhanden sein und keine großen Streuungen auftreten.
Geeignet für die Darstellung der Raumlage der eingemessenen Klüfte sind Isoliniendiagramme im Schmidt'schen Netz. Da eine Auswertung für Fachfremde schwierig sein kann, sollte der Vorzug unter Umständen den übersichtlicheren Kluftrosendiagrammen gegeben werden (Abb. 15, Abb. 242). Diese zeigen die Streichrichtungen der Klüfte an, die Neigung der Kluftflächen ist hieraus nicht ersichtlich. Bei der Beurteilung der Lagerstätte mit Hilfe solcher Diagramme sind Vorkommen mit starker Einregelung als günstig anzusehen.
Die Darstellungen der Polpunkte der seigeren Trennflächen in den Isoliniendiagrammen (Abb. 7, Abb. 8) zeigen in den beiden hier vergleichend betrachteten Steinbrüchen erkennbare Regelungs-Unterschiede auf. Beide in der gleichen Region liegenden Steinbrüche dienen noch zur Werksteingewinnung, aber mit deutlich verschiedener Ausbeute an geeigneten Rohblöcken. So zeigt der Steinbruch von Sankt Egid (Abb. 7) eine schlechte und stark streuende Verteilung der Trennflächen, was zu stark schräg angeschnittenen Blöcken führt. Beim Steinbruch Erkertshofen (Abb. 8) liegen deutlichere Einregelungen der senkrecht zueinander stehenden, mit 020° und 110° streichenden Trennflächen vor. Dies ist eine besonders wichtige Bedingung für einen Naturwerksteinbruch, zumal wenn die Trennflächen nicht sehr weitständig sind.

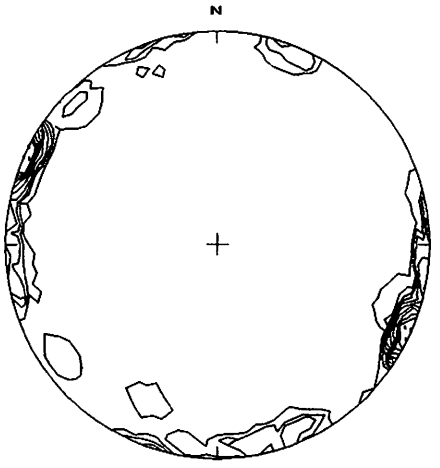


Abb. 7: Steinbruch Sankt Egid (Fränkische Alb). Darstellung der Kluftmessungen als Isoliniendiagramm im Schmidt'schen Netz. Das Diagramm zeigt die schlechte und diffuse Verteilung der Klüfte.

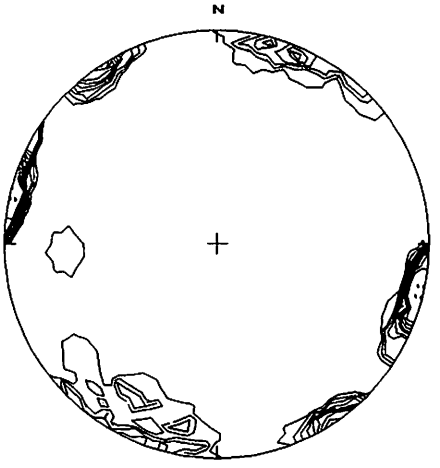


Abb. 8: Steinbruch Erkertshofen (Fränkische Alb). Darstellung der Kluftverteilung als Isoliniendiagramm im Schmidt'schen Netz. Deutliche Einregelung der Klüfte bei einem Streichen von 020° sowie 110°.

Treten verschiedene Gesteinsvarietäten auf, so sind diese bei der kartographischen Aufnahme genau abzugrenzen. Als Beispiel sei genannt, daß Granite mit grobkörnigem Gefüge im Normalfall ein relativ weitspanniges Kluftnetz besitzen, was zu enorm großen Blöcken mit Kantenlängen von über 10 m führen kann. Wechselnd körniges Gefüge kann also wechselnde Blockgrößen zur Folge haben. Auch unterschiedliche Farbvarietäten - soweit sie auskartierbar sind - sollten von vornherein erfaßt werden.

4.4 Untersuchung und Abgrenzung einer Lagerstätte

Die räumliche Erstreckung der Lagerstätte sollte soweit bekannt sein, daß durch Erwerb von Grundeigentum Vorräte auf längere Sicht gesichert werden können. Dies nicht nur, damit eine bestimmte Sorte an Naturwerkstein auch noch in 5 - 10 Jahren abbaubar und damit lieferfähig ist, sondern weil sich die Markteinführung neuer Naturwerksteine über zwei bis drei Jahre hinziehen kann. Insbesondere in dieser Phase ist eine gleichbleibende Qualität und auch Varietät unabdingbar. Vorausschauend sollte ein großes Areal erworben bzw. angepachtet werden, nicht zuletzt, um Platz für Abraum, Rampen, Versorgungseinrichtungen und Blocklager zu haben. Desgleichen ist es zweckmäßig, die Abbaugenehmigung gleich für einen möglichst langen Zeitraum zu beantragen.
Voraussetzung für eine sinnvolle Abgrenzung ist die Kenntnis der Lagerstätte, sind Informationen über die Ausbildung, die räumliche Lage und Erstreckung, über das Deckgebirge sowie die Teufe der Lagerstätte. In diesem Zusammenhang ist dem Grundwasserspiegel und den wasserführenden Klüften unbedingt Beachtung zu schenken. Ausdehnung und Mächtigkeit einer Lagerstätte erlauben nur Anhaltspunkte für die Obergrenze eines möglichen Vorrates. Es sollte eine als Werkstein sicher gewinnbare Mindestvorratsmenge von 30.000 - 50.000 m^3 anstehen.
Die Rohblockhöffigkeit und die mittlere zu gewinnende Blockdimension zu kennen ist notwendig, um festzustellen, für wieviele Jahre mit ausreichendem Vorrat ein und derselben Varietät zu rechnen ist und wie hoch die Mindestreserven sind. Für einen sinnvollen Abbau über Jahre ist ferner die Maximalmächtigkeit des Abraums zu ermitteln. Abraummächtigkeit sowie Art des Abraums können mit verschiedensten Methoden zu erfaßt werden, z. B. mit der Anlage von Schürfen, Bohrungen, Geoelektrik, Geomagnetik und Gravimetrie. Hierbei müssen eventuelle unbrauchbare Zwischenlagen, ihre Mächtigkeit und das Verhältnis von nicht brauchbarem Gestein zu Nutzgestein ermittelt werden. Auch petrographische Untersuchungen unterschiedlicher Bereiche sind hierzu erforderlich.
Eine generelle Angabe von Mindestmächtigkeiten für die Abbauwürdigkeit ist vorerst nicht möglich. Eine Gewinnung von nur wenige Meter mächtigen Gesteinen kann je nach Gesteinsart auch bei hohen Abraumanteilen durchaus rentabel sein kann.

Bei der Anlage des Steinbruches sind auch die Spannungsverhältnisse im Gestein nicht zu vernachlässigen. Treten irgendwelche Formen von Gebirgsspannungen auf oder Entlastungserscheinungen, so ist dies ist bei der Wahl des Gewinnungsverfahrens besonders zu beachten. Ausführlich wird hierauf in Kapitel 9.3.1 eingegangen.
Es muß sich nun eine Betriebsplanung anschließen, die das Verkehrsnetz und die Bearbeitungsstätte einbezieht. Zudem sollten spätestens zu diesem Zeitpunkt die notwendigen Genehmigungen beantragt werden.

Um die Wirtschaftlichkeit des Abbaus der Lagerstätte abzuschätzen, ist eine intensive Untersuchung und möglichst breit gestreute genaue Probenahme für die Beurteilung der Eignung als Werkstein notwendig. Bei der Befragung der Naturwerksteinindustrie nach ihren Methoden zur Untersuchung der Lagerstätte und zur Erfassung des Abraums wurden zwar Schürfe und Kernbohrungen erwähnt, von keiner Seite aber der Einsatz von geophysikalischen Meßmethoden.
Der Einsatz geophysikalischer Messungen kann bei einigen Gesteinen zur Abgrenzung von Nutzgestein und nicht verwertbarem Material und in vielen Fällen zur Erfassung der durchschnittlichen Abraummächtigkeit sehr nützlich sein, auch im Zusammenhang mit Schürfen und Bohrungen. Zudem sind geophysikalische Untersuchungen oft recht preiswert.
Im folgenden werden die für die Exploration von Naturwerksteinen in Frage kommenden Untersuchungsverfahren vorgestellt. Hierbei ist insbesondere der Frage nachzugehen, inwieweit geophysikalische Maßnahmen zur Trennflächenerfassung dienlich sind.

4.4.1 Schürfgräben

Das Anlegen von Schürfen ergibt eine augenscheinliche Bemusterung. Bei einigen Vorkommen ist eine Untersuchung der Lagerstätte mit Schürfen ausreichend, so daß auf kostenintensive Kernbohrungen verzichtet werden kann.
Schürfe geben zumeist auch Aufschluß über das am zweckmäßigsten einzusetzende Gewinnungsverfahren. Die Anlage von Schürfgräben kann Bohrungen aber nicht immer ersetzen. Wie dicht die Abstände der Gräben zu wählen sind, hängt von den jeweiligen geologischen Verhältnissen ab. Die Schürfgräben sollten nicht zu schmal sein, es sollte die Möglichkeit bestehen, Schürfgraben zu Probeaufschlüssen zu erweitern.

In Gebieten, in denen durch geologische Verhältnisse mit einer "Mauerwerksklüftung" (durchschlägige Klüftung) zu rechnen ist, ist die Abtragung der oberen Schicht und die Erfassung der Trennflächenabstände angebracht.

4.4.2 Kernbohrungen

Im Anschluß an eine geologische Kartierung, durch die die Lagerungsverhältnisse erfaßt wurden, sind Kernbohrungen erforderlich, um Probenmaterial zu ziehen und um Trennflächenabstände des Gebirges zu erfassen. Ein starres Bohrraster sollte vermieden werden. Vielmehr ist die Lage der Bohrungen nach Geometrie und Tektonik der Lagerstätte zu variieren.

In der Regel werden mehrere Bohrungen in die Teufe vorangetrieben; es werden also nur Lagerungsverhältnisse in die Tiefe und nicht in die Horizontale erfaßt. Das kann sowohl zu überhöhten als auch zu deutlich niedrigeren Aussagen über die Vorräte führen. Senkrecht zueinander stehende Bohrungen hingegen würden einen höheren Informationsgehalt bringen. Die Abb. 9 veranschaulicht, wie das Erfassen der Trennflächenabstände in einem Gesteinskörper von deren Richtung abhängig ist.

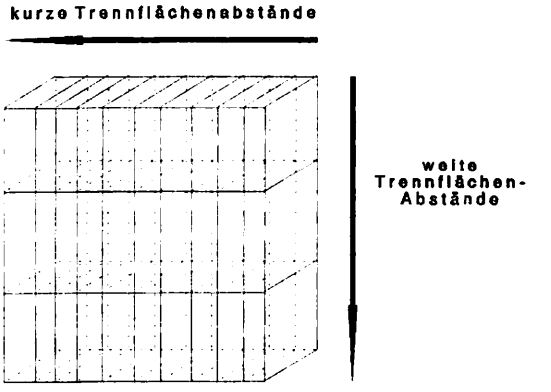


Abb. 9: Darstellung zur Lage der Trennflächenabstände in einem Gesteinskörper und der unterschiedlichen Erfassung dieser Abstände in Abhängigkeit von der Richtung.

Wenn die Gegebenheiten es zulassen, sollte man sogar Bohrungen in alle drei Raumrichtungen ansetzen. Horizontalbohrungen können heutzutage sehr präzise durchgeführt werden. Die Abweichungen liegen dabei in der Größenordnung von 3 - 5 % zur Gesamtbohrlänge, wobei 3 % durchaus eine gängige Abweichung ist und vertraglich festgelegt werden sollte, daß dieser Wert nicht überschritten wird. Der Kostenfaktor für Horizontalbohrungen liegt um ca. 40 % höher als für Vertikalbohrungen, was sich aber durch höhere Aussagesicherheiten bezahlt macht.

Bei der Auswahl des Bohrverfahrens empfehlen sich statt Einfach- Doppelkernrohre mit feststehendem Innenrohr, damit der Bohrkern so wenig wie möglich beansprucht wird. Schon aus Kostengründen sollte hier ein möglichst kleiner Durchmesser gewählt werden. Er sollte jedoch noch groß genug sein, um eine ausreichende Kernqualität zu sichern. Bohrlochdurchmesser von 146 mm sind für Erkundungsbohrungen gut geeignet (der Kerndurchmesser beim Seilkernverfahren mit einem Bohrlochdurchmesser von 146 mm beträgt 102 mm). Bei diesem Durchmesser ist ein zufriedenstellender Kerngewinn zu erzielen mit Kernen, an denen Laborversuche gut ausführbar sind. Zudem ist auf diesen Kerndurchmesser der rasche Gewinn von Bohrkernen mit dem Seilkernverfahren abgestimmt [67].

Für Naturwerksteine sollte bei Kernbohrungen ein Mindestausbringen von 80 % angestrebt werden. Anzuschließen ist eine detaillierte Kernaufnahme vor allem zur Feststellung der Trennflächenabstände. Die Tatsache, daß die Bohrkerne durch die Beanspruchung zumeist in ihre potentiellen Trennflächen zerlegt werden, kann hier von Vorteil sein, da der Zerlegungsgrad der Bohrkerne höher ist, als in einem Schurf oder natürlichen Anschnitt.
Die Kerne können dann zur weiteren Materialprüfung verwendet werden.

4.4.3 Geophysikalische Verfahren

4.4.3.1 Refraktionsseismik

Für den oberflächennahen Bereich können refraktionsseismische Messungen (Hammerschlagseismik, Fallgewichtsseismik) vorwiegend zur Ermittlung der Grenze zwischen Locker- und Festgestein dienen. Ihre Deutung kann jedoch für die Naturwerksteinexploration problematisch sein, wenn der Übergang vom Lockergestein zum Festgestein nicht scharf ist, sondern kontinuierlich verläuft und dadurch seismische Messungen schwer zu interpretieren sind.

4.4.3.2 Reflexionsseismik

Reflexionsseismische Messungen beruhen auf der Aufnahme und Auswertung elastischer Wellen, die an seismischen Grenzflächen reflektiert werden. Ihr Zustandekommen ist an die Voraussetzung geknüpft, daß sich die Schallhärten benachbarter Schichten voneinander unterscheiden. Je größer ihr Unterschied und je kleiner der Einfallswinkel ist, desto größer sind die Signalamplituden reflektierter Wellen [125].
Bei geringeren Nachweistiefen ist ein Erkennen und Trennen der Reflexionseinsätze infolge wenig markanter Laufzeitunterschiede schwierig [125]. Der Aufwand für die Durchführung und Auswertung reflexionsseismischer Messungen ist sehr hoch, und die Aussagekraft aus oben genannten Gründen für Naturwerksteinvorkommen nicht ausreichend.

4.4.3.3 Geomagnetik

Geomagnetische Verfahren können bei unterschiedlichen Suszeptibilitätswerten sinnvoll sein, wenn die Abgrenzung zum Nebengestein oder auch Unterschiede im Gestein selbst erfaßt werden sollen. So haben basische Gesteine höhere Suszeptibilitätswerte als saure Gesteine. In Jugoslawien wurde z. B. Geomagnetik zur Erkundung einer Trachytlagerstätte angewandt. Dabei machte man sich die Tatsache der Veränderung der Suszeptibilität durch postvulkanische Prozesse zunutze [118].
So weist ein frischer Trachyt Suszeptibilitätswerte von $5 \cdot 10^{-5}$ $\varkappa$ - $5 \cdot 10^{-4}$ $\varkappa$ auf. Ein propylisierter Trachyt weist im Vergleich zum frischen Trachyt schon geringere Suszeptibilitätswerte auf. Bei einem zersetzten Trachyt liegen diese Werte deutlich niedriger, im Bereich von $3 \cdot 10^{-6}$ $\varkappa$ [118]. Folglich ist bei der geplanten Erweiterung einer Trachytlagerstätte sicherlich der Einsatz von Geomagnetik in Betracht zu ziehen. In diesem Fall ist im Vorfeld anhand von Proben zu überprüfen, ob sich die Suszeptibilität eines frischen und eines zersetzten Trachyts in diesem Gebiet deutlich unterscheidet und das Verfahren damit zur sinnvollen Anwendung kommen kann.
Auch Basaltlaven unterschiedlicher Dichte haben oft verschiedenes magnetisches Verhalten, was dann im Einzelfall durch Bohrungen abzusichern ist.

4.4.3.4 Gravimetrie

Mit Hilfe der Gravimetrie können beispielsweise bei Basaltlava Verwitterungsmächtigkeiten über Naturwerksteinlagerstätten abgeschätzt werden, da hier Kernbohrungen, insbesondere bei säulenförmiger Absonderung, wenige Informationen über die Kluftkörper geben können. Die Verwitterungsprodukte des Basalts weisen eine deutlich geringere Dichte (ca. 0,5 g/cm^3 weniger) auf als poröser Basalt selbst (2,5 g/cm^3). Eine mehrere Meter mächtige Verwitterungsschicht würde damit eine deutliche Schwereanomalie hervorrufen [21]. Bei dieser Methode besteht aber die Gefahr, daß durch Materialunterschiede (dichter neben porösem leichtem Basalt) eine zu große Abraummächtigkeit vorgetäuscht wird. Hier müßten dann an geeigneten Stellen zusätzlich Bohrungen niedergebracht werden [21].

4.4.3.5 Geoelektrik

Eine der zur Zeit hilfreichsten geophysikalischen Untersuchungsmethoden im Naturwerksteinbereich ist die Geoelektrik.
Sinnvoll kann die Widerstandsmessung bei ausreichendem Widerstandskontrast (Lockergestein zu Festgestein) zur Mächtigkeitsbestimmung der Lockergesteinbedeckung sein.
Nach einer gründlichen geologischen Untersuchung des Gebietes können Widerstandsmessungen nach der Vierpunkt-Methode einen wichtigen Anhalt für die Abraummächtigkeit geben. Die Kosten der Widerstandsmessung für einen Tag liegen bei ca. DM 1.800,- (was für die Messung bei einer Naturwerksteinlagerstätte ausreichend ist). Als Elektroden-Entfernung genügen meist maximale Entfernungen von 250 m. Dies entspricht einer Eindringteufe von ca. 100 m.
Bei einem angemessen dichten Raster, welches im jeweiligen Fall mit dem Geologen festzulegen ist, können die Abraummächtigkeiten mit geringerem Kostenaufwand als mit Bohrungen festgestellt werden. Für den gleichen Kostenaufwand sind vergleichsweise nur 5 - 10 m Kernbohrung durchführbar.
Insbesondere in Gebieten mit Verkarstungserscheinungen ergeben sich durch Widerstandsmessungen gute durchschnittliche Abraumwerte, da bei entsprechendem Raster - möglichst im rechten Winkel zur Hauptverkarstungsrichtung - Abraummächtigkeiten der Karstschlotten mit erfaßt werden. Beim Erfassen der Abraummächtigkeiten allein durch Bohrungen ist nicht immer zu erkennen, ob man in einer Schlotte steht oder nicht. Lehmerfüllte Schlotten können mit geophysikalischen Verfahren hingegen auf Grund ihrer Dichteunterschiede erfaßt werden.

Beispielsweise hat man bei der Erkundung eines Massenkalksteinbruchs in der Fränkischen Alb, der oberflächennah durch vorwiegend N-S verlaufende Schlotten durchzogen ist, nur Kernbohrungen abgeteuft. Zwar hätte ein vorher angelegter Schürfgraben in E-W Richtung, senkrecht zum Streichen der Schlotten angelegt, zu weitergehenden Ergebnissen geführt, aber eine deutliche Verbesserung des Explorationsergebnisses wäre schon erreicht worden durch eine geoelektrische Erkundung senkrecht zu den Verkarstungsrichtungen.

Geophysikalische Messungen können allerdings keine Aussage über die Kompaktheit des Nutzgesteins liefern. So ist es bei sandig-steinigem Einsturzmaterial in Korrosionsschloten auf Grund der geringen gesteinsphysikalischen Unterschiede von anstehendem Sandstein und sandig-steinigem Einsturzmaterial oft nicht möglich, diese geophysikalisch auszukartieren (vgl. [95]:137); hier sind wieder genaue Spezialkartierungen und Bohrungen überlegen.

4.4.3.6 Ultraschallmessungen

Viele Ultraschalluntersuchungen an Gesteinen befassen sich mit ihrer Porosität. Weiterhin sind Laboruntersuchungen zum Feststellen von Rißstrukturen bekannt. Bei Proben, die Druckbelastungen ausgesetzt werden [18], setzt man Ultraschall ein, der die Probe durchstrahlt und einsetzende Risse durch Veränderung der Amplitude anzeigt.

Durch Ultraschallmessungen kann auch die Gesteinsfestigkeit im Feld bestimmt werden [45]. Voraussetzung hierfür sind typische Einzelstücke; ein Einsatz an der Bruchwand ist derzeit nicht möglich. Das gilt auch für die Bestimmung der Spaltdichte an Gesteinsproben [174]. Ultraschallmessungen sind auch zur Ermittlung von Auflockerungszonen geeignet. Diese können mittels Durchschallung von einem Bohrloch zur Oberfläche, ebenso durch direkte Reflexionsdurchschallung von der Oberfläche her erfaßt werden. Man kann so die Tiefe der Auflockerungszone ermitteln [99]. Für die hier benötigten Zwecke ist die Genauigkeit aber meist noch nicht ausreichend.
Generell gilt, daß zur Messung eine sehr gute Auflagefläche für den Sensor vorhanden sein muß, um verwertbare Ergebnisse zu bekommen. Voraussetzung hierfür wäre eine glatte Bruchwand, wie sie z. B. mit einer Diamantseilsäge herstellt wird. Einsatzmöglichkeiten werden also zukünftig stärker in schon betriebenen Steinbrüchen gesehen.

4.4.3.7 Elektromagnetische Reflexionsmessungen (Radar)

Der zusätzliche Einsatz von elektromagnetischen Reflexionsmessungen (Radar) würde bei der Erkundung der Lagerstätte nur einen minimalen Aufwand an Bohrungen erfordern. Die heute zur Verfügung stehenden Radargeräte eignen sich zum Nachweis von Leitfähigkeitsveränderungen. Radarsysteme kommen derzeit im Salzbergbau [170] oder auch in einem unterirdischen Testlabor im Granitmassiv des Grimsel/Schweiz (hier aber zur Lokalisierung von Diskontinuitäten im Dezimeterbereich) zum Einsatz. Die Schwierigkeiten der derzeitigen Radarsysteme liegen darin, daß sie für hier benötigte Zwecke, nämlich die Erfassung von Trennflächen, eine sehr hohe Auflösung im Dezizentimeterbereich aufweisen müßten. Da bisher nicht bekannt ist, ob die derzeit erreichbaren Auflösungen hierfür ausreichen und verwertbare Ergebnisse liefern können, wurde versucht, dies abzuklären. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Untersuchung mit elektromagnetischen Reflexionsmessungen zur Erfassung von Trennflächen in Naturwerksteinbrüchen durchgeführt, worauf näher in Kapitel 5.4 eingegangen wird.

4.4.4 Technische Prüfung

Da schon nach den ersten Erkundungen eines Vorkommens zu entscheiden ist, inwieweit eine weitere Untersuchung lohnt, sind die Materialeigenschaften baldigst zu untersuchen. Das Gesteinsmaterial muß durch Prüfverfahren auf seine Eignung hin getestet werden. Durch Materialprüfanstalten sollten technische Prüfzeugnisse ausgestellt werden, die die spätere Verwendung des Gesteins berücksichtigen. Ist z. B. die technische Verwendbarkeit als Fassadenplatte gefordert, so muß die Ausbruchfestigkeit und zugleich das Verwitterungsverhalten geprüft werden. Soll das Material für Fußböden geeignet sein, so muß die Abriebfestigkeit, Schlagfestigkeit und sogar Polierfähigkeit geprüft werden. Gleichzeitig sollte eine erste versuchsweise Bearbeitung des Materials erfolgen. Dies ist nicht zuletzt notwendig, um potentiellen Kunden einen ersten Eindruck des neuen Gesteins zu vermitteln.

4.4.4.1 Probenahme

Eine erste Beprobung (sie ist in der DIN-Norm 52 101 geregelt) sollte erfolgen, wenn ein größerer Vorrat an Naturwerksteinen wahrscheinlich gemacht wurde.

Die Probenahme von Naturwerksteinen kann entscheidend für die Ergebnisse der technischen Prüfung sein. So ist es wesentlich, wo im Gesteinskörper die Probe entnommen wird und wie alt diese ist. Da die Druckfestigkeit von Gesteinsproben nach längerer Verweildauer leicht ansteigen kann, ist darauf zu achten, daß die Untersuchung an bergfrischem Material erfolgt. Weiterhin ist sicherzustellen, daß durch die Probenahme die gesamte Lagerstätte repräsentiert

Untersuchungsart	vorgesehene Verwendungen				
	Hochbau allgemein	Monu-mental-bau	Brücken-bau	Bordsteine	Gehweg-platten, Treppen-stufen
Gewinnungsstätte, Probenahme	+	+	+	+	+
Erhebg. a. Bauwerken	E	E	(E)	(E)	(E)
Petrographie	K+	K+	K+	K+	K+
Chemische Untersg.			(E)		
Gew.-, Porenverhältn.	E	E	E	E	E
Wasseraufnahme	+	+	+	+	+
Frostbeständigkeit	+	+	+	+	+
Druckfestigkeit	K+	K+	K+	K+	(E)
Biegezugfestigkeit	(+)	(+)	(+)		K+
Schleifabnutzung				+	+
Säurebeständigkeit			(+)		
Wasserdurchlässigkeit	(E)	(E)			
Kapillare Steighöhe	(E)	(E)	(E)		
Form u. Abmessung	+	+	+	+	+
Griffigkeit				+	+

Tab. 8: Umfang der Prüfungen je nach Verwendung. + = notwendig, (+) = bedingt notwendig, E = erwünscht, (E) = i. bes. Fällen erwünscht, K = für Kontrollzwecke laufender Lieferungen geeignet [54].

wird.
Die Anforderungen an die Größen der Prüfkörper sind unterschiedlich, sie richten sich nach der Art der Prüfung und dem Gefüge des Gesteins. So werden beispielsweise für Druckversuche an feinkörnigen Gesteinen Würfel mit Kantenlängen von mindestens 5 cm, an grobkörnigen aber achtmal so große Prüfkörper benötigt (vgl. [110]).

4.4.4.2 Prüfverfahren

Die Annahme, daß die Klassifikation von Gesteinen auf Grund ihrer chemisch-mineralogischen Zusammensetzung zwar für die Naturwissenschaft sinnvoll ist, nicht aber für die Naturwerksteinbearbeitung, ist immer noch verbreitet. Die physikalischen und technischen Eigenschaften eines jeden Gesteins sind aber abhängig von seiner Zusammensetzung und Entstehung. Daher sollten alle Gesteinsvarietäten der Lagerstätte petrographisch untersucht werden. Wichtige Kriterien sind hierbei der Mineralgehalt, die Korngrößen und der Gehalt an kritischen Mineralen wie Tonminerale, Nephelin, Sodalith und Pyrit (verursacht häufig unschöne Rostflecke). Von

Gestein	Rohdichte g/cm³	Reindichte g/cm³	Wasseraufnahme Gew. %	Druckfestigkeit N/mm²	Biegezugfestigkeit N/mm²	Schlf.-abntz. auf 50 cm² in cm³
Magmatit						
Granit, Syenit	2,60-2,80	2,62-2,85	0,2-0,5	160-240	10-20	5-8
Diorit, Gabbro	2,80-3,00	2,85-3,05	0,2-0,4	170-300	10-22	5-8
Rhyolith, Andesit	2,55-2,80	2,58-2,83	0,2-0,7	180-300	15-20	5-8
Basaltlava	2,20-2,35	3,00-3,15	4-10	80-150	8-12	12-15
Diabas	2,80-2,90	2,85-2,95	0,1-0,4	180-250	15-25	5-8
Tuffstein	1,80-2,00	2,62-2,75	6-15	20-30	2-6	-
Sedimentgestein						
Grauwacke	2,60-2,65	2,64-2,68	0,2-0,5	150-300	13-15	7-8
quarzit. Sandst.	2,60-2,65	2,64-2,68	0,2-0,5	120-200	12-20	7-8
sonst. Quarzsst.	2,00-2,65	2,64-2,72	0,2-9	30-180	3-15	10-14
dicht.Kalk,Dolomit	2,65-2,85	2,70-2,90	0,2-0,6	80-180	6-15	15-40
sonst. Kalkgest.	1,70-2,60	2,70-2,74	0,2-10	20-90	5-8	-
Travertin	2,40-2,50	2,69-2,72	2-5	20-60	4-10	-
Metamorphit						
Gneis, Granulit	2,65-3,00	2,67-3,05	0,1-0,6	160-280	-	4-10
Amphibolit	2,70-3,10	2,75-3,15	0,1-0,4	170-280	-	6-12
Serpentinit	2,60-2,75	2,62-2,78	0,1-0,7	140-250	-	8-18
Dachschiefer	2,70-2,80	2,82-2,90	0,5-0,6	-	50-80	-

Tab. 9: Mittlere Häufigkeitswerte als Richtzahlen für die Bewertung von Naturstein [54] (Schlf.-abntz. = Schleifabnutzung).

Bedeutung ist, ob das Bindemittel in Sandsteinen calcitisch oder kieselig ist. Weitere wichtige Kriterien sind der Bruch, die Härte, Spaltbarkeit, Porosität sowie das Verhalten gegen Verwitterung, Rauchgase und Abnutzung, Stoß und Abrieb und Wasseraufnahme.

Die technische Prüfung von Naturwerksteinen ist in den DIN-Normen 52 100 bis 52 112 geregelt. Diese umfassen:

DIN 52100: Richtlinien für Prüfung und Auswahl von Natursteinen.
DIN 52102: Bestimmung der Rohdichte und Reindichte.
DIN 52103: Bestimmung der Wasseraufnahme.
DIN 52104: Frostwechselversuch.

DIN 52105: Druckversuch.
DIN 52106: Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit.
DIN 52108: Verschleißprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme; Schleifscheiben-Verfahren.
DIN 52112: Biegefestigkeit.

Weiterhin kommen die folgenden von der Bayerischen Landesgewerbeanstalt für Naturwerksteine entwickelten Prüfverfahren zur Anwendung:

LGA-Bayer. Prüfung von Naturwerkstein auf Ausbruchfestigkeit am Ankerdornloch in Fassadenplatten (Prüfordnung vom Deutschen Naturwerksteinverband).
Frost- u. Tausalzwiderstand - Salzaufstreuverfahren.

In Tab. 8 sind, je nach Verwendungszweck, die notwendigen Prüfungen für die wichtigsten Naturwerksteinarten aufgeführt. Für Fassadenplatten sind zudem Prüfungen zur Ausbruchfestigkeit am Ankerdornloch und für Pflastersteine Prüfungen zur Schlagfestigkeit notwendig.
In letzter Zeit wurden auch Langzeituntersuchungen zur UV-Beständigkeit gefordert [92], wobei fraglich ist, ob eine solche Untersuchung sinnvoll ist. Eventuelle Auswirkungen werden sich sicherlich erst innerhalb geologischer Zeiträume bemerkbar machen.
Die wichtigsten Richtzahlen für die Bewertung von Natursteinen nach DIN 52 100 sind in Tab. 9 dargestellt.
Die Kosten der Prüfverfahren sind sehr verschieden, sie liegen derzeit zwischen 125,- DM für die Bestimmung der Rohdichte und bis zu 1.500,- DM für das Frost-Tausalzwiderstand - Salzaufstreuverfahren [109].

4.4.5 Abbauplanung

An die Erkundung der Lagerstätte mit Vorrats- und Abraumermittlung und einer eingehenden Bedarfs- und Rentabilitätsanalyse sollte sich die Abbauplanung anschließen, unter Berücksichtigung ausreichend groß bemessener Betriebsflächen und der zu erwartenden Rekultivierungsauflagen.
Die Belastung der Umwelt bei der Naturwerksteingewinnung muß so gering wie möglich gehalten werden. Vermieden werden sollte die Verschwendung von mineralischen Rohstoffen bzw. die Gewinnung mit hohem Verlust bei uneffektiver Ausnutzung einer Lagerstätte. Dies fordert insbesondere die Naturschutzgesetzgebung.
Wesentlicher Bestandteil der Abbauplanung ist die Ermittlung des für die spezifischen Verhältnisse geeigneten Gewinnungsverfahrens. Wenn die Umstände es zulassen, sollte die Abbauplanung nach einem ersten versuchsweisen Abbau erfolgen bzw. erneut angepaßt werden. Wie schon erwähnt, ist vorweg aber die Vorratsermittlung der Lagerstätte wichtig, ehe auf die Auswahl der geeigneten Gewinnungsverfahren eingegangen wird. Weitere Details zur Abbauplanung folgen in Kapitel 9.

5 Vorratsermittlung von Naturwerksteinlagerstätten

Bei Naturwerksteinlagerstätten stellen sich die gängigen Verfahren zur Vorratsermittlung immer wieder als unbefriedigend heraus.

Die für Massenrohstoffe gültige, aber unglücklicherweise auch für den Naturwerksteinbereich übernommene Verfahrensweise der Vorratsberechnung nach der Faustformel:

$$Vorrat = (\ Lagerstättenfläche \cdot Mächtigkeit\ ) - Abbauverluste$$

ist für Naturwerksteinlagerstätten nicht ausreichend.

Hier kommt es darauf an, wieviel für die Weiterverarbeitung bzw. den Verkauf geforderte Rohblöcke gewonnen werden können, d. h. auf die Rohblockhöffigkeit. Bewertungsmethoden, welche die Rohblockhöffigkeit für Naturwerksteinlagerstätten berücksichtigen, fehlten jedoch bisher. In diesem Kapitel sollen daher speziell dafür entwickelte Ansätze vorgestellt werden.

Für das Bewerten einer Lagerstätte ist die Kenntnis wichtiger Rahmenbedingungen wie Zugänglichkeit, Genehmungsfähigkeit, technische Gewinnbarkeit, Abraummächtigkeit und -beseitigung usw., außer Art und Qualität des Bodenschatzes, unerläßlich. Die Ermittlung der zu gewinnenden Produktmenge ist jedoch die wichtigste Voraussetzung.
Normalerweise ergibt das Produkt von Fläche und Mächtigkeit die potentielle Vorratsmenge eines Vorkommens. Für eine Naturwerkstein-Lagerstätte ist entscheidend, wieviel davon als Roh-Werkstein gewonnen werden kann, in einer Qualität, wie sie vom Abnehmer verlangt wird. Bislang gibt es für den so verwertbaren Anteil nur Abschätzungen, aber keine von geologischen Befunden ausgehende Berechnungsmethode. Eine solche zu erarbeiten, stellte sich nun als vordringliche Aufgabe dieser Arbeit.
Nachfolgend wird über eine "Mindestblockgröße" ein Rechenansatz abgeleitet.

5.1 Mindestblockgröße

Die entscheidenden Bewertungskriterien für ein Produkt leiten sich von den Hauptanforderungen des Marktes ab. Für Naturwerksteine ist die nachfolgende Bearbeitung wesentlich und bestimmend für die Mindestgröße des Rohblocks, im übrigen auch für seinen Preis.

In einer Lagerstätte bestimmen die Abstände sowie Richtungen der natürlichen Trennflächen sowohl das Volumen als auch die Maße des Blockes. Diese bestimmen somit, ob hinreichende Blockgrößen gewonnen werden bzw. wieviel des Gesteinskörpers als Material mit der geforderten Blockdimension gewonnen werden kann.

Man könnte nun für die Nutzung einer bestimmten Lagerstätte jeweils eine ganz spezifische Anforderung stellen - also auch hinsichtlich der Blockgröße. Es hat sich jedoch gezeigt, daß es für die meisten Naturwerkstein-Lagerstätten einheitliche Mindestanforderungen gibt:

die häufigste Art der Weiterverarbeitung in Sägereien mit Sägegattern bestimmt
das Mindest-Rohblock**volumen** und eine Mindest-Block**dimensionierung**.

Die Befahrung einer großen Zahl im Abbau befindlicher Werksteinbrüche, von stillgelegten Brüchen und von Sägereibetrieben ergab folgende Mindestanforderungen für einen rentablen Betrieb:

- die Blockdicke muß mindestens bei 0,4 m liegen,
- das Blockvolumen selbst bei ca. 0,5 m^3.

Die Sägewerke verlangen generell einen Block, der hochkant in Sägegattern noch kippstabil aufstellbar ist. Die Untergrenze für die Block-Dicke ist daher bei 0,4 m anzusetzen, da geringere Werte die Kippstabilität des Blockes nicht mehr gewährleisten. Dies ist übrigens ein Wert, der beim Jura-Kalkstein in der Fränkischen Alb durch die vorliegende Schichtmächtigkeit gerade noch als Blockdicke beim Abbau erzielt werden kann.

Blöcke mit dreimal 0,4 m Kantenlänge würden allerdings nur 0,064 m^3 ergeben; das ist etwa ein Zehntel des von dem Kunden eigentlich verlangten Volumens.
Das Mindestvolumen von 0,5 m^3 (vgl. Kapitel 2.4) ergibt sich nahezu, wenn außer der oben festgelegten Dicke die Länge und Breite je einen Meter betragen:

$$\geq 0{,}4\ m \cdot \geq 1{,}0\ m \cdot \geq 1{,}0 \overset{\lim}{\rightarrow} 0{,}5\ m^3$$

Demgemäß wird dies für den nachfolgenden Teil der Arbeit als

"**Mindestblock**" definiert:
Mindest-Länge von 1,0 m,
Mindest-Breite von 1,0 m,
Mindest-Dicke von 0,4 m (Abb. 10).

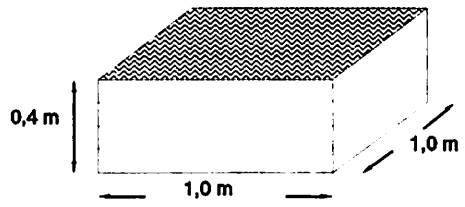


Abb. 10: Mindestblock mit den Maßen von 1,0 · 1,0 · 0,4 m = 0.4 m^3.

Eine Begrenzung nach oben soll nicht erfolgen. Bei anderen Bedürfnissen ist es durchaus möglich, je nach Wünschen die Parameter des "Mindestblocks" zu verändern, z. B. wenn lediglich Gartenplatten oder Steine für Trockenmauern gewonnen werden sollen.

Die "Mindestblockgröße" ist nach einer Dimension bestimmt durch die Schicht- bzw. Bankhöhe - in den anderen Richtungen durch die "Zerlegung" der Lagerstätte, also insgesamt durch deren tektonische Trennflächen, die Klüftung. Folglich müssen (bei söhliger Lagerung) die Abstände zwischen den horizontalen Trennflächen mindestens 0,4 m betragen. Die die Blocklänge und -breite bestimmenden vertikalen Trennflächen sollten ≥ 1,0 m voneinander liegen.

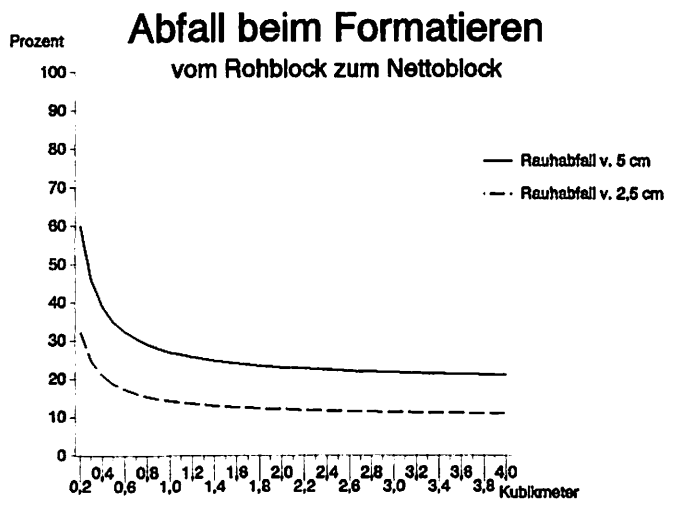


Abb. 11: Abfall (in %), der beim Formatieren vom Rohblock zum Nettoblock anfällt. Der Abfallanteil (Rauhabfall an jeder Außenfläche) verläuft potentiell und nimmt somit bei kleinen Volumina extrem zu.

Die Notwendigkeit für einen derartigen Mindestblock ergibt sich gemäß den oben (Kapitel 2.4) aufgezeigten Gründen schon bei der Formatierung der Rohlinge. Aus Tab. 3 ergibt sich, daß durch das bei kleineren Körpern zunehmend ungünstige Verhältnis von Oberfläche zu Volumen die Weiterverarbeitung unwirtschaftlich zu werden droht (extremes Ansteigen des Rauhkantenabfalls unterhalb 0,4 m^3). Der Rauhabfall an jeder Außenfläche ist aber auch in erheblichem Maße von dem Gewinnungsverfahren abhängig, worauf in Kapitel 8.3 noch näher eingegangen wird.

Nach Errechnung der Abfälle bei der Formatierung für Rohblockvolumen von 0,2 - 4 m^3 (bei Annahme eines Rauhabfalls von 0,025 m sowie 0,05 m) ergibt sich je Rauhabfall eine Potenzkurve ($y = a \cdot x^b$), wie sie in dem Diagramm der Abb. 11 dargestellt ist. Der Abfallanteil, der bei größeren Blöcken hingenommen werden muß, ist graduell; er steigt bereits bei Blockgrößen < 1 m^3 merklich an, um dann schließlich < 0,4 m^3 extrem zuzunehmen.

Kennt man die Trennflächenabstände, kann man nun auf der Grundlage des Mindestblocks versuchen, eine einheitliche Methode zu entwickeln, mit deren Hilfe man Aussagen über die Ergiebigkeit des Vorkommens erhalten kann, also über die zu erwartenden Blockgrößen bzw. den Anteil gewinnbarer Blöcke mit vorgegebener Mindestgröße.
Zunächst ist daher auf die zu erfassenden Trennflächen einzugehen.

5.2 Natürliche Trennflächen als Maß für erreichbare Blockgrößen

Trennflächen sind für die Gewinnung von Naturwerksteinen erwünscht, soweit es sich um ein weitständiges Trennflächengefüge handelt. Zwischen den Trennflächen ist die homogene Ausbildung des Materials von erstrangiger Bedeutung. Da es bei der Naturwerksteingewinnung auf möglichst großvolumige Blöcke ankommt, ist eine Gewinnungsstätte mit wenigen Raumstellungen der Trennflächen auszuwählen. Drei senkrecht zueinander stehende Trennflächenscharen sind eine günstige Voraussetzung für das Gewinnen von Rohblöcken. Sind zusätzlich noch weitere Trennflächenscharen ausgebildet oder sind die drei o. g. unregelmäßig verlaufend, ist die Eignung des Gesteinskörpers für die Anlage eines Naturwerksteinbruches in den wenigsten Fällen gegeben und eher die Gewinnung von Massenrohstoffen (Brechprodukte wie Schotter u. dgl.) in Erwägung zu ziehen.

Die Trennflächendichte wird von der regionalen tektonischen Beanspruchung mitbestimmt. Bei ihrer Erfassung werden alle Trennflächen gleichermaßen erfaßt. Auch die Öffnungsweite wird nicht berücksichtigt.
Die Spaltbarkeiten und Teilbarkeiten können in der Gewinnung ausgenutzt werden. Eingemessen werden demnach je nach Gesteinsart alle horizontalen bzw. flachen Trennflächen (meist Schichtfugen, Bankungsklüfte bzw. Lagerklüfte) sowie alle geneigten bis seiger stehenden Trennflächen (z. B. Längsklüfte, Querklüfte, Diagonalklüfte und Störungen).

Weiterhin mit einbezogen werden:
- Haarrisse:
  Haarrisse sind jedoch bei der Bearbeitung nicht erwünscht und müssen daher bei der Erfassung ebenfalls bedacht werden. Oft werden Haarrisse nur nach Benetzen mit Wasser sichtbar, andere treten nach dem Sägen auf einer glatten Fläche in Erscheinung. Das Erkennen von kleinen Haarrissen, soweit dies überhaupt möglich ist, erfordert eine gewisse Einarbeitungszeit.
- größere Calcit- oder Quarzadern:
  es sind auch verheilte Adern zu berücksichtigen. In manchen Fällen können diese zwar während der Bearbeitung durchaus heil bleiben, wie z. B. oft im Jura-Kalkstein, aber oftmals werden (z. B. im Kalkstein von Anröchte) bei den gewonnenen Blöcken existierende verheilte Klüfte bei der Weiterbearbeitung wieder geöffnet. Diese Adern können also später eine mögliche Schwachstelle im Gestein bilden.

Berücksichtigt werden also alle latenten und potentiellen Trennflächen (Spaltbarkeiten, Teilbarkeiten), die nicht nur beim Abbau hilfreich sein, sondern bei der Bearbeitung auch Schwierigkeiten bereiten können. Das heißt, zu erfassen sind alle Schwächezonen, die sich bei der weiteren Bearbeitung bzw. stärkerer Belastung mit hoher Wahrscheinlichkeit öffnen werden.

5.3 Meßmethode

Zur Messung ausgewählt wurden nur die bauwürdigen Partien bzw. Mächtigkeiten. Aus meßtechnischen Gründen werden nur Trennflächenabstände berücksichtigt, die ≥ 0,1 m sind.
Gemessen werden die Trennflächenabstände entlang drei senkrecht zueinander stehender Hauptrichtungen. Es sind also immer zwei, möglichst senkrecht aufeinander stehende Bruchwände (Aufschlußwände) für die Messungen erforderlich. Ersatzweise kann auch in günstigen Fällen die Bruchsohle herangezogen werden (siehe auch Abb. 12 und Abb. 230).

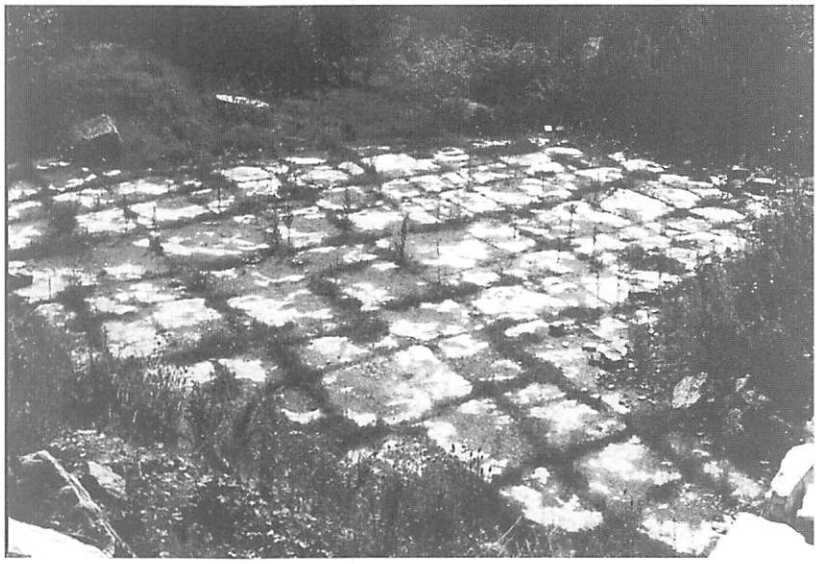


Abb. 12: Sohle eines stillgelegten Steinbruchs im Quaderkalk (Muschelkalk). Die Trennflächen werden hier durch den Pflanzenbewuchs nachgezeichnet (Abstände ca. 1,0 m).

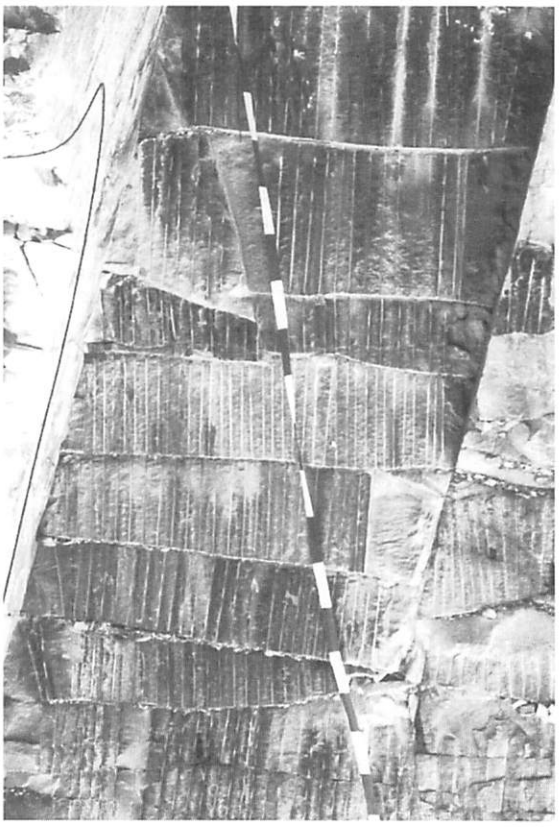


Abb. 13: Maßband zum Messen der horizontalen Trennflächen in einem Granitsteinbruch (Einteilung in m).

Die zu messenden Richtungen werden wie folgt bezeichnet:

- x-Richtung: Messung der Abstände steil stehender Trennflächen entlang einer Profilrichtung, die 090° ± 45° (NE bis SE) streicht;
- y-Richtung: Messung der Abstände steil stehender Trennflächen entlang einer Profilrichtung, die 000° ± 45° (NW bis NE) streicht;
- z-Richtung: Messung der Abstände zwischen horizontal oder flach geneigt liegenden Trennflächen (Schichtung, Bankung) (vertikale Meßstrekke).

Selbst wenn die Steinbruchwände z. B. aus Sicherheitsgründen nicht aus nächster Nähe zu messen sind, so kann trotzdem eine Erfassung der Trennflächen stattfinden.
Für die vertikalen Trennflächen wird in diesem Fall ein Maß-Seil horizontal vor die Abbauwand gespannt und für die horizontalen Trennflächen ein 25 m langes, 25 cm breites Maßband senkrecht vor der Aufschlußwand abgerollt (s. Abb. 13).

Ist die Erfassung der einzelnen Trennflächenabstände nur aus der Entfernung möglich, insbesondere bei der Messung der horizontalen Trennflächenabstände, so werden die Abstände unter Zuhilfenahme eines Fernglases abgelesen.
Es wurde auch der Versuch unternommen, die Trennflächenabstände bei schlechter Zugänglichkeit anhand von Fotos bzw. durch Diabetrachtung festzulegen, was jedoch zu unbefriedigendem Ergebnissen führte, da zuwenig Trennflächen als solche zu erkennen sind. Bei stereoskopischer Betrachtung waren die Ergebnisse schon besser, besonders wenn die Aufnahmen mit einem Teleobjektiv mit einer Brennweite von mindestens 200 mm gemacht wurden (hier muß ein Maßband zum Abschätzen der Trennflächenabstände mitfotografiert werden).

Im Steinbruch erweist es sich oft als problematisch, die steil und seiger stehenden Trennflächen zu messen. Auf Grund abbaubedingter Unebenheiten, Halden oder Wasserflächen ist es nicht immer möglich, ein Maßband auszulegen, um die Gesamtstrecke zu messen.
Die Entfernungsmessung kann mit einem Nivelliergerät erfolgen. Ein Nivelliergerät benötigt aber eine annähernd ebene Aufstellfläche, die zumeist in den Ecken der Steinbruchwände nicht gegeben ist.
Für schlecht zugängliche Bereiche eignet sich recht gut ein optischer Entfernungsmesser, z. B. der 'Ranging 620'. Dieser ist wetterbeständig und wiegt bei Abmessungen von 21 cm · 10 cm · 4 cm nur knapp 500 g. Daher ist er problemlos im Gelände einzusetzen. Mit diesem Entfernungsmesser ist es möglich, Entfernungen bis zu 180 m einzumessen; ein Meßbereich, der für Naturwerksteinbrüche ausreichend ist. Der Entfernungsmesser wurde vorher auf einer genau (mit Maßband) festgelegten horizontalen Strecke justiert. Kontrollmessungen ergaben, daß bei einiger Meßerfahrung der Fehler bei Entfernungen von 100 m nur maximal ± 1 % beträgt, was für den Zweck vollkommen ausreicht, zumal die Abbauwände in Naturwerksteinbrüchen meist geringere Längen aufweisen.

5.4 Erfassen von Trennflächen mittels elektromagnetischer Reflexionsmessungen

Die wichtigen Trennflächen sind meist nur bei guten Aufschlußverhältnissen zu ermitteln. Ziel weiterer Untersuchungen war es, die Trennflächen und ihre Abstände auch ohne größere Aufschlüsse (bzw. kostenintensive Kernbohrungen und Schürfe) erfassen zu können. Zu diesem Zweck war es interessant zu prüfen, ob mittels elektromagnetischer Reflexionsmessungen luft- oder lehmgefüllte sowie wenig geöffnete natürliche Trennflächen eines Aufschlusses oder der Steinbruchwand zu lokalisieren sind. Elektromagnetische Reflexionsmessungen werden derzeit auch im Salzbergbau durchgeführt (s. Kap. 4.4.3.7); dort aber für größere Distanzen. Bei Naturwerksteinen ergab sich die Frage, ob die Auflösung der Messungen überhaupt ausreichend ist, um die sehr dicht zueinander stehenden Trennflächen erfassen zu können.

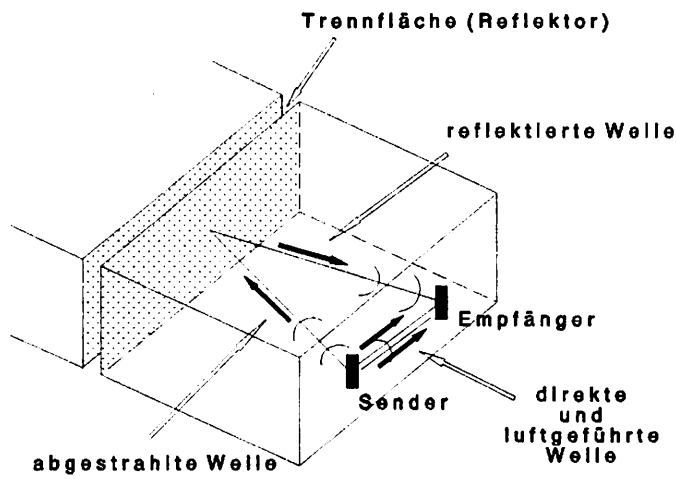


Abb. 14: Prinzip des Radarverfahrens zur Lokalisierung von Trennflächen.

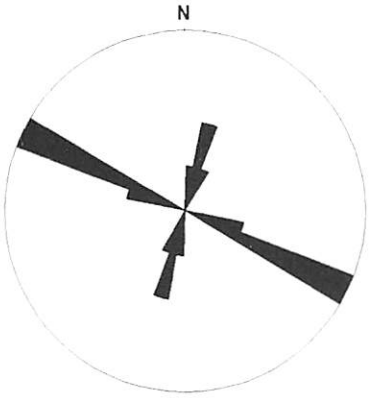


Abb. 15: Richtungsrose der Trennflächen in der Lagerstätte der Fa. Wirths/Kirchheim (n = 43).

Die Meßausrüstung besteht aus einem Sender, einem Empfänger sowie einer Aufzeichnungsapparatur mit Oszillograph. Bei elektromagnetischen Messungen wird von einem Sender ein Impuls abgestrahlt. Trifft dieser an eine Grenzfläche (Diskontinuität) unterschiedlicher Dielektrizitätskonstanten, tritt Reflexion ein, die von einem Empfänger aufgenommen wird (Abb. 14).
Die Laufzeit des elektromagnetischen Impulses von Sender zu Empfänger wird berechnet und die Meßwerte in einem Oszillograph aufgezeichnet. Die im Oszillogramm zuerst aufgezeichneten Signale, also die mit der kürzesten Laufzeit, sind die direkt vom Sender zum Empfänger laufenden luftgeführten und die direkten Wellen (im Gestein) (vgl. [125]). Erst nach längerer Laufzeit treffen, je nach Entfernungen der Reflektoren, die reflektierten Wellen ein.

Um die erstmalige Erprobung von Radar zur Erfassung von Trennflächen in einem Naturwerksteinbruch nicht gleich an einem evtl. ungünstigen Versuchsobjekt scheitern zu lassen, fiel die Wahl auf einen Quaderkalk-Steinbruch in Kirchheim

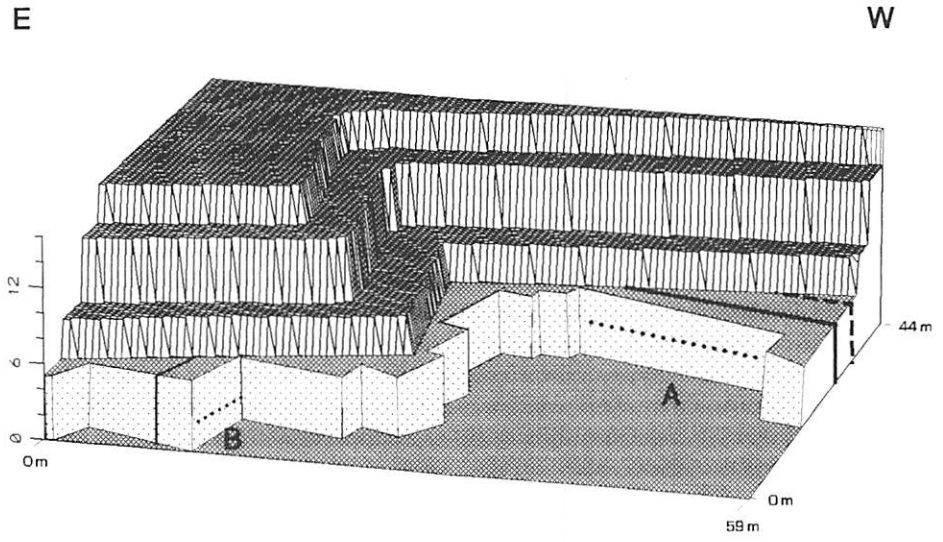


Abb. 16: Steinbruch der Fa. Wirths, Kirchheim/Würzburg. Darstellung der eigenen Vermessung (dicke Linien = mit elektromagnetischer Reflexionsmessung ermittelte Trennflächen; A + B = Meßorte; dicke Punkte = Meßpunkte).

bei Würzburg (Fa. Wirths) (Abb. 19).
Auf Grund der quaderförmigen Absonderung des Quaderkalks (Abb. 12) bietet diese Lagerstätte gute Voraussetzungen (vgl. a. Kap. 6.4.1). Ein weiterer Grund für die Auswahl dieses Steinbruches war der für die Untersuchung der Kluftsysteme günstige Abbaustand. Die Klüftung ist zumeist seiger, durchschlagend und senkrecht zueinander angeordnet. Das wird auch in der Darstellung der Richtungsrose (Abb. 15) deutlich, die eine nur sehr geringe Streuung zeigt. Die Lagerstätte konnte daher eine unmittelbare Überprüfung der Ergebnisse gewährleisten.

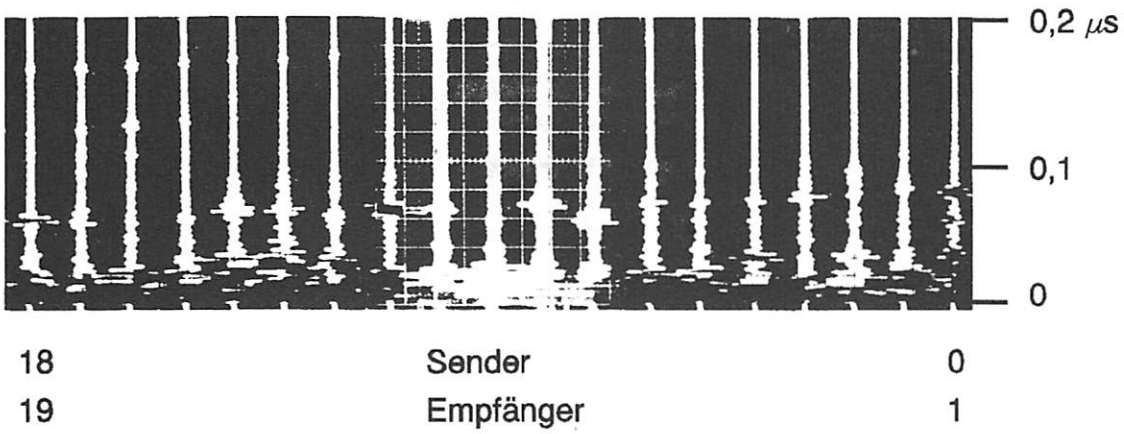


Abb. 17: Oszillogramm der Radarmessungen am Meßort A.

Die Ausführung der Messungen (Abb. 20) mit einem hochfrequenten Radarsystem erfolgte freundlicherweise durch einen Meßtrupp unter der Leitung von Dipl.-Ing. R. Thierbach (Niedersächsisches Landesamt f. Bodenforschung).

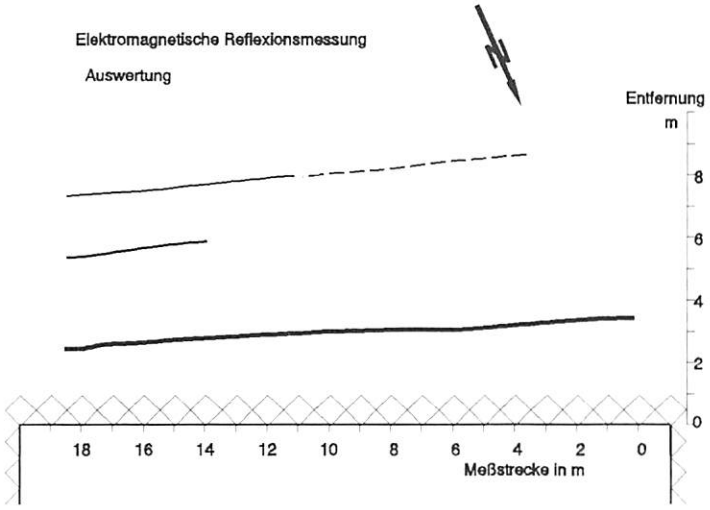


Abb. 18: Oszillogramm-Auswertung (Abb. 17) vom Meßort A. Aufsicht (gestrichelte Linien = schwache Reflexionen; Darstellung nach der Auswertung von Dipl.-Ing. R. Schuricht).

In dem Steinbruch der Firma Wirths wurde schwerpunktmäßig an drei Orten gemessen. Die Ergebnisse von zwei Messungen (Meßort A + B in Abb. 16) sollen hier beschrieben werden. Sicherheitshalber wurden im Vorfeld der Messungen alle möglichen Störquellen wie Bohrgeräte, Radlader und größere Eisenteile entfernt. Die Sendefrequenz lag bei ca. 250 MHz, die abgestrahlte Pulsleistung bei max. 20 W. Die relative Dielektrizitätszahl ϵ_r, das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im freien Raum zur Effektivgeschwindigkeit der benutzten Signale im Material, muß für die Messungen bekannt sein. Sie wurde im Quaderkalkstein bestimmt mit ϵ_r = ca. 11 (10,7 - 11,5). Die Geschwindigkeit der Welle im Quaderkalkstein konnte mit ca. 93 m/µs ermittelt werden. Verwendet wurden getrennte Sende- und Empfangsantennen, die parallel in Abständen von 1 m versetzt wurden. Die Messungen führten zu den nachstehenden Ergebnissen.

Meßort A

Die Messungen an Meßort A erfolgten an einer 20 m langen und 117° streichenden Steinbruchwand (Abb. 16). Im Oszillogramm dieser Messungen (Abb. 17) ist die Meßstrecke (Sender 0 - Sender 18 in Abb. 17) zur Laufzeit der Wellen (µs) ersichtlich.

Der erste Reflektor zeigt sich auf dem Oszillogramm am Meßpunkt 0 mit einem deutlichen Signal bei einer vom Sender zum Empfänger gemessenen Laufzeit von ca. 0,08 μs. Multipliziert man die in diesem Gestein mit 93 m/μs ermittelte Geschwindigkeit der Welle mit der Hälfte der Laufzeit von 0,08 μs, so erhält man die Entfernung zur Diskontinuität (Trennfläche), die hier bei 3,7 m von der Steinbruchwand entfernt im Gesteinskörper liegt.



Abb. 19: Ansicht des Steinbruchs der Fa. Wirths. Vorne links Meßort B, in der Bildmitte Meßort A (vgl. Abb. 16).

Die Auswertung des Oszillogramms führte zu dem Ergebnis (Abb. 18), daß sich dieser Reflektor als deutliches Signal von Meßpunkt 0 in 3,7 m Entfernung bis zum Meßpunkt 18 in 2,8 m (Laufzeit von 0,06 μs) Entfernung durch das Gestein durchzieht.

Zwei weitere nahezu parallele Reflektoren mit schwächeren Signalen sind zu lokalisieren. Diese können aber nicht auf der gesamten Meßstrecke durchgehend verfolgt werden. So tritt ein Reflektor auf, dessen Entfernung von der Steinbruchwand mit 6,0 m an Meßpunkt 14 bis zu 5,5 m an Meßpunkt 18 ermittelt werden kann.

Der andere Reflektor tritt von Meßpunkt 3 bis zu Meßpunkt 10 mit so schwachen Signalen auf, daß dessen Verlauf als gestrichelte Linien in der Auswertung dargestellt wird, wobei die Signale an den Meßpunkten 11 (Laufzeit von 0,168 μs = 7,8 m) bis 18 (Laufzeit von 0,162 μs = 7,4 m) deutlicher sind.

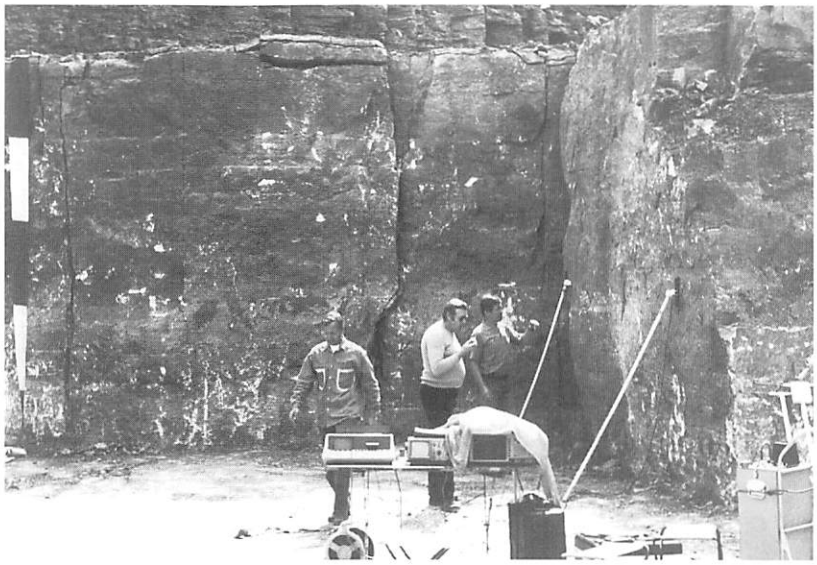


Abb. 20: Radarmessung im Steinbruch Wirths. An der rechten Bruchwand sind der Sender und der Empfänger zu sehen, im Vordergrund die Aufzeichnungsapparatur (v. l. Herr D. Eisenburger, Herr R. Schuricht, Herr R. Thierbach).

Die Auswertung der Messungen beweist, daß durchaus natürliche Trennflächen in Nahbereichen, sogar wie erhofft in wenigen Metern Entfernung, einen guten Reflektor bilden und eindeutig zu erfassen sind. Vermutlich setzt ihr

Nachweis als deutliche Reflexion eine gewisse Mindestöffnungsweite voraus. Diese Reflexionen konnten leider zur Zeit noch nicht (auf Grund von Materialbedeckungen) auf der nächst höheren Steinbruchsohle bestätigt werden. Der parallele Verlauf der Reflektoren spricht aber für die in der Region typischen geologischen Verhältnisse mit zumeist parallelen und seigeren Trennflächen.

Meßort B

Um die Ergebnisse von Meßort A zu bestätigen und um weiterhin zu überprüfen, ob auch untergeordnete Trennflächen sicher zu messen sind, die zwar nicht durchgehen, aber an einigen Blöcken durchaus als Trennfuge wirken (der Steinbrucharbeiter spricht in diesem Fall auch von Stichen), erfolgte eine weitere Messung an Meßort B (Abb. 16). Meßort B lag an einer 7,5 m langen und 012° streichenden Steinbruchwand in 0,5 m Höhe.

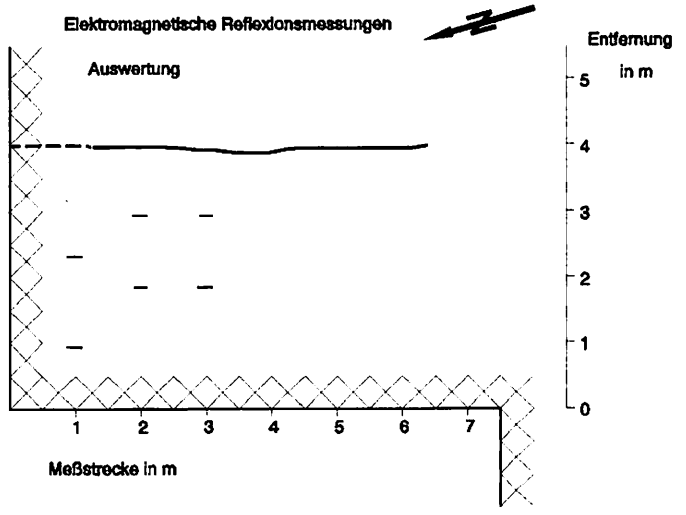


Abb. 21: Oszillogramm-Auswertung vom Meßort B. Aufsicht (Darstellung nach der Auswertung von Dipl.-Ing. Schuricht).

Die Auswertung der Messungen (Abb. 21) führte zu einem deutlichen Reflektor in ca. 4 m Entfernung, der eine im Steinbruch in 4 m Entfernung über Eck sichtbare, wenige cm geöffnete Kluft, die parallel zur Meßstrecke verläuft, bestätigte.
Ein sogenannter Stich (s. o.) verlief in 1,9 m Entfernung parallel zur Meßstrecke. Aufschlußreich war es nun, festzustellen, ob dieser bei der Auswertung auch zu lokalisieren ist. Auf dem Oszillogramm zeigten sich bei Meßpunkt 2 + 3 zwei leichte Reflexionen, die von diesem Stich herrühren könnten. Auch die Entfernung von 1,9 m deckt sich mit den Befunden am Meßort. Da die Reflexionen sehr schwach und bei Meßpunkt 1 in anderer Entfernung auftraten, was durch die Randlage des Meßpunktes verfälscht sein kann, ist dieses Ergebnis vorerst noch mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten.

Anwendungsmöglichkeiten

Diese ersten Versuche zur Lokalisierung von Trennflächen mittels elektromagnetischen Reflexionsmessungen verliefen durchaus erfolgreich, so daß vertiefte Untersuchungen auf diesem Gebiet durchgeführt werden sollten. In Zukunft könnten Radarmessungen ein hilfreiches Verfahren zum Nachweis von Trennflächen in Naturwerksteinen sein. Die verwendeten Antennen sind zudem so gebaut, daß der Einsatz auch in Bohrlöchern möglich ist.

Die in den nächsten Kapiteln angewandte Bewertungsmethode setzt voraus, daß möglichst drei senkrecht zueinander stehende Aufschlußflächen zur Verfügung stehen. Ist dies nicht der Fall, so müßten zumindest zwei (besser drei, wenn die morphologischen Gegebenheiten es zulassen) aufeinander senkrechte Bohrungen durchgeführt werden, um anhand der Bohrkerne die Trennflächen zu erfassen und auszuwerten. Kernbohrungen sind wiederum kostenintensiv. Folglich erscheint eine Kombination von Bohrung und elektromagnetischer Messung

interessant. Falls nur ein Bohrloch zur Verfügung steht, ist es vorstellbar, nach dem klassischen Radarreflexionsverfahren zu arbeiten, wie man es bereits zur Lokalisierung von Kluftzonen im Dezimeterbereich durchführt (vgl. [66]). Dabei werden Sender und Empfänger in einer konstanten Entfernung ins Bohrloch geschoben. In bestimmten Abständen werden die von den Zerklüftungen kommenden Echos in bezug auf Zeitverzögerung und Intensität analysiert, um auf diese Weise die räumliche Orientierung von Kluftzonen zu bestimmen. Für die Anwendung der Radar-Methode zur sicheren Lokalisierung von kaum geöffneten Trennflächen in Naturwerksteinlagerstätten sind aber sicherlich noch eine Reihe weitergehender Untersuchungen notwendig.
Da diese Messungen durch sich in der Nähe befindliche Radarstationen und durch größere Reflektoren wie Bagger oder große Eisenteile störend beeinflußt werden können, ist zu überlegen, inwieweit hier Ultraschallmessungen, die offenbar bisher für derartige Zwecke nicht zum Einsatz gekommen sind, bei kaum geöffneten Klüften deutlichere Ergebnisse bringen.

5.5 Auswerten von Messungen der Trennflächenabstände

Bereits andere Autoren haben versucht, Trennflächen für die Bewertung von Naturwerksteinvorkommen auszuwerten. Von SCHÖNE & PESCHEL [154] wurde eine logarithmische Darstellung der Häufigkeitsverteilung von gemessenen Kluftkörpervolumen ausgewertet. Es wurde lediglich ein genereller Grenzwert für das Volumen angesetzt (mit 0,25 m^3, in einer späteren Arbeit von PESCHEL [141] sogar nur 0,1 m^3). Unterschiedliche Parameter für verschiedene Richtungen wurden nicht vorgesehen. Das heißt, Anforderungen hinsichtlich Dimension und Form wurden nicht gestellt; das Mindestvolumen von 0,25 m^3 bzw. 0,1 m^3 ist unter verarbeitungstechnischen Gesichtspunkten deutlich zu niedrig. Überdies sind solcherlei Darstellungen unübersichtlich und für den Vergleich mit anderen Lagerstätten wenig geeignet.

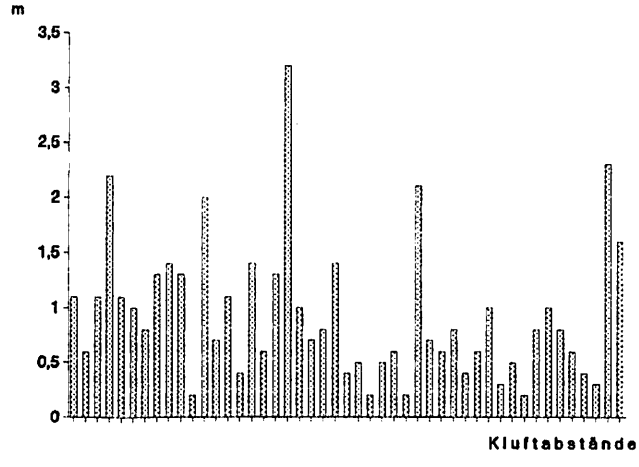


Abb. 22: Über eine Aufschlußstrecke von 54,6 m gemessene Kluftabstände ≥ 0,1 m.

CLAR [36] hat eine Methode zur Darstellung der Klüftigkeit von Felsaufschlüssen vorgestellt, in der die Häufigkeiten der Trennflächenabstände von drei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen als Verteilungslinien dargestellt werden (Abb. 23). Anhand des Verlaufs der Linien konnten ungefähre Aussagen über die Form der Kluftkörper gemacht werden. Auch diese Darstellungsart ist, insbesondere beim Vergleich mit anderen Lagerstätten, nicht übersichtlich genug. Und es ist so nicht möglich, Aussagen über die Rohblockhöffigkeit einer Mindestblockgröße zu machen. Hier wiederum können die eingemessenen Werte innerhalb der Meßstrecke beachtlich schwanken (Abb. 22).
Es galt also, eine einfache, doch für Vergleiche gut geeignete und die Bestimmung von Blockgrößen erlaubende Auswertemethode zu verwenden.

5.5.1 Häufigkeitsverteilung

Ordnet man die Anzahl der Kluftabstände in Häufigkeitsdiagrammen mit gleichförmigen Klassenintervallen, so werden die Darstellungen bereits anschaulicher - zumal wenn verschiedene Lagerstätten verglichen werden sollen.

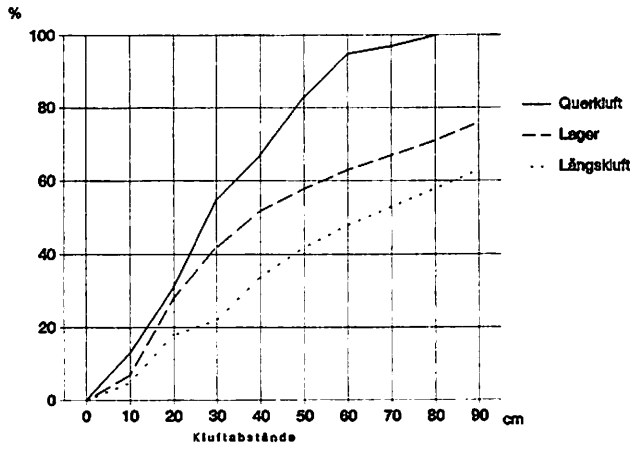


Abb. 23: Darstellung der Kluftabstände nach der Methode von CLAR (umgezeichnet, Daten aus CLAR 1939).

Es wurde schon erwähnt, daß geringere Trennflächenabstände < 0,1 m und damit Störungszonen aus meßtechnischen Gründen nicht sicher zu erfassen sind. Dies ist im einzelnen auch nicht lohnend, weil Material mit einer geringeren Dicke als 0,1 m nicht zu Werkstein bearbeitbar ist bzw. beim Abbau als Bruch anfällt. Infolgedessen soll auf eine undifferenzierte Wiedergabe und Auswertung der Trennflächenabstände verzichtet werden.
Die Darstellung in Histogrammen wird jedoch benutzt, um damit die Lagerstätte anhand der Verteilung derjenigen Trennflächenabstände, die ≥ 0,1 m betragen, zu charakterisieren:

In diesen Histogrammen werden die Klassenintervalle nach folgenden Kriterien eingeteilt:

1) unter weitgehender Berücksichtigung sowohl der STURGES-Regel

$$\textit{Klassenweite}\ (\Delta) = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}322 \log n}$$

für die Klassenweite, wobei

2) die Anzahl der Klassen, nach einer Faustregel der Explorationsstatistik (vgl. a. [179]), nicht höher als $\sqrt{n}$ (n = Anzahl der Einzelwerte) sein sollte.

Danach ergeben sich oft für die Histogramme einer Lagerstätte unterschiedliche Klassenweiten und Klassenanzahlen.

Im vorliegenden Falle mußte ein Kompromiß bei der Einteilung vorgenommen werden, weil die für Mindestblöcke angeführten Parameter von 1 m (bei Histogrammen der Abstände zwischen steil stehenden Trennflächen, Abb. 24-1, Abb. 24-2) und 0,4 m (bei Histogrammen der Abstände zwischen horizontalen Trennflächen, Abb. 24-3) berücksichtigt werden sollen.

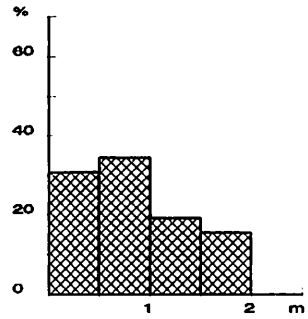


Abb. 24-1: Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 078°, n = 26).

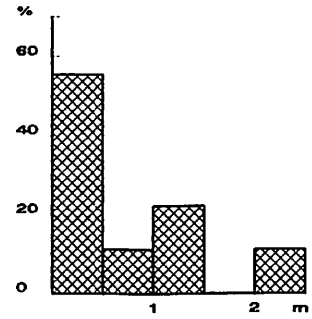


Abb. 24-2: Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 157°, n = 9).

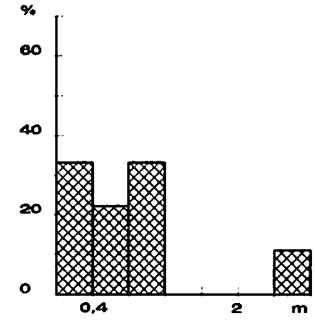


Abb. 24-3: Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 9).

D. h. die Klasseneinteilung bei den Histogrammen der Trennflächenabstände zwischen den steil stehenden Trennflächen entspricht den für den Mindestblock angesetzten Parametern von 1 m (bzw. 0,5 m), bei den Histogrammen der Abstände zwischen den horizontalen Trennflächenabständen dem von 0,4 m (bzw. 0,2 m) (vgl. Kapitel 5.1).

Im Falle einer statistischen Normalverteilung müssen folgende drei Werte übereinstimmen: der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ mit dem aus dem Histogramm zu erfassenden häufigsten (d. h. mit dem Modal-) Wert, und beide mit dem Medianwert $\tilde{x}$ als Zentralwert (der den Probenumfang in 2 gleich große Hälften teilt).
In den Histogrammen erweisen sich die Trennflächenabstände vielfach nicht symmetrisch glockenförmig (normal-)verteilt, sondern rechtsschief. Dann könnte eventuell eine arithmetische Mittelbildung zu hohe Werte vortäuschen. In solchem Falle (und sofern unter den Merkmalswerten einige extreme Werte das arithmetische Mittel stark beeinflussen) können die Daten durch Logarithmieren in eine angenäherte Normalverteilung überführt werden und auf deren Basis der Mittelwert x_G (der entlogarithmiert dann ein geometrisches Mittel ist) errechnet werden. Sofern dieser nunmehr nicht dem Medianwert gleichkommt, so ist auch durch das Logarithmieren keine Normalverteilung erreicht.

Für einige der aufgenommenen Lagerstätten stimmen in den Tabellen des Kapitels 6 die errechneten geometrischen Mittel- nicht mit den Medianwerten für die x- und y- Kluftabstände überein, d. h. es liegt keine lognormale Verteilung vor. Die horizontalen Trennflächen sind zumeist extrem heterogen (siehe Abb. 24-3), infolgedessen ist bei diesen auf eine Rechentransformation verzichtet worden.
In den Tabellen sind daher nur die geometrischen Mittel x_G, y_G sowie die Medianwerte $\tilde{x}$, $\tilde{y}$ aufgeführt.
Die Histogramme machen zwar die Verteilung der Meßwerte nach Klassen deutlich, sie geben aber keine einfache Auskunft über die aus der Lagerstätte zu erwartende Rohblockmenge.

5.5.2 Durchschnittsblock

Um für jede Lagerstätte einen einfachen charakteristischen Wert zu schaffen, wurde zunächst versucht zu errechnen, welche Dimensionen ein "Durchschnittsblock" hat, der sich aus den natürlichen Begrenzungen, d. h. Trennflächen ergibt.
Die Werte der einzelnen Richtungen x (1), y (2) und z (3) berechnen sich wie folgt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

(1): Mittlerer Trennflächenabstand in m, gemessen entlang einer Profilstrecke, die 090° ± 45° (NE bis SE) streicht (x-Richtung).

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i$$

(2): Mittlerer Trennflächenabstand in m, gemessen entlang einer Profilstrecke, die 000° ± 45° (NW bis NE) streicht (y-Richtung).

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} z_i$$

(3): Mittlerer Trennflächenabstand in m, gemessen entlang einer vertikalen Profilstrecke (z-Richtung).

Anschließend wird aus allen drei Richtungen das Produkt gebildet, um das Volumen des Durchschnittsblocks zu erhalten (4):

$$\bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z} = \bar{V}$$

(4): Volumen des **Durchschnittsblocks** in m^3.

Man hätte auch zunächst die geometrischen Mittelwerte bilden können, um damit die obigen Rechnungen durchzuführen. Dies setzt jedoch, wie schon dargelegt, zumindest lognormale Verteilungen voraus. Bereits in x- und y- Richtung ist das nicht immer gegeben und bei z nur ganz selten. Im Interesse einer einfach-praktikablen Handhabung wurde einheitlich mit den arithmetischen Mitteln gerechnet, selbst wenn damit die Werte teilweise etwas zu hoch ausfallen könnten.
Umgekehrt gilt, daß die errechneten Blockvolumina z. T. deshalb kleiner erscheinen, weil bereits potentielle Trennflächen berücksichtigt sind, die manchmal in den Dimensionen der Blöcke in den Steinbrüchen noch nicht zur Ausbildung kommen, sondern erst später bei entsprechender Beanspruchung.

Insgesamt wurde mit der Berechnung eines Durchschnittsblocks aus den Trennflächen eine charakteristische Kennzeichnung für eine Lagerstätte erzielt (sogar um sie mit anderen vergleichen zu können). Es ist nun bekannt, bei welchen Kantenlängen (x, y, z) welches Blockvolumen für die betreffende Lagerstätte durchschnittlich zu erwarten ist. Dies ist allerdings nur als Gemenge von großen und kleinen Blöcken zu verstehen. Bei Lagerstätten mit recht großen Kluftabständen mag dann durchaus eine überwiegende Zahl an Blöcken den Anforderungen des Betreibers entsprechen. In zahlreichen Fällen werden jedoch auch mehr oder minder kleine Blöcke entstehen, die nicht erwünscht sind.
Folglich ist das Durchschnittsblock-Volumen allein für das Bewerten eines Vorkommens hinsichtlich seiner Brauchbarkeit und Effizienz für Naturwerksteine noch nicht ausreichend. So galt es, im Verlauf dieser Arbeit ein weiteres spezifisches Charakteristikum zu schaffen.

5.6 Gewinnbare Naturwerkstein-Rohblöcke

Gefragt ist der potentiell erzielbare Anteil an Rohblöcken (also die mögliche Ausbeute) aus dem Gesteinskörper.
Ziel war es, auch dafür eine Darstellung zu finden, die auf einem ähnlichen Prinzip wie die von STINY [167] als Klüftigkeitsziffer bezeichnete Zahl der Kluftschnitte pro Meter aufbaut, aber auch dem Laien auf den ersten Blick einen Eindruck über Größe, Form und möglichen Vorrat gibt. Mit der Methode von STINY erhält man auf Grund der Kluftflächendichte eine Zahl, die Klüftigkeitsziffer. Sie gibt lediglich ein Maß an für den Grad der Zerklüftung bzw. der Eng- oder Weitständigkeit der Klüfte. Dies ist aber für die Belange der Naturwerksteinindustrie nicht hinreichend, weil daraus die gewünschte direkte Bewertung nicht erfolgen kann. Hier kommt es darauf an, eine weitständige Klüftung (Klüftigkeitsziffer nach STINY ist meist ein Zahlenwert < 1) zu haben. Folglich sollte das Maß nicht auf einen Meter beschränkt sein, sondern muß auf eine möglichst lang zu wählende Strecke ausgedehnt werden. Um nun aber Kenntnisse über die Ausmaße des dreidimensionalen Körpers zu erhalten, sind drei senkrecht zueinander stehende möglichst lange Meßstrecken zu wählen.

Auf der Basis der Trennflächenabstände wurden im Verlauf der Arbeit handhabungsfähige Definitionen für die verwendbaren Blöcke geschaffen (s. "Mindestblock") sowie außer Erfassungs- und Rechenmethoden für die zu erwartenden Kluftkörper Werte für den "Durchschnittsblock" ermittelt.
Weiterhin wurde versucht, die "Rohblockhöffigkeit" zu erfassen, um mit den spezifischen Werten für die Rohblockhöffigkeit Vorräte in einzelnen Naturwerkstein-Vorkommen in vereinfachender Weise zu charakterisieren.

5.6.1 Rohblockhöffigkeit

Die Ergiebigkeit einer Lagerstätte errechnet sich aus dem Anteil zu gewinnender Blöcke, die die Bedingungen für den "Mindestblock" erfüllen (siehe Kapitel 5.1). Somit stellt sich die Aufgabe, das mögliche Ausbringen dieser Blöcke (die Rohblockhöffigkeit) auszurechnen und - falls darstellbar - zugleich deren räumliche Anteile an der Lagerstätte aufzuzeigen.

Dazu wäre schrittweise für jede der Achsenrichtungen (x, y, z) zu errechnen, wie groß der Anteil derjenigen Trennflächenabstände ist, die kleiner als die geforderten Mindestwerte sind. Dieser Anteil würde bei der Blockgewinnung nämlich zu Abfällen führen.
Umgekehrt ergibt sich für jede der drei Hauptachsen aus denjenigen Trennflächenabständen, die jeweils die Mindestanforderung erfüllen, die entsprechende mögliche Ausbeute.
Während in den Histogrammen und beim Durchschnittsblock Trennflächenabstände $< 0{,}1$ m und damit Störungszonen nicht berücksichtigt wurden, darf deren Anteil bei der Feststellung der Rohblockhöffigkeit nicht vernachlässigt werden.

Vor einer Erklärung der grafischen Darstellungen (Kapitel 5.6.1.3) sind hier zunächst die rechnerischen Auswertungsmethoden abzuleiten.
Beim Einbringen von Trennflächenabständen in Histogramme mußten viele relativ enge Klassen ($< 0{,}5$ m; 0,5 - 1,0 m etc. $< 0{,}2$ m; 0,2 - 0,4 m etc.) gebildet werden, um die Häufigkeitsverteilungen darzustellen.

Bei der Frage nach der Rohblockhöffigkeit reduzieren sich die Klassen:
wieviel % erfüllen die Bedingungen der Mindestblöcke,
wieviel % des Lagerstättenvolumens liegen darunter?

Der Mindestblock war definiert ($\geq 1{,}0$ m) $\cdot$ ($\geq 1{,}0$ m) $\cdot$ ($\geq 0{,}4$ m) $\approx 0{,}4$ m^3,
folglich sind dafür nur noch die Klassen
$\geq$ 0,4 - 1,0 m und $\geq$ 1,0 m für die einzelnen Profile zu berücksichtigen.

5.6.1.1 Rechenansatz

Es liegen in den drei Profilen die jeweils eingemessenen Kluftabstände (Abb. 22) vor. Für jede der Achsen läßt sich die Summe an Kluftmetern für vorgegebene Trennflächenabstände bilden, beispielsweise $\Sigma \geq 1{,}0$ m in der Achse x, y oder z.
Aus solchen für jede Achse ermittelten Kluftmetern ist dann das gesamte Kluftkörpervolumen zu errechnen. Dies wiederum müßte im Verhältnis zum insgesamt ermittelten Volumen der betreffenden Lagerstätte den gesuchten Wert ergeben: denjenigen Anteil, der sich an Rohblöcken von Mindestblockgröße und -maß in der Lagerstätte befindet:

$(\Sigma \geq 1{,}0\ m)_x \cdot (\Sigma \geq 1{,}0\ m)_y \cdot (\Sigma \geq 0{,}4\ m)_z$ = Mindestblock-Volumen (m^3),
bzw. auch $(\% \geq 1{,}0\ m)_x \cdot (\% \geq 1{,}0\ m)_y \cdot (\% \geq 0{,}4\ m)_z$ = Mindestblock-Anteil (%).

Es zeigte sich sehr bald, daß es nicht ausreicht, nur nach diesem einfachen Ansatz zu rechnen, denn schließlich können Rohblöcke, die aus einem Steinbruch mit den vorgegebenen Blockmaßen gewonnen werden, nicht nur allein aus obiger Dimensionierung stammen. Vielmehr kann die schmale Blockseite (die dann als z bezeichnet wird) ja auch aus einem anderen Profil anfallen, d. h. $z_{0,4}$ mit $x_{0,4}$ oder $y_{0,4}$ vertauscht sein.
Folglich müßte man die Berechnung auf dreierlei Art durchführen:

$V_1 = (\geq 1{,}0\ m)_x \cdot (\geq 1{,}0\ m)_y \cdot (\geq 0{,}4\ m)_z$
$V_2 = (\geq 1{,}0\ m)_x \cdot (\geq 0{,}4\ m)_y \cdot (\geq 1{,}0\ m)_z$
$V_3 = (\geq 0{,}4\ m)_x \cdot (\geq 1{,}0\ m)_y \cdot (\geq 1{,}0\ m)_z$

und danach aus den jeweils erhaltenen Mindestblock-Volumina einen Mittelwert bilden.
Hierbei können nicht nur die einzelnen Werte V_1 bis V_3 so stark voneinander abweichen, daß eine Mittelwertbildung problematisch ist. Es kann auch vorkommen, daß auf einer Achse kein Wert $\geq 1{,}0$ m angetroffen wird, also z. B. für $(m \geq 1{,}0)_z = 0$ die Produkte V_2 und V_3 zu Null werden - und so nur V_1 übrig bleibt (bzw. vice versa im Falle $(m \geq 1{,}0)_x$ oder $(m \geq 1{,}0)_y$). Somit brachte dieser Rechenansatz keine brauchbare Lösung.

5.6.1.2 Faustformel zur Abschätzung der Rohblockhöffigkeit

Um dennoch für die zahlreichen miteinander zu vergleichenden Steinbrüche zunächst eine einheitliche Bezugsgröße zu schaffen (die nicht zu Null werden kann), wurde schließlich erneut von den Bedingungen des Mindestblocks ausgegangen und ermittelt, wieviel Prozent eines jeden Achsenprofils Trennflächen aufweist von

% x ≥ 1,0 m	% y ≥ 1,0 m	% z ≥ 0,4 m

Zunächst wird für jede der drei Hauptrichtungen (x, y, z) die Summe aller Trennflächenabstände gebildet, die über dem Mindestwert von 1,0 m (bei x, y) bzw. 0,4 m (bei z) liegen. Jede Summe wird ins prozentuale Verhältnis zur jeweiligen Gesamtstrecke gesetzt; dadurch sind die bei den Histogrammen nicht dargestellten Anteile < 0,1 m mit erfaßt:

$$\eta_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i\ (\geq 1{,}0) \cdot 100}{Lx}$$

(5): Prozentuales Verhältnis der Summe der entlang einer Profilstrecke mit Streichen von 090° ± 45 (x-Richtung) gemessenen Trennflächenabstände ≥ 1,0 m zur Länge der Meßstrecke (Lx).

$$\eta_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i\ (\geq 1{,}0) \cdot 100}{Ly}$$

(6): Prozentuales Verhältnis der Summe der entlang einer Profilstrecke mit Streichen von 000° ± 45 (y-Richtung) gemessenen Trennflächenabstände ≥ 1,0 m zur Länge der Meßstrecke (Ly).

$$\eta_z = \frac{\sum_{i=1}^{n} z_i\ (\geq 0{,}4) \cdot 100}{Lz}$$

(7): Prozentuales Verhältnis der Summe der entlang einer vertikalen Profilstrecke (z-Richtung) gemessenen Trennflächenabstände ≥ 0,4 m zur Länge der Meßstrecke (Lz).

Somit sollen durch Mitteln der Resultate der drei Formeln (5), (6) und (7) in einer Naturwerksteinlagerstätte die Mindestblockbedingungen erfüllt sein (8):

$$\bar{\eta} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^{3} \eta_j$$

(8): Rohblockhöffigkeit als maximal möglicher Anteil an Rohblöcken einer Naturwerksteinlagerstätte, deren Mindestmaß 1,0 m · 1,0 m · 0,4 m = 0,4 m³ beträgt.

Bewußt wurde dafür z ≥ 0,4 m gewählt, weil dafür bei den Messungen stets das gesamte Profil gut zu erfassen war und die Schicht- bzw. Bankmächtigkeiten vielfach kleinere Durchschnittsabstände aufwiesen als die Klüftungen.
Mit der so geschaffenen Faustformel konnten die ersten Vergleiche vorgenommen und festgestellt werden, daß es unter den zahlreichen befahrenen Lagerstätten keine gibt, die lediglich Trennflächenabstände größer 1,0 m bzw. 0,4 m aufweist. Folglich hat keine Lagerstätte eine Rohblockhöffigkeit von 100 % an Mindestblock-Formaten; die Werte liegen selbst bei den guten Steinbrüchen um 10 - 20 % darunter. Bei einigen werden die Bedingungen für solche plattenschneidfähigen Mindestblöcke kaum oder nur in geringem Maße erfüllt.
Es stellte sich auch sehr bald ein Zusammenhang zwischen Durchschnittsblock-Volumen und Höffigkeit an Mindestblöcken heraus (worüber am Ende von Kapitel 6 ausführlich zu diskutieren ist) - wenngleich auch nur zunächst auf Grund dieser willkürlich angesetzten Faustformel.
Im weiteren Verlauf hat es sich ergeben, daß es wegen unterschiedlich großer Anteile ≥ 1,0 m bzw. 0,4 - 1,0 m in den einzelnen Achsen zweckmäßig war, die Rechnung noch zu verfeinern. Ergänzend zu dem

Mittel aus (% x ≥ 1,0 m) + (% y ≥ 1,0 m) + (% z ≥ 0,4 m) wurde auch
aus (% x ≥ 1,0 m) + (% y ≥ 0,4 m) + (% z ≥ 1,0 m) bzw.
aus (% x ≥ 0,4 m) + (% y ≥ 1,0 m) + (% z ≥ 1,0 m) das Mittel berechnet,

um aus deren Summe einen Durchschnittswert zu bilden für die Rohblockhöffigkeit η.

Wie schon aus den Histogrammen zu ersehen, haben wir es in der Natur weder mit einer reinen Zufallsverteilung der Trennflächen noch mit ideal sortierten Verteilung zu tun. Obendrein ist folgendes zu bedenken:

- die Profile sind nicht unabhängig voneinander, sie überlappen sich räumlich;
- es liegen in den Profilrichtungen keine sortierten Kluftabstände vor; folglich überschneiden sich alle Klassen im Raum, wenn auch keineswegs homogen verteilt, denn es gibt Zonen, in denen Verlustanteile (< 0,4 m) aus den Profilen räumlich zusammenfallen, insbesondere bei Störungszonen;
- Bereiche mit großen Kluftabständen fallen oft in allen drei Profilen zusammen (vgl. auch [29], [130]).

Diese (mathematisch nicht ganz korrekte) Faustregel stößt dann auf Schwierigkeiten, wenn in einer oder gar in allen Achsen die Anteile ≥ 1,0 m so klein werden, daß sie gegenüber den

Anteilen von 0,4 - 1,0 m nicht mehr das im Mindestblock festgelegte Verhältnis von 2 mal ≥ 1,0 m (in x oder y) zu 1 mal ≥ 0,4 m (in z) erfüllen.
Damit gibt es keine einfachen Rechenansätze zum einwandfreien Ermitteln von η als Rohblockhöffigkeit, zumal bei der Festlegung des Mindestblocks auch zugelassen war,

- daß nicht stets x ≥ 1 m und zugleich y ≥ 1 m, sondern daß (x · y) ≥ 1 m^2 ist,
- daß Übergrößen in einer Richtung Mängel in einer anderen Richtung kompensieren können.

Schließlich gelang es, eine Computersimulation zu erstellen (Kapitel 5.6.1.4). Aber zunächst zur grafischen Darstellung der Ergebnisse.

5.6.1.3 Grafische Darstellungen

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, die Befunde und Ergebnisse aus vermessenen Naturwerksteinlagerstätten grafisch wiederzugeben.

Für die in Kapitel 6 aufgeführten Lagerstätten werden jeweils drei Grafiken erstellt:

1. Histogramme (gemäß Kapitel 5.5.1) sollen ein Bild vermitteln über die Häufigkeitsverteilung der Trennflächenabstände in einzelnen Profilachsen;
2. wird versucht, die gewinnbaren Rohblöcke grafisch zu veranschaulichen.
   a) Eindeutig kann dies erfolgen für diejenigen Blockvolumina, wie sie sich aus Formel (4) für den Durchschnittsblock ergeben (siehe links in Abb. 28).
   b) Ansätze, auch für die Rohblockhöffigkeit an Mindestblöcken eine räumliche Darstellung zu schaffen, die z. B. das Volumen des Mittelwertes in % maßgerecht wiedergäbe, gestalten sich zu unübersichtlich.

Daher wurden die Abbildungen darauf abgestellt, die für jede Lagerstätte in den einzelnen Profilen gemessenen **Anteile** an % ≥ 1,0 m und zusätzlich die % ≥ 0,4 m zu zeigen. Der größere "Kasten" (grafische Verbindung aller Anteile miteinander) rechts in Abb. 28 ergibt sich aus den jeweiligen Anteilen für jede Achse ≥ 0,4 m, der kleinere "Kasten" aus den jeweiligen Anteilen ≥ 1,0 m. Damit sind dann jeweils die für die Faustformel benötigten Werte abgreifbar (Anteile x ≥ 1,0 m, Anteile y ≥ 1,0 m, Anteile z ≥ 0,4 m; siehe Pfeile auf den Achsen rechts in Abb. 28).
Die Abb. 25 - Abb. 27 sind Beispiele für die Handhabung der Darstellungen.
Für (%x) + (%y) + (%z) → η ergeben sich die jeweils errechneten Werte:

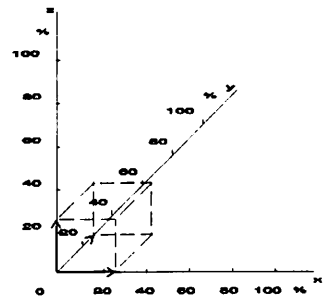


Abb. 25: Darstellung der Anteile für $x_{\geq 1m}$ = 25 %, $y_{\geq 1m}$ = 25 %, $z_{\geq 0,4m}$ = 25 %, ⇒ η = 25 % (nach Faustformel).

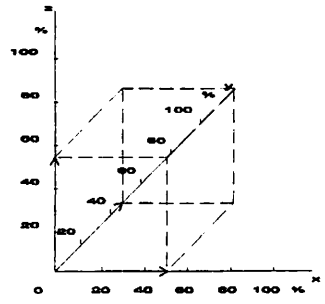


Abb. 26: Darstellung der Anteile für $x_{\geq 1m}$ = 50 %, $y_{\geq 1m}$ = 45 %, $z_{\geq 0,4m}$ = 55 %, ⇒ η = 50 % (nach Faustformel).

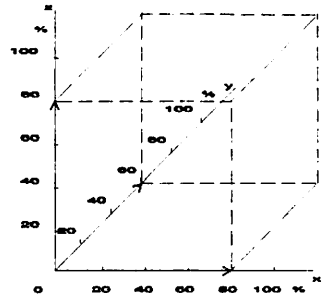


Abb. 27: Darstellung der Anteile für $x_{\geq 1m}$ = 80 %, $y_{\geq 1m}$ = 60 %, $z_{\geq 0,4m}$ = 80 %, ⇒ η = 75 % (nach Faustformel).

Die Diagramme wurden mit Hilfe eines eigenerstellten EDV-Programms gefertigt. Um die Achsenverhältnisse in allen Richtungen im gleichen Maßstab darzustellen, wurde keine

perspektivische Betrachtung gewählt. Das Diagramm für den Durchschnittsblock (Abb. 28 links) und das Diagramm für die Darstellung der Anteile ≥ 0,4 m und ≥ 1,0 m (Abb. 28 rechts) werden im folgenden (Kapitel 6) jeweils nebeneinander abgebildet:

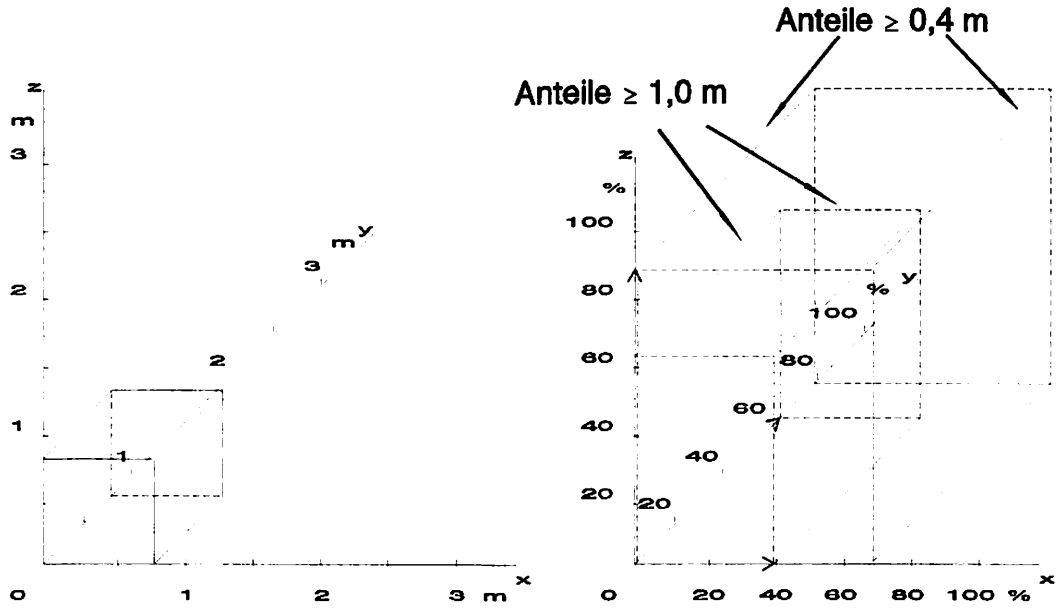


Abb. 28: Links: Durchschnittsblock (x=0,75) · (y=0,71) · (z=0,8) = 0,42 m³; Rechts: Anteile $x_{\geq 1m}$ = 39, $y_{\geq 1m}$ = 63, $z_{\geq 0,4m}$ = 87, Höffigkeit nach Faustformel= 63 %.

Für diese beispielhaft gewählte Lagerstätte ergibt sich ein mittleres Rohblockvolumen (Durchschnittsblock) von 0,42 m³ und nach der Faustformel eine Rohblockhöffigkeit von 63 %.

5.6.1.4 Computer - Modell zur Berechnung der Rohblockhöffigkeit

Alle einzelnen Trennflächenabstände einer Meßstrecke werden eingelesen. Der Rechner befragt jeden der Werte, ob er größer oder gleich 0,4 m ist. Wenn nein, sondert er ihn aus; wenn ja, dann merkt er sich diesen Wert.
Dies erfolgt für alle drei Achsenprofile. Im zweiten Arbeitsgang kombiniert er jeden der vermerkten Werte ≥ 0,4 m aus den einzelnen Richtungen, also jeden x ≥ 0,4 m mit jedem y bzw. z ≥ 0,4 m und errechnet (aus bis zu 150.000 Kombinationen) das jeweils resultierende Volumen der einzelnen Körper.
Im dritten Schritt prüft der Computer, wer von den zahlreichen Blöcken ein Volumen > 0,4 m³ hat und damit dann der Mindestbedingung entspricht. Schließlich summiert er die Volumina der so errechneten Körper ≥ 0,4 m³ mit den entsprechenden Kantenlängen zu einem Gesamt - "Nutz"-Volumen.
Zuletzt wird dieses Nutzvolumen ins Verhältnis zu dem insgesamt in der Lagerstätte befindlichen, als Produkt aller Meßstreckenlängen erhaltenen Lagerstätten-Volumen gesetzt; dabei sind alle Trennflächenabstände < 0,1 m und Störungszonen mit enthalten.
Auf diesem Wege werden alle in Kapitel 6 eingemessenen Lagerstätten ausgewertet. Später werden diese Zahlen auch noch mit den Befunden der Faustformel verglichen.

5.7 Vorrat

Aus der Rohblockhöffigkeit läßt sich nun angeben, welcher Prozentanteil des in einer Lagerstätte anstehenden Gesteins als Blockware mit den für Naturwerkstein-Bearbeitung vorgegebenen wirtschaftlichen Mindestanforderungen (hier gewählt 0,4 m^3 mit entsprechenden Kantenlängen) potentiell enthalten ist.

Damit errechnet sich als im günstigsten Falle gewinnbarer Vorrat an solchen Werksteinblöcken der geologische Vorrat (9):

$$Vorrat_g\ (\ m^3\ ) = Fläche \cdot (\ Mächtigkeit \cdot Rohblockhöffigkeit\ \eta\ (\frac{\%}{100}) - f\ )$$

(9): Geologischer Vorrat einer Naturwerksteinlagerstätte in Kubikmeter.

wobei f gegebenfalls eine Korrektur für schräge Profilanschnitte und Inhomogenitäten im Gesteinskörper darstellt.

Um den technisch gewinnbaren Vorrat festzustellen, sind noch entsprechende Korrekturen erforderlich, insbesondere für Abbau- und Gewinnungsverluste. Da diese von der Anlage des Steinbruchs und den gewählten Gewinnungsverfahren abhängen, wird darauf nach entsprechender Abhandlung am Ende von Kapitel 9 eingegangen.

5.8 Einschränkungen

Zu der hier entwickelten Methode müssen einige einschränkende Anmerkungen gemacht werden.

Geeignete Naturwerksteinlagerstätten sind vorwiegend in Gebieten zu finden, in denen durch die tektonischen Verhältnisse die ausgeprägten Trennflächenscharen senkrecht zueinander stehen. Idealbedingungen sind nicht immer gegeben, so daß eine stark unregelmäßig verlaufende Trennflächenschar erheblich größere Mengen an Zuschnittverlusten bewirkt; diese sind schließlich je nach Lagerstätte gesondert zu berücksichtigen.

Vielfach ist eine latente Klüftung vorhanden, die nur bei mikroskopischer Betrachtung erkannt werden kann. Dies tritt insbesondere in stärker tektonisch beanspruchten Gebieten auf. Deswegen sollte in solchen Fällen nicht nur eine Analyse der makroskopisch sichtbaren Trennflächen, sondern auch eine mikroskopische Untersuchung des Gesteins durchgeführt werden.

Fehler bei den Messungen selbst oder bei Festlegen einer zu kurzen Meßstrecke können auf Grund unzureichender Aufschlußverhältnisse nicht vermieden werden. Aus diesem Grund sollten bei den ermittelten Werten Fehlergrenzen von mindestens ± 5 % mit einbezogen werden.

Die Diagramme geben den Stand einer Abbausituation wieder, in der das Gestein möglicherweise mit optimalen Gewinnungsverfahren gewonnen wird, so daß das verfügbare Material möglichst vollständig genutzt werden kann. Das setzt eine gute Planung des Abbaus und optimale Ausnutzung der Gewinnungsverfahren voraus.

Oftmals fällt die Entscheidung zum Abbau von Naturwerkstein in Steinbrüchen, die Schottergewinnung betreiben. Diese haben zumeist gute Voraussetzungen für die notwendigen Untersuchungen über die Eignung zur Naturwerksteingewinnung. Das heißt, es gibt sehr gut

aufgeschlossene Wände, so daß Schürfgräben, seismische Untersuchungen und sogar Bohrungen entfallen können. Hier kann die Messung dreier aufeinander stehender Trennflächenscharen bereits Anhaltspunkte liefern.

Der insgesamt als Naturwerkstein verwendete Anteil einer Lagerstätte kann vergrößert werden, falls kleiner dimensionierte Blöcke zur Pflastersteinherstellung oder ähnlichem verarbeitet werden können (wie z. B. in Granitsteinbrüchen).

Die Ergebnisse sind je nach Gesteinsart, Genese sowie Tektonik mit unterschiedlicher Sicherheit zu bewerten. So sind insbesondere Messungen der Schichtmächtigkeiten in Buntsandsteinbrüchen durch das örtlich mögliche rasche Ab- und Anschwellen der Bankdicken mit einem größeren Unsicherheitsfaktor behaftet als in Gebieten, in denen die Schichtmächtigkeiten auf viele Kilometer hinweg konstant sind. Durch Anlegen von mehreren vertikalen Meßstrecken kann dieser Fehler vermindert werden.
In den Kalksteinbrüchen (Malm δ) im Altmühltal hingegen können auf Grund der über viele Kilometer gleichbleibenden Schichtmächtigkeiten für die vertikale Meßrichtung jeweils die gleichen Werte angesetzt werden.

Es hat sich oftmals gezeigt, daß die Messungen in benachbarten Lagerstätten bzw. Aufschlüssen bereits gute Anhaltspunkte für die Dimension der Rohblöcke geben können. So zeigte sich im Buntsandstein bei Karlshafen sowohl in den Trendelburger als auch in den Karlshafener Schichten in Steinbrüchen, die einige Kilometer auseinanderliegen, ein gleiches Bild.
Um derartige Folgerungen ziehen zu können, sind in jedem Falle die regionalgeologischen Verhältnisse zu berücksichtigen.



Abb. 29: Granitsteinbruch Oberfrauenwald im Bayerischen Wald (Einteilung des Maß-Bandes in m).

Einschränkungen für die Methode zur Darstellung des Mindestblocks und der Rohblockhöffigkeit ergeben sich selbstverständlich bei dünnplattigen Gesteinen, wo die Trennflächenabstände in vertikaler Richtung deutlich unter 0,4 m liegen, wie beispielsweise für Solnhofener Plattenkalke oder einige Sandsteine im Solling (Sommerberg bei Holzminden).

Es sind somit grundsätzliche Methoden erarbeitet worden, die es ermöglichen,
- über das Messen von Trennflächen,
- mit den neu entwickelten Definitionen (Mindestblock und seine Höffigkeit) und
- mit den eigens dafür geschaffenen Auswertungsverfahren

Lagerstätten von Naturwerksteinen zu charakterisieren und zu bewerten.

6 Beschreibung der vermessenen Steinbrüche

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit wurde eine Vielzahl von Naturwerkstein-Lagerstätten in der alten Bundesrepublik qualitativ und quantitativ erfaßt.
Es handelt sich um folgende Gesteinsarten:

Diorit,
Granit, Granodiorit,
Sandstein,
Kalkstein,
Dolomitstein und
Tuffstein in

insgesamt 53 vermessenen Steinbrüchen.

Hierbei wurden die Trennflächenabstände gemäß den im vorangegangenen Kapitel erarbeiteten Methoden vermessen und anschließend in bezug auf die zu erwartenden Blöcke (deren Größe, Verteilung und Höffigkeit) ausgewertet.
Vor allem galt es, die in den Kapiteln 5.5 und 5.6 entwickelte Art der Bewertung auf Plausibilität und praktische Brauchbarkeit zu prüfen. Schließlich sollten so Lagerstätten miteinander verglichen werden und gegebenfalls Tendenzen für gewisse Regionen herausgearbeitet werden. Von besonderem Interesse war es festzustellen, inwieweit innerhalb eines Gebietes Messungen an benachbarten natürlichen Aufschlüssen und an Lagerstätten hilfreich sein könnten für das Bewerten neu zu erschließender Vorkommen.

Gemessen wurden vor Ort die Trennflächenabstände (in m)

- für die maximal erfaßbare Bezugsstrecke (in m),
- in den zueinander senkrecht stehenden Richtungen x, y, z,
- unter Angabe der Profilrichtungen in Grad.

Im Prinzip wurden also die unterschiedlichen Kantengrößen der zu erwartenden einzelnen Rohblock-Körper ≥ 0,1 m ermittelt. Deren Störungszonen und Trennflächenabstände unter 0,1 m wurden nicht gesondert erfaßt. Für jede einzelne der 53 Lagerstätten erfolgt die Wiedergabe der ausgewerteten Messungen hinsichtlich Trennflächenverteilung, Rohblockgröße und -höffigkeit nach folgendem einheitlichen Schema:

I. Tabelle
- Die Anzahl n_x, n_y der einzelnen Blocklängen ≥ 0,1 m als gemessene Trennflächen je Bezugsstrecke in Richtung x und y;
- das entlogarithmierte Mittel x_G, y_G aus den logarithmierten Daten der Kluftflächenabstände = geometrisches Mittel für die Profilrichtungen x und y;
- außerdem der daraus ermittelte Medianwert $\tilde{x}$ bzw. $\tilde{y}$, zur Kontrolle der lognormalen Verteilung.

II. Histogramm
- Die Häufigkeitsverteilung unterschiedlicher Trennflächenabstände ≥ 0,1 m prozentual als Histogramm für die Achsen x, y und z entsprechend der Kluftabstände für:
- x in 0,5 bzw. 1,0 m Klassengrößen;
  y in 0,5 bzw. 1,0 m Klassengrößen;
- bei den meist kleinen Werten der Schicht- und Bankmächtigkeiten
  z in 0,2 bzw. 0,4 m Klassengrößen.

III. Durchschnittsblock, wie er sich aus den arithmetischen Mittelwerten $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ aller gemessenen Trennflächenabstände je Achse ergibt (in m).

IV. Rohblockhöffigkeit η (Anteil an Mindest-Blöcken gemäß Anforderungen Kap. 5.5)

a) graphisch: Anteil der Trennflächenabstände x, y und z $\geq$ 1,0 und $\geq$ 0,4 m;

b) numerisch: Betrag des mittels der Computersimulation (Kapitel 5.6.1.4) errechneten Rohblockhöffigkeits-Wertes η (in % des gesamten Lagerstättenvolumens).

Die Reihenfolge der Abhandlung erfolgt nach Gesteinsarten und bei gleichen Gesteinsarten nach stratigraphischen Gesichtspunkten. In Kapitel 6.9 werden alle Lagerstätten in dieser Reihenfolge in einer gemeinsamen Darstellung gegenübergestellt.

6.1 Diorit

Diorite treten in Deutschland vor allem im Odenwald auf, in geringerem Maße am S-Rand des Spessarts sowie untergeordnet in der Oberpfalz und dem Bayerischen Wald. Der Quarzdiorit aus dem Oberkarbon, der im Handel fälschlicherweise auch Herchenröder "Granit" genannt wird, steht im Odenwald nahe der Ortschaft Herchenrode (Abb. 30) an.

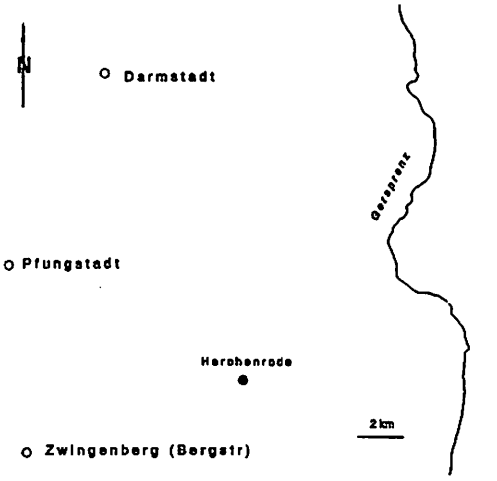


Abb. 30: Lage des Diorit-Steinbruchs Herchenrode (●).

Herchenrode

Die Farbe des bei Herchenrode anstehenden Diorits ist dunkelgrün bis schwarz.
Die Diorite werden trotz ihrer weiten Verbreitung im Odenwald nur noch an wenigen Orten und in geringen Mengen abgebaut. Hier treten sie in größeren zusammenhängenden Massen auf, sind jedoch auf mehr oder weniger inselartige Vorkommen von allerdings oft erheblichem Umfange inmitten des Granits beschränkt [49].

Diorit				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Herchenrode n_x= 26 n_y= 9	0,67	0,46	0,80	0,40

Tab. 10: Diorit, Herchenrode/Odenwald, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

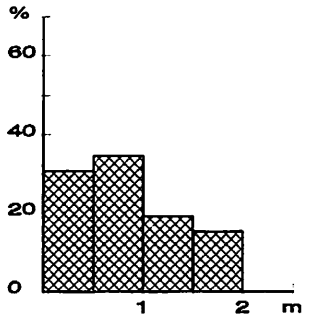


Abb. 31-1: Steinbruch Herchenrode. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 078°, n = 26).

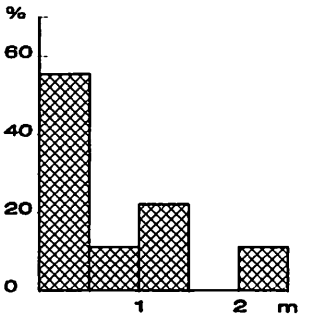


Abb. 31-2: Steinbruch Herchenrode. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 157°, n = 9).

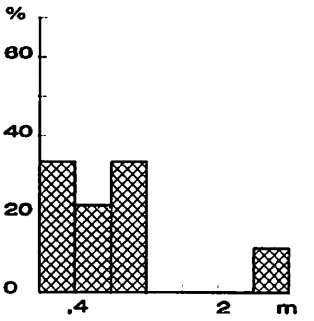


Abb. 31-3: Steinbruch Herchenrode. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 9).

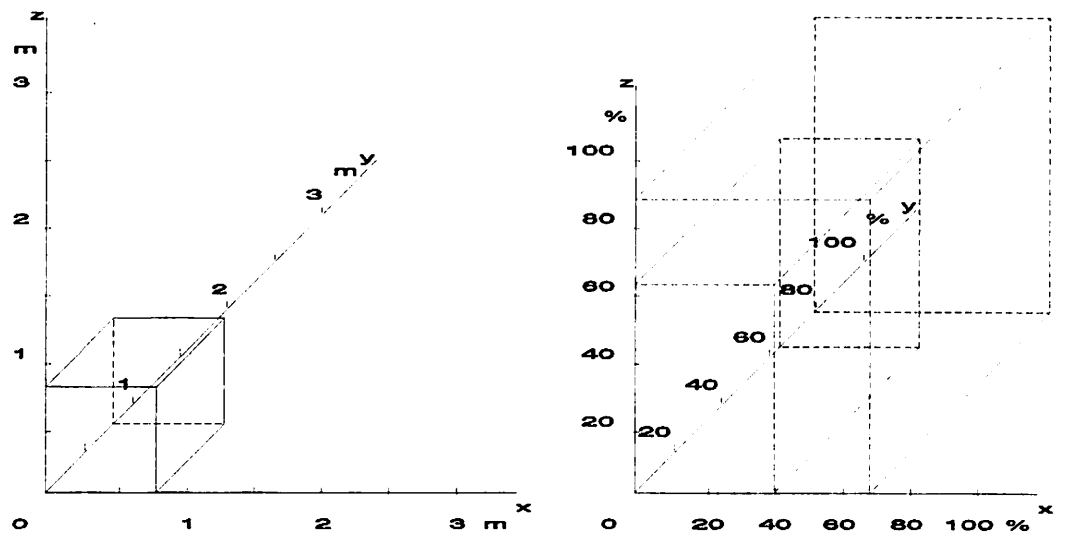


Abb. 32: Steinbruch Herchenrode. Links: Durchschnittsblock = 0,46 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (η = 44 %; Kap. 5.6.1.4).

Die Darstellung der Kluftflächenabstände in x-Richtung (Abb. 31-1) sowie in y-Richtung (Abb. 31-2) zeigt, daß ein relativ großer Anteil der Trennflächenabstände über dem geforderten Maß von 1 m liegen.
Bei den Abständen zwischen den horizontalen Trennflächen (Abb. 31-3) zeigen sich im Vergleich zu anderen Steinbrüchen hohe Werte.

Der durchschnittliche natürlich vorgegebene Rohblock liegt mit 0,46 m³ etwas über den geforderten 0,4 m³ des Mindestblocks (Abb. 32). Die potentielle Ausbeute an Mindestblöcken von ≥ 0,4 m³ liegt bei dem guten Wert von 44 Prozent.
Die nur zeitweilige Gewinnung erfolgt mit Handbohrhämmern und durch anschließendes Spalten.

6.2 Granit, Granodiorit

Granite und Granodiorite, die zur Naturwerksteingewinnung dienen bzw. gedient haben, kommen in folgenden Gegenden vor:

- Harz,
- Oberlausitz,
- Erzgebirge,
- Fichtelgebirge,
- Oberpfalz,
- Bayerischer Wald,
- Odenwald,
- Schwarzwald.

Bei Ergußgesteinen wie Graniten nimmt meist der Abstand zwischen den Lagerklüften mit der Teufe zu und damit die Blockgröße. Dies bedeutet aber keinesfalls, daß Granitvorkommen generell gut zur Werksteingewinnung geeignet sind. Bei Graniten ist eine Aussage über die Eignung als Naturwerksteinlagerstätte meist durchweg komplizierter als bei Kalkstein- oder Sandsteinvorkommen. Stärker als bei Sedimentgesteinen sind hier regionalgeologische Besonderheiten zu berücksichtigen. Auch die Spannungsverhältnisse werden mit zunehmender Teufe gravierender, worauf detaillierter in Kapitel 9.3.1 eingegangen wird.

Granit				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Tittling $n_x = 9$ $n_y = 13$	1,65	1,0	1,11	1,25
Oberfrauenwald $n_x = 15$ $n_y = 26$	0,57	1,14	0,40	1,95

Tab. 11: Granit-Steinbrüche aus dem Bayerischen Wald, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

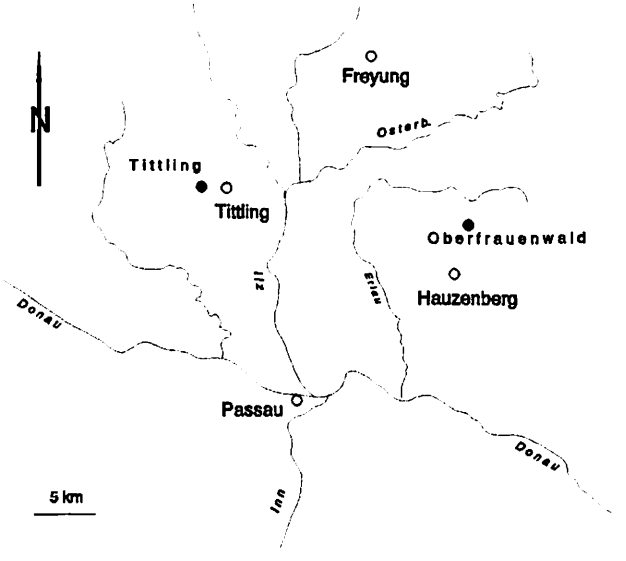


Abb. 33: Lage der gemessenen Steinbrüche (●) Tittling und Oberfrauenwald im südlichen Bayerischen Wald.

Im Laufe der Untersuchungen zu dieser Arbeit wurde eine Vielzahl von Granitsteinbrüchen befahren, wobei hinsichtlich der Blockgrößen sehr unterschiedliche Lagerstätten angetroffen wurden.

Messungen der Trennflächen erfolgten aus oben genannten Gründen (Zunahme der Bankmächtigkeiten mit der Teufe) nur in zwei Steinbrüchen aus dem Bayerischen Wald.

Gemessen wurde der Steinbruch im Granodiorit in der Nähe von Tittlingen sowie ein Granitsteinbruch nahe der Gemeinde Oberfrauenwald im südlichen Bayerischen Wald. In beiden Steinbrüchen erfolgt die Gewinnung von großvolumigen Blöcken.

6.2.1 Tittling

Der Granodiorit aus der Gegend von Tittling (Abb. 33) ist von schwarz-weißer Färbung und mittelkörnig. Wie die Histogramme zeigen, hat dieser Granodiorit große Trennflächenabstände. Der Kluftflächen liegen insbesondere in x-Richtung bis zu 11 m auseinander.

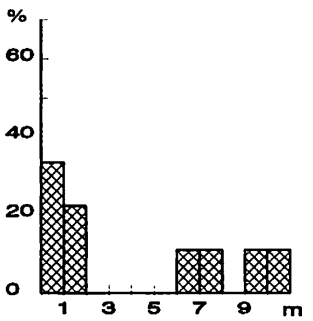


Abb. 34-1: Steinbruch Tittling. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 125°, n = 9).

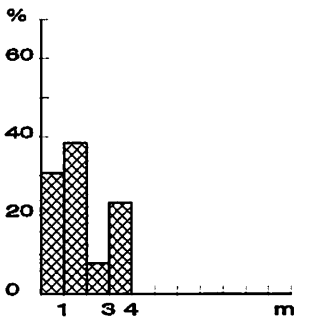


Abb. 34-2: Steinbruch Tittling. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 035°, n = 13).

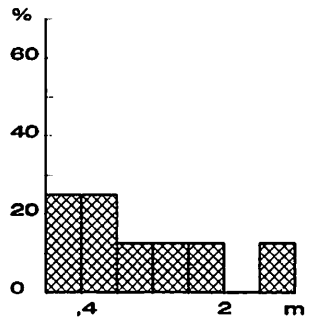


Abb. 34-3: Steinbruch Tittling. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 8).

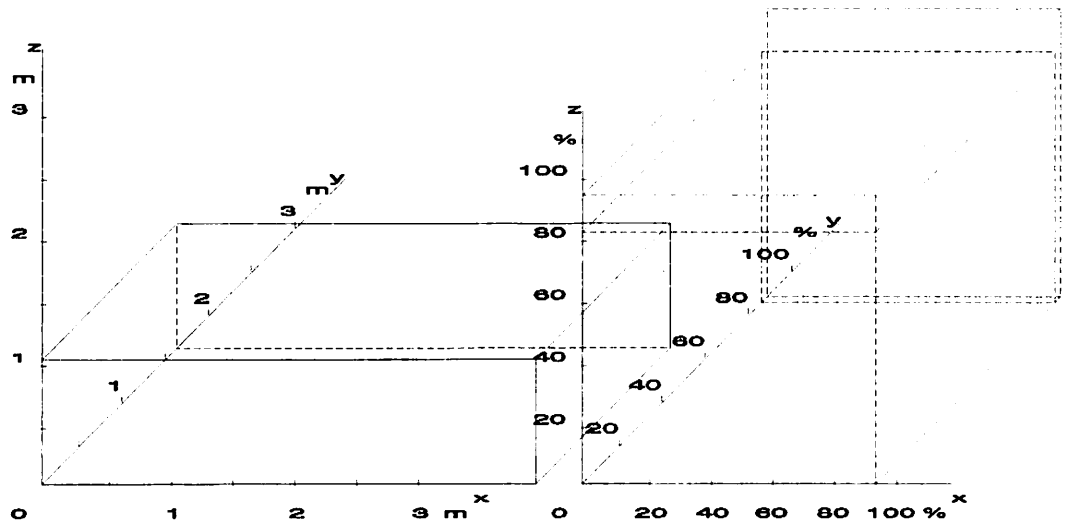


Abb. 35: Steinbruch Tittling. Links: Durchschnittsblock = 6,23 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 76 %).

Auch bei den Abständen der horizontalen Trennflächen (Abb. 34-3) zeigt die Lagerstätte im Vergleich zu anderen Gesteinsarten sehr hohe Werte, wobei auf die angeführte Problematik mit zunehmender Teufe hinzuweisen ist.
Wie die Darstellung zeigt (Abb. 35), liegt der Durchschnittsblock bei über 6 m³. Die potentielle Ausbeute hat in allen Richtungen sehr hohe Werte. Die Rohblockhöffigkeit beträgt 76 %. Die Gewinnung in dem Steinbruch erfolgt mit dem Flammenschneid- und dem Seilsägeverfahren.

6.2.2 Oberfrauenwald

Das Hauzenberg-Massiv zwischen Erlau, Oster- und Staffelbach stellt einen Granitblock dar, der in oberflächennahem Niveau flache Fugen im Gneisgebirge aufgestemmt und sich lakkolithenähnlich ausgebreitet hat. Die Wurzel und größte Mächtigkeit des Granits ist demnach im Massiv selbst zu suchen. An den Rändern schwächt sich die Mächtigkeit des Granits ab [178].

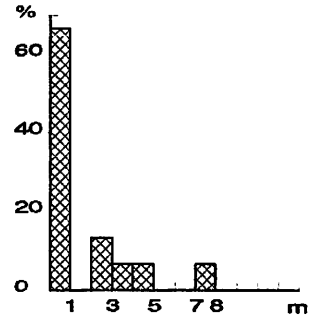


Abb. 36-1: Steinbruch Oberfrauenwald. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 085°, n = 15).

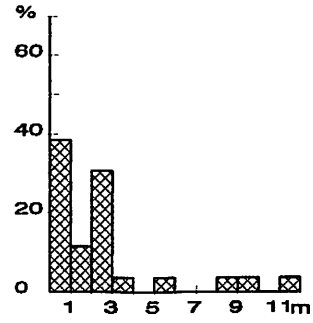


Abb. 36-2: Steinbruch Oberfrauenwald. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 174°, n = 26).

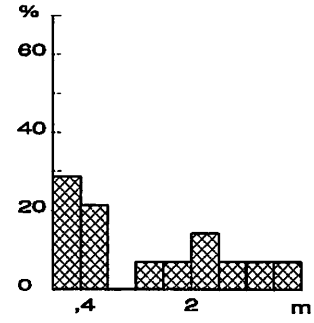


Abb. 36-3: Steinbruch Oberfrauenwald. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 14).

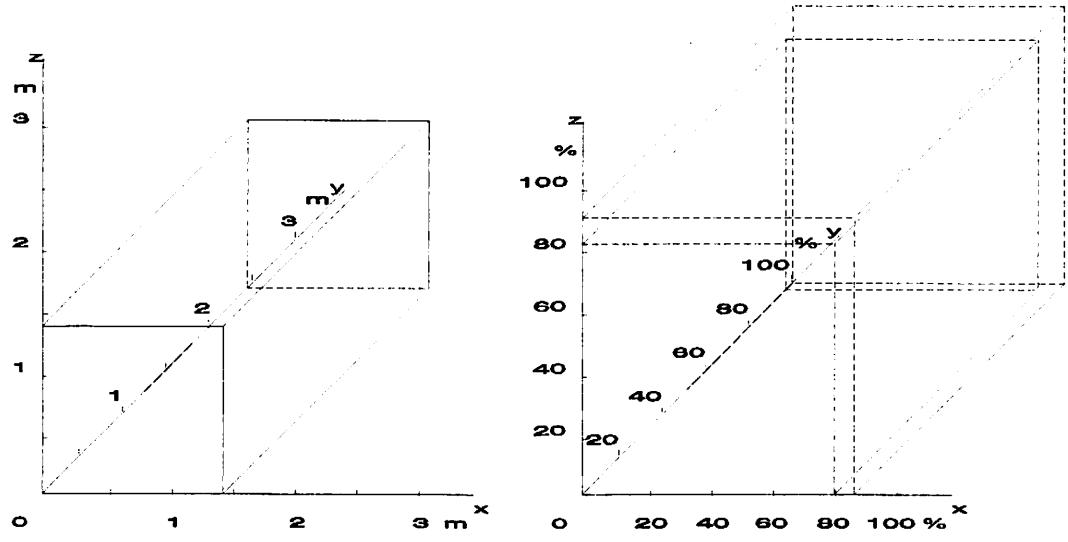


Abb. 37: Steinbruch Oberfrauenwald. Links: Durchschnittsblock = 4,68 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 76 %).

Im Granitsteinbruch Oberfrauenwald (Nähe von Hauzenberg)(Abb. 33) im Bayerischen Wald treten z. T. große Trennflächenabstände bis zu 8 m (Abb. 36-1) bzw. bis zu 12 m (Abb. 36-2) auf. Auf Grund der weiten Trennflächenabstände in allen Richtungen (Abb. 29) liegt der Durchschnittsblock bei 4,68 m³ und die Rohblockhöffigkeit mit 76 % bei ähnlich hohen Werten wie die der Lagerstätte Tittlingen.
Die Gewinnung in Oberfrauenwald erfolgt mit Handbohr- und Reihenbohrgeräten. Der Spaltvorgang wird mit hydraulischen Spaltgeräten sowie mit Sprengschnur durchgeführt.

6.3 Sandstein

In der Bundesrepublik Deutschland tritt eine Vielzahl von verschiedenartigen Sandsteinen auf, die zur Naturwerksteingewinnung dienen bzw. gedient haben. Von Bedeutung sind folgende Vorkommen:

- Ruhrsandstein,
- Rotliegend-Sandsteine (Saar-Nahe-Gebiet, Cornberg),
- Wesersandstein,
- Roter Mainsandstein,
- Roter Eifel-Sandstein,
- Muschelsandstein (Udelfangen),
- Werksandstein (bei Würzburg),
- Schilfsandstein (Heuchelberg, Sand a. Main),
- Weißer Mainsandstein,
- Burgsandstein (Nürnberg),
- Obernkirchener Sandstein,
- Elbsandstein.

6.3.1 Cornberger Sandstein

Südöstlich von Cornberg bei Bebra (Abb. 38) wird ein Sandstein abgebaut, der im Grenzbereich zwischen Rotliegendem und Zechstein ansteht. Es handelt sich hierbei um einen meist megakreuzgeschichteten Sandstein mit karbonatischem Bindemittel, der leicht absandet, aber ein verwitterungsbeständiger Naturwerkstein ist. Die Korngröße des Sandsteins liegt zwischen 0,3 - 0,5 mm. Die Kornform ist eckig. Das dekorative Aussehen des Cornberger Sandsteins verdankt er den in verschiedenen Brauntönen ringförmig angeordneten Eisenoxidausscheidungen (LIESEGANG'sche Ringe). Die Färbung reicht daher von hellgrau über dunkelgrau zu gelblichbraunen Tönen.

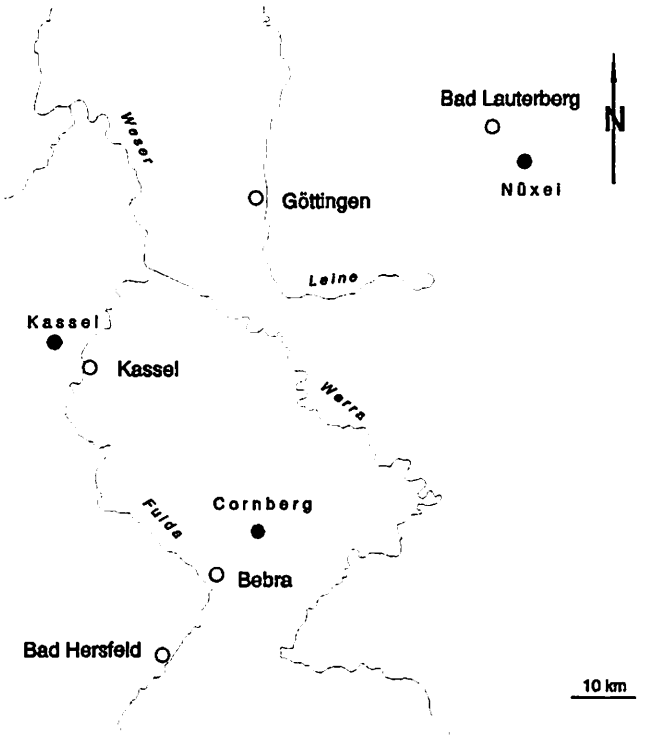


Abb. 38: Lage der gemessenen Steinbrüche (●) Cornberg (Sandstein), Nüxei (Dolomitstein) und Kassel (Tuffstein).

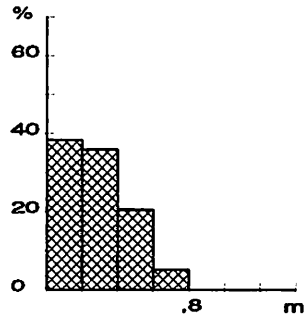


Abb. 39-1: Steinbruch Cornberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 125°, n = 38).

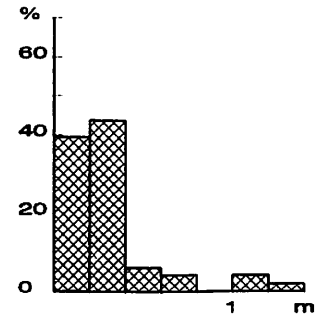


Abb. 39-2: Steinbruch Cornberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 014°, n= 48).

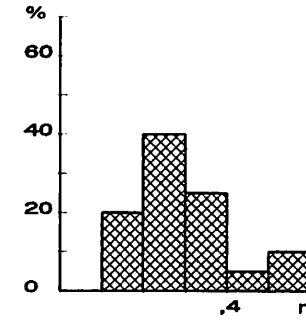


Abb. 39-3: Steinbruch Cornberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 20).

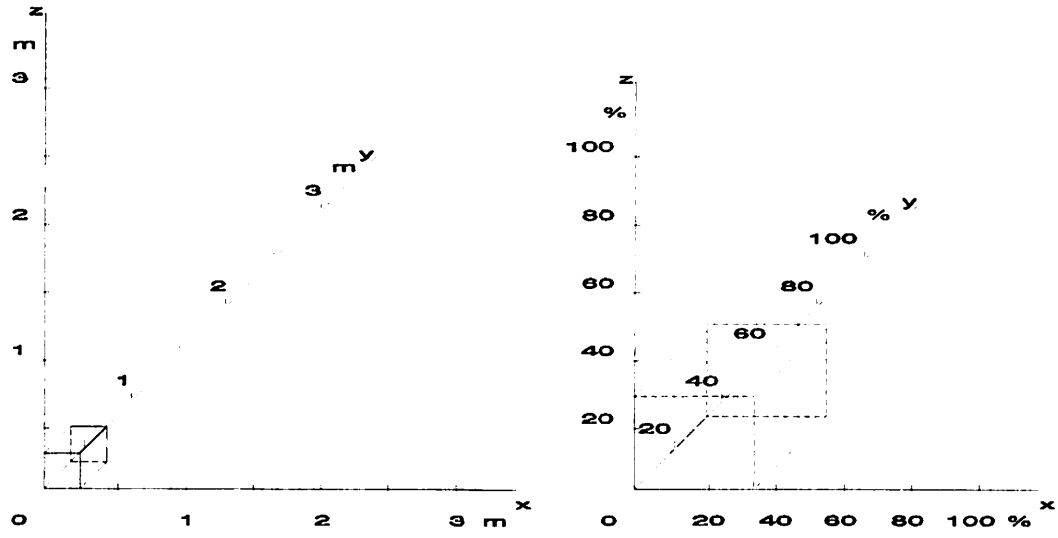


Abb. 40: Steinbruch Cornberg. Links: Durchschnittsblock = 0,02 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m. In x- u. z-Richtung sind die Abstände ≤ 1 m (die Rohblockhöffigkeit geht gegen 0).

Der Cornberger Sandstein im eigentlichen Sinn ist eine lokale Fazies der zeitgleichen geröllführenden Sandsteine und Konglomerate des Weißliegenden unter dem Kupferschiefer in den Rotliegendtrögen [128]. Hinsichtlich der Frage der Genese des Cornberger Sandsteins ist noch nicht befriedigend geklärt, ob hier ein subaerisches Dünensediment oder ein aquatisches Sediment vorliegt (s. a. [128]: 23).
Beide Deutungen erklären sein örtlich schnelles Auskeilen bzw. Anschwellen. Der als Naturwerkstein verwertbare Cornberger Sandstein in seiner hier beschriebenen Fazies hat nur eine geringe lokale Verbreitung in der Gegend von Sontra. Er erreicht oft Maximalmächtigkeiten von bis zu 20 m. Aufgeschlossen ist der Cornberger Sandstein SE' Sontra sowie NW' und SE' von Cornberg. In Bohrungen wurde der Cornberger Sandstein meist in Teufen von etwa 100 m oder darüber angetroffen. Aus den Bohrprotokollen ist zumeist nicht ersichtlich, ob es sich um den Cornberger Sandstein i. e. S. handelt, oder aber generell um den meist geröllführenden Weißliegendsandstein. Mit weiteren, größeren als Naturwerkstein gewinnbaren Lagerstätten ist daher kaum zu rechnen.

Die Mächtigkeit der Sandsteinbänke im Steinbruch SE' Cornberg liegt bei maximal 0,6 m (Abb. 39-3). Die Blockgrafik zeigt einen Durchschnittsblock von nur 0,02 m^3 (Abb. 40). Die errechnete Rohblockhöffigkeit (Blöcke ≥ 0,4 m^3) beträgt daher auch nur 0,2 %.

Cornberger Sandstein Rotliegend				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Cornberg n_x= 39 n_y= 48	0,22	0,22	0,20	0,20

Tab. 12: Cornberger Sandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen). Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte.

Der Großteil der gewonnenen Sandsteine wird daher als Mauerwerk- oder Verblendstein verwendet. Nur ein geringer Teil wird gesägt und als Fußbodenplatten verwendet. Oft werden leider auch große Blöcke von dem sehr dekorativ wirkendem Sandstein zu Flußbausteinen verarbeitet. Die hier anstehenden Vorräte werden schätzungsweise nur noch für ca. 5 Jahre ausreichen.
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer und durch Reißen mit Hydraulikbagger.

6.3.2 Roter Eifelsandstein

In der Westeifel wird der rote Eifelsandstein aus dem Mittleren und Oberen Buntsandstein abgebaut. Im Oberen Buntsandstein der Trierer Bucht wird in einer ca. 50 m mächtigen Zone der Voltziensandstein, vor allem in der Gegend von Aach und Kyllburg, als Naturwerkstein gewonnen.

Neuheilenbach

Bei Neuheilenbach, ca. 20 km nördlich von Bitburg (Abb. 41), steht ein fein- bis mittelkörniger, blaßroter bis roter Sandstein des Voltziensandsteins an. Der Steinbruch liegt seit einigen Jahren still, weil der Betrieb Konkurs anmelden mußte. Die eventuelle Wiederinbetriebnahme gestaltet sich schwierig, da in unmittelbarer Nähe eine Radarstation liegt und der Bau einer Straße geplant ist. Über die Hälfte der Schichtmächtigkeiten sind unter den geforderten 0,4 m (Abb. 42-3). Die durchschnittliche Blockgröße liegt mit 0,3 m^3 (Abb. 43) unter den als Mindestblock angesetzten 0,4 m^3.

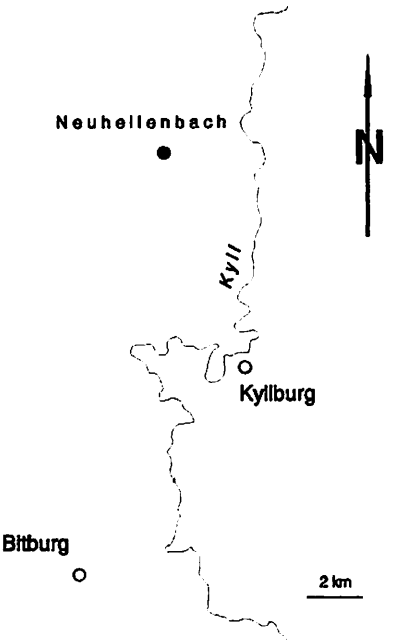


Abb. 41: Lage des gemessenen Steinbruchs Neuheilenbach in der Westeifel.

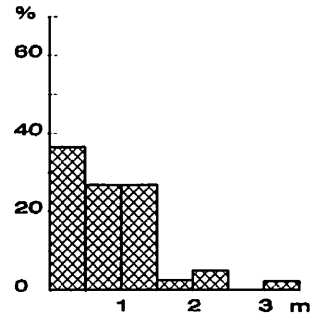


Abb. 42-1: Steinbruch Neuheilenbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 125°, n = 41.).

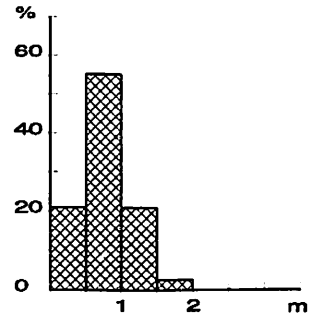


Abb. 42-2: Steinbruch Neuheilenbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 023°, n = 38).

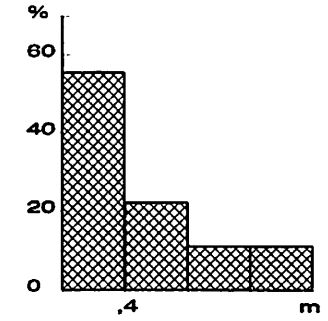


Abb. 42-3: Steinbruch Neuheilenbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 9).

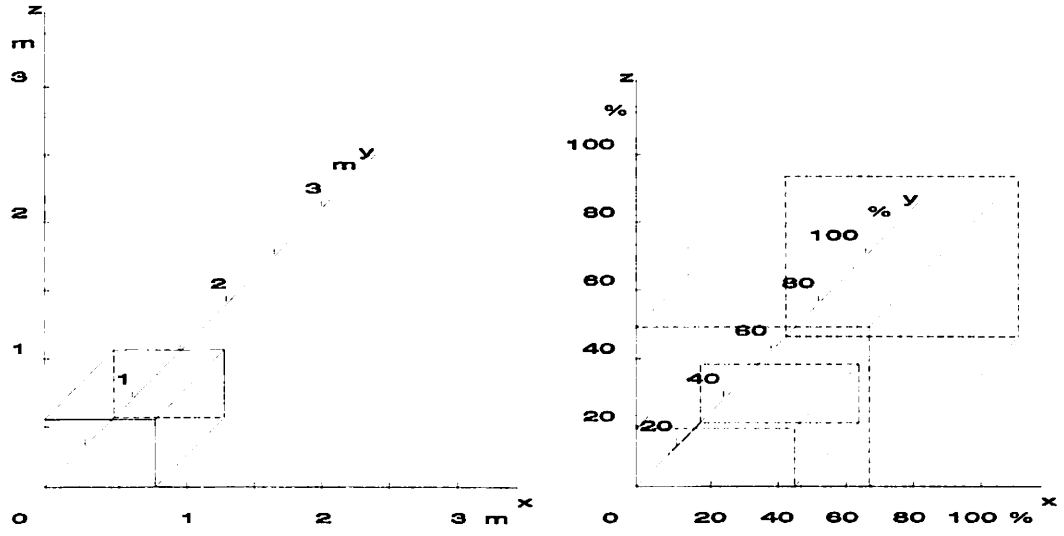


Abb. 43: Steinbruch Neuheilenbach. Links: Durchschnittsblock = 0,3 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 25 %).

Die Rohblockhöffigkeit der über 0,4 m³ liegenden Blöcke beträgt 25 %. Die Trennflächenabstände in x-Richtung liegen immerhin bei Abständen bis 3,5 m (Abb. 42-1).
Die Gewinnung erfolgte mit Handbohrhämmern. Näher eingegangen wird auf die Lagerstätte in den Kapiteln 6.9 und 9.4.1.

Eifelsandstein Buntsandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Neuheilenbach n_x= 41 n_y= 38	0,64	0,64	0,80	0,70

Tab. 13: Eifelsandstein, Neuheilenbach, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.3.3 Wesersandstein

Wesersandstein ist der allgemeine Handelsname für die im Solling und in der Umgebung von Bad Karlshafen gewonnenen roten Sandsteine. Der Untere Buntsandstein eignet sich nur untergeordnet als Naturwerkstein, und das Röt verfügt über keine geeigneten Bänke aus Sandstein, da hier vorwiegend Abfolgen aus Mergeln und Letten anstehen. Bedeutung für die Werksteingewinnung hat vor allem der Mittlere Buntsandstein.
Gewonnen werden Sandsteine aus der Bausandsteinzone der Solling-Folge (als stratigraphische Einheit). Hier tritt eine fazielle Sonderentwicklung als Bausandstein (smS2+3) mit mächtigen Bänken und besonderer Güte und Bearbeitbarkeit auf.

Wesersandstein Buntsandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Amelungsborn n_x= 53 n_y= 47	0,36	0,33	0,40	0,35
Eschershausen n_x= 48 n_y= 36	0,44	0,41	0,40	0,40
Eckberg n_x= 49 n_y= 29	0,74	0,51	0,70	0,40
Arholzen n_x= 47 n_y= 59	0,76	1,20	0,80	1,20
Bad Karlshafen 1 n_x= 78 n_y= 40	0,32	0,53	0,35	0,50
Bad Karlshafen 2 n_x= 93 n_y= 22	0,35	0,58	0,35	0,58
Bad Karlshafen 3 n_x= 99 n_y= 38	0,29	0,45	0,30	0,47
Bad Karlshafen 4 n_x=148 n_y= 40	0,24	0,36	0,25	0,42
Wülmersen n_x= 47 n_y= 56	0,24	0,41	0,25	0,40

Tab. 14: Lagerstätten im Wesersandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Die Solling-Folge gliedert sich im Bad Karlshafener Raum (v. Hangenden zum Liegenden) in:

- Stammener Schichten,
- Karlshafener Schichten, smS3 (ca. 30 m mächtig)
- Trendelburger Schichten, smS2 (ca. 60 m mächtig) und
- Wilhelmshausener Schichten.

Abgebaut werden hier die Sandsteine vorwiegend in den Karlshafener und Trendelburger Schichten (Bausandsteinzone). Die Trendelburger Schichten sind zumeist Feinsandsteine von violetter bis bräunlicher Farbe und glimmerarm. Die Karlshafener Schichten sind feinkörnig, von violettbrauner bis rötlichbrauner Farbe und zumeist stark glimmerführend. Eine Gliederung des Bausandsteins in Trendelburg- und Karlshafen-Sandstein erscheint im nördlichen Solling nicht möglich (vgl. [175]:26). Abgebaut wird der plattige bis dickbankige Sandstein der Solling-Folge bis etwa 15 - 20 m unterhalb der Stammener Schichten (STEIN, V. in [114]).
Verwendung finden die Sandsteine hauptsächlich als Gartenplatten und Pflastersteine. Früher wurden sie auch zu Dach- und Fassadenplatten weiterverarbeitet.

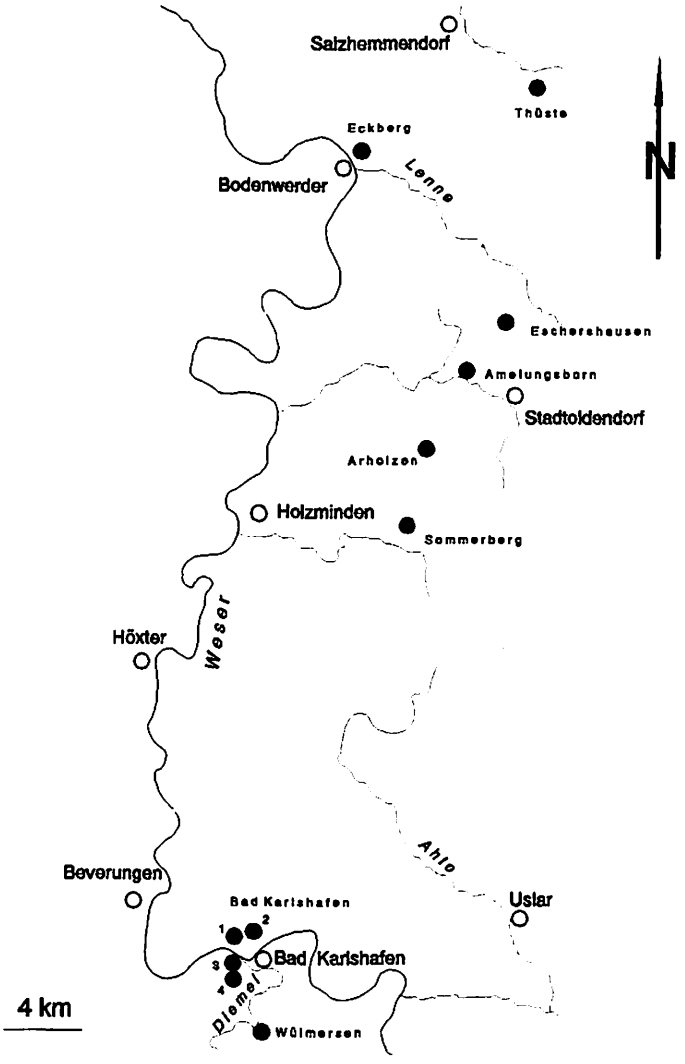


Abb. 44: Lage der Steinbrüche (●) im Weserbergland.

6.3.3.1 Eckberg

Am Eckberg bei Bodenwerder an der Weser (Abb. 44) wird ein Sandstein aus der Bausandsteinzone der Solling-Folge (Buntsandstein) abgebaut. Die Schichtung fällt hier generell mit 12° nach NE ein.

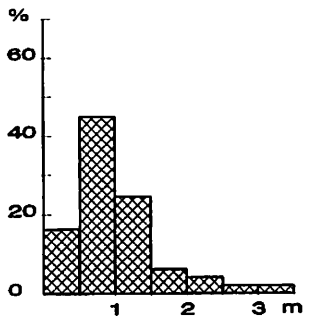


Abb. 45-1: Steinbruch Eckberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 118°, n = 49).

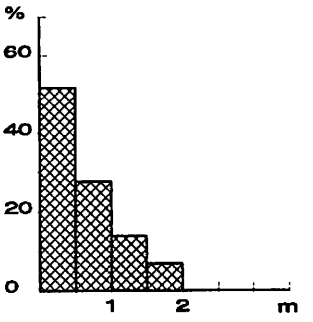


Abb. 45-2: Steinbruch Eckberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 005°, n = 29).

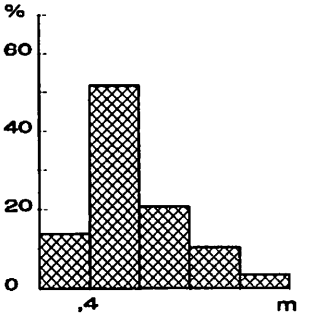


Abb. 45-3: Steinbruch Eckberg. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 29).

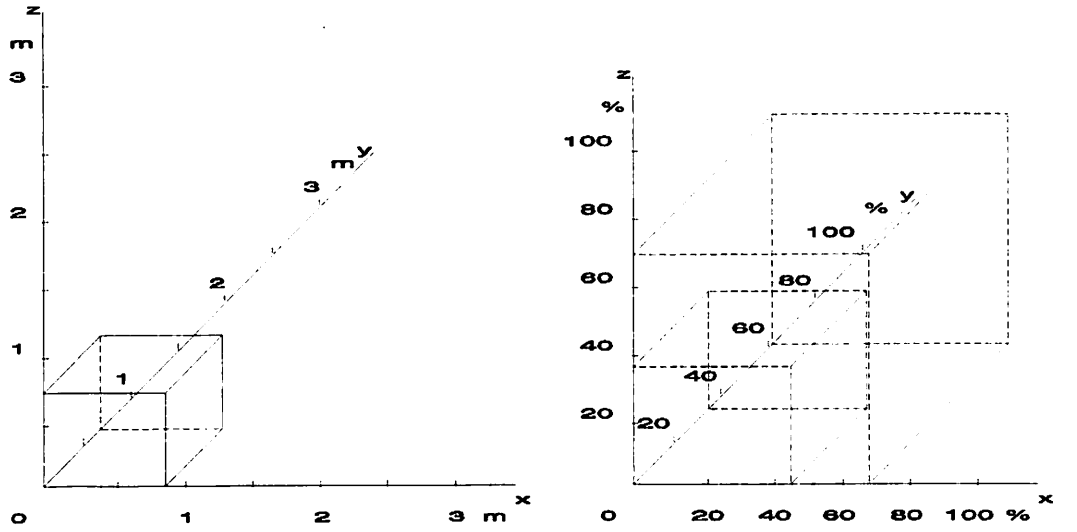


Abb. 46: Steinbruch Eckberg. Links: Durchschnittsblock 0,38 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 22 %).

Die Trennflächenabstände betragen in x- und in y-Richtung bis 3,5 m (Abb. 45-1) bzw. 2 m (Abb. 45-2). Die Schichtmächtigkeiten reichen bis 2 m (Abb. 45-3).
Der Durchschnittsblock liegt mit 0,38 m³ annähernd bei dem Wert des geforderten Mindestmaßes (Abb. 46). Die Rohblockhöffigkeit liegt bei knapp 22 Prozent.
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhämmern und durch anschließendes Spalten mit Federkeilen.

6.3.3.2 Eschershausen

Der Steinbruch liegt südlich von Eschershausen (Abb. 44). Wie die Abbildungen Abb. 47-1 bis Abb. 47-3 zeigen, sind vor allem die horizontalen Trennflächenabstände ausschlaggebend für den relativ guten Wert von 24 % Rohblockhöffigkeit (Abb. 48). Die Trennflächenabstände reichen in x-Richtung bis 2,2 m und in y-Richtung nur bis 1,6 m.

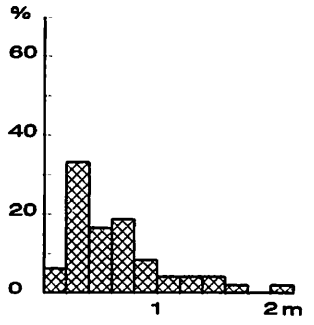


Abb. 47-1: Steinbruch Eschershausen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 061°, n = 48).

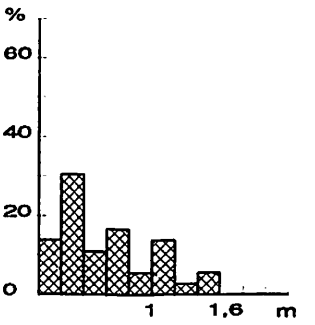


Abb. 47-2: Steinbruch Eschershausen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 165°, n = 36).

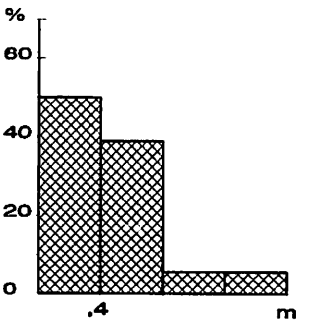


Abb. 47-3: Steinbruch Eschershausen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 18).

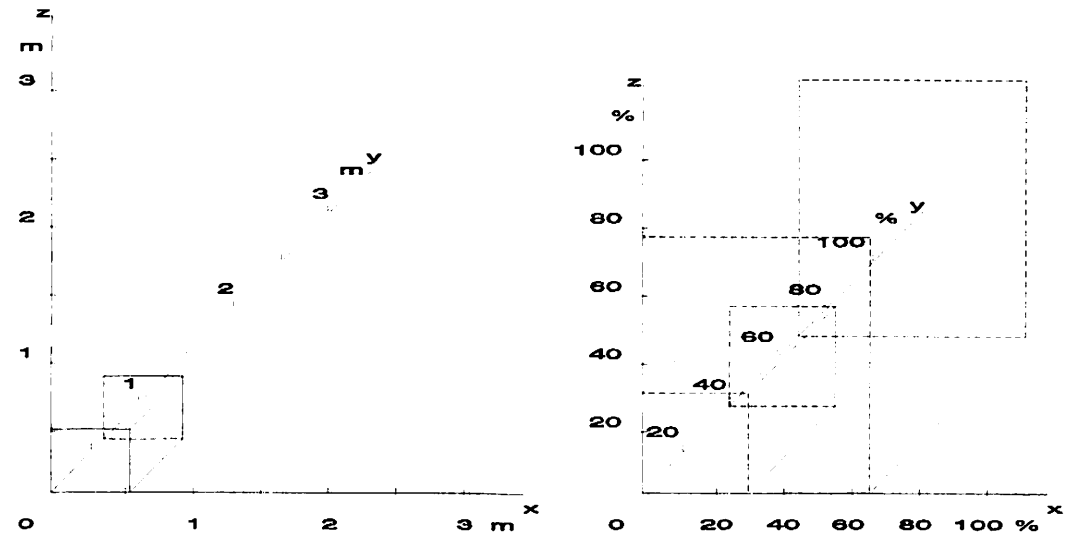


Abb. 48: Steinbruch Eschershausen. Links: Durchschnittsblock = 0,15 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (maximale Rohblockhöffigkeit liegt bei 24 %).

Der Durchschnittsblock liegt hierbei dennoch wegen der geringen horizontalen Trennflächenabstände nur bei 0,15 m³.
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhämmern und durch anschließendes Spalten mit Federkeilen.

6.3.3.3 Amelungsborn

Auch der Steinbruch in der Nähe von Amelungsborn (Abb. 44) weist auf Grund der geringen Kluftabstände nur kleine Blockdimension von durchschnittlich 0,05 m^3 auf (Abb. 50). Die Rohblockhöffigkeit liegt bei 1,5 %. Die noch besten Trennflächenabstände zeigen sich zwischen den horizontal liegenden Schichtflächen.
Insgesamt gesehen ist dieser Steinbruch für die Gewinnung von Rohblöcken zum Sägen nicht geeignet. Daher werden aus dem Rohmaterial Gartenplatten, Bruch- und Mauersteine sowie Bausteine hergestellt.

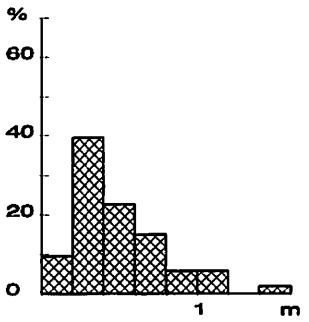


Abb. 49-1: Steinbruch Amelungsborn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 060°, n = 53).

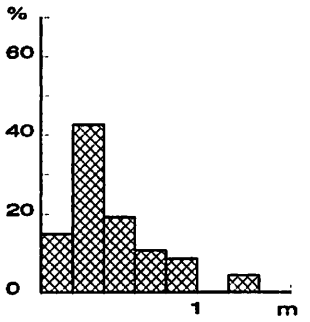


Abb. 49-2: Steinbruch Amelungsborn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 155°, n = 47).

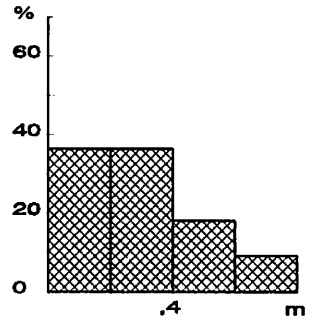


Abb. 49-3: Steinbruch Amelungsborn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

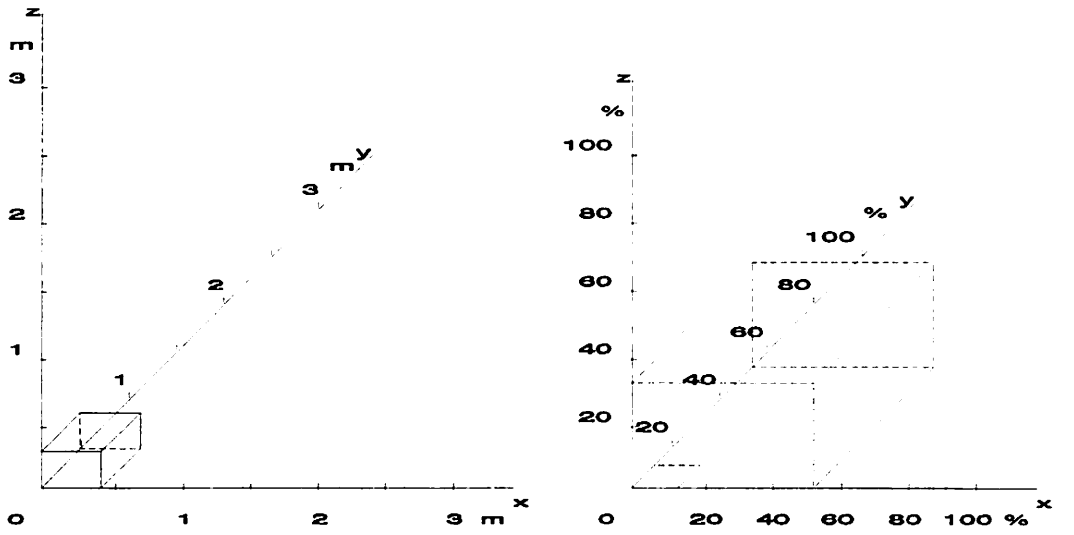


Abb. 50: Steinbruch Amelungsborn. Links: Durchschnittsblock = 0,05 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = < 2 %).

Die Gewinnung erfolgt sowohl durch Reißen mit der Spitzhacke als auch mit dem Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten mit Keilen.

6.3.3.4 Arholzen

Im Steinbruch bei Arholzen (Abb. 44) zeigt sich im Vergleich zu den anderen aufgeführten Wesersandsteinbrüchen ein gänzlich anderes Bild. Für die große Dimension der Blöcke sind vor allem die y-Trennflächenabstände verantwortlich (Abb. 51-2), die deutlich über die anderen Parameter herausragen. Auch die Schichtflächenabstände (Abb. 51-3) liegen immerhin zu 60 % über dem geforderten Abstand von 0,4 m (Abb. 52).

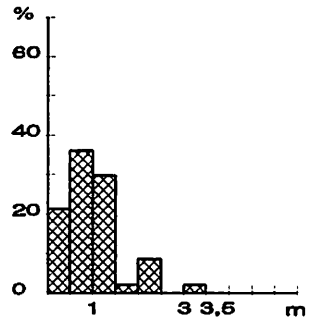


Abb. 51-1: Steinbruch Arholzen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 105°, n = 47).

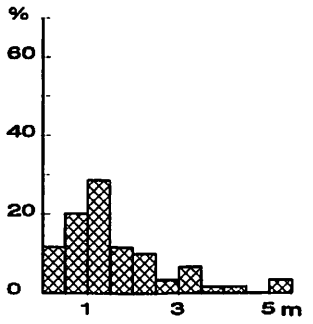


Abb. 51-2: Steinbruch Arholzen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 012°, n = 59).

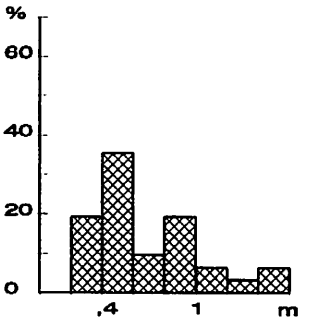


Abb. 51-3: Steinbruch Arholzen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 31).

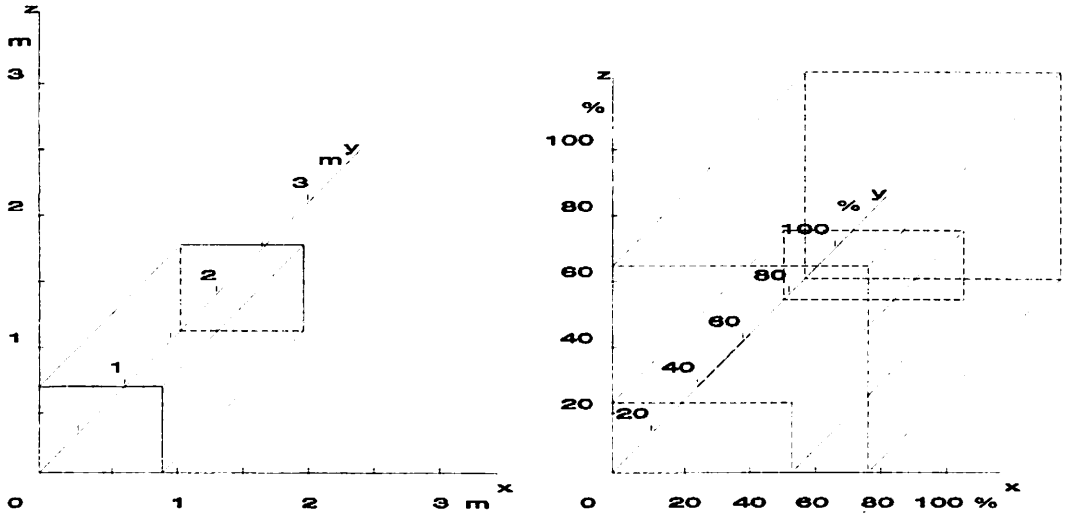


Abb. 52: Steinbruch Arholzen. Links: Durchschnittsblock = 0,94 m³. Rechts: Abteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 39 %).

Demnach liegt der Durchschnittsblock bei 0,94 m³ und die Rohblockhöffigkeit bei dem für Wesersandsteinbrüche sehr guten Wert von 39 % (Abb. 52).
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten mit Federkeilen.

6.3.3.5 Bad Karlshafen 1

Der Steinbruch liegt nördlich von Bad Karlshafen (Abb. 44). Die Trennflächenabstände entlang der Profilstrecke x betragen bis zu 1 m (Abb. 53-1). Entlang der Profilstrecke y hingegen treten beachtliche Trennflächenabstände von bis zu 2,8 m (Abb. 53-2) auf.

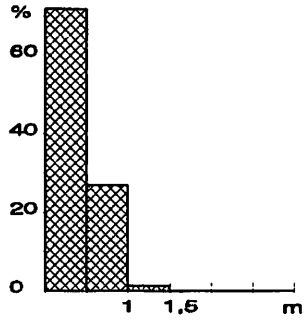


Abb. 53-1: Steinbruch Bad Karlshafen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 087°, n = 78).

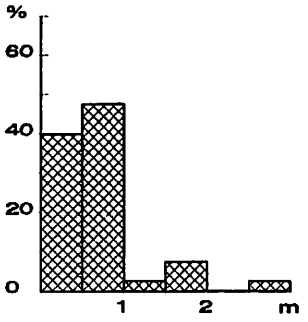


Abb. 53-2: Steinbruch Bad Karlshafen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 170°, n = 40).

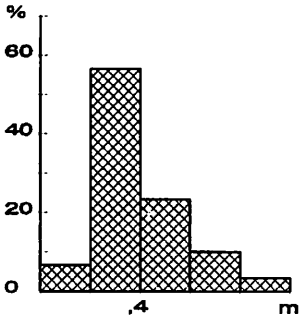


Abb. 53-3: Steinbruch Bad Karlshafen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 30).

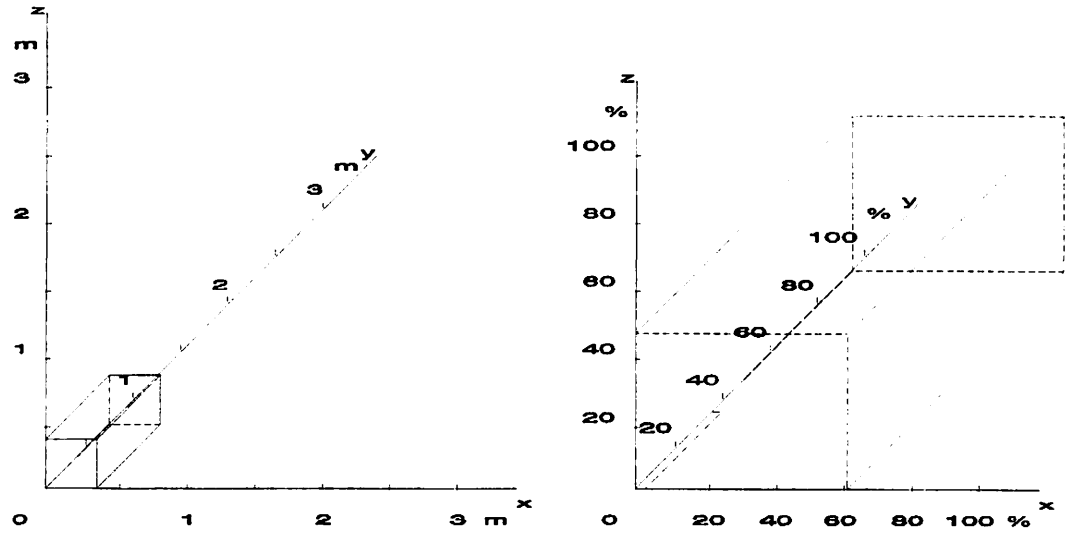


Abb. 54: Steinbruch Bad Karlshafen 1. Links: Durchschnittsblock = 0,09 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 9 %).

Der Prozentanteil der ≥ 1,0 m liegenden Kluftabstände ist jedoch sehr niedrig. Daher ergibt sich in dieser Lagerstätte nur ein Durchschnittsblock von 0,09 m³ sowie eine relativ geringe Rohblockhöffigkeit von 9 % (Abb. 54).
Die Gewinnung erfolgt durch Reißen mit Radlader, mit Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten.

6.3.3.6 Bad Karlshafen 2

Der zweite gemessene Steinbruch bei Karlshafen zeigt ein ähnliches Bild wie der ca. 500 m westlich gelegene Steinbruch Bad Karlshafen 1 (Abb. 44), auch in bezug auf seine Rohblockhöffigkeit (7 %) und die Größe des Durchschnittsblocks (0,1 m^3)(Abb. 56). Nur wenige Abstände der seigeren Trennflächen liegen über 1 m. So reichen die Blocklängen maximal nur bis 1,6 m.

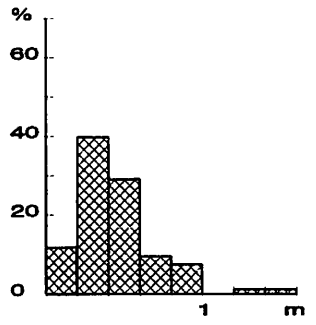


Abb. 55-1: Steinbruch Bad Karlshafen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 087°, n = 93).

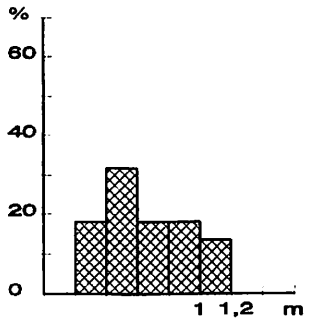


Abb. 55-2: Steinbruch Bad Karlshafen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 173°, n = 22).

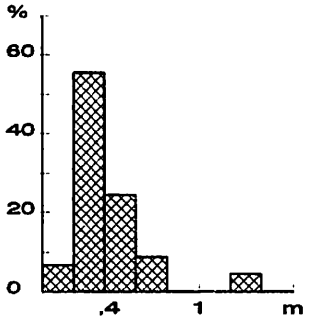


Abb. 55-3: Steinbruch Bad Karlshafen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 45).

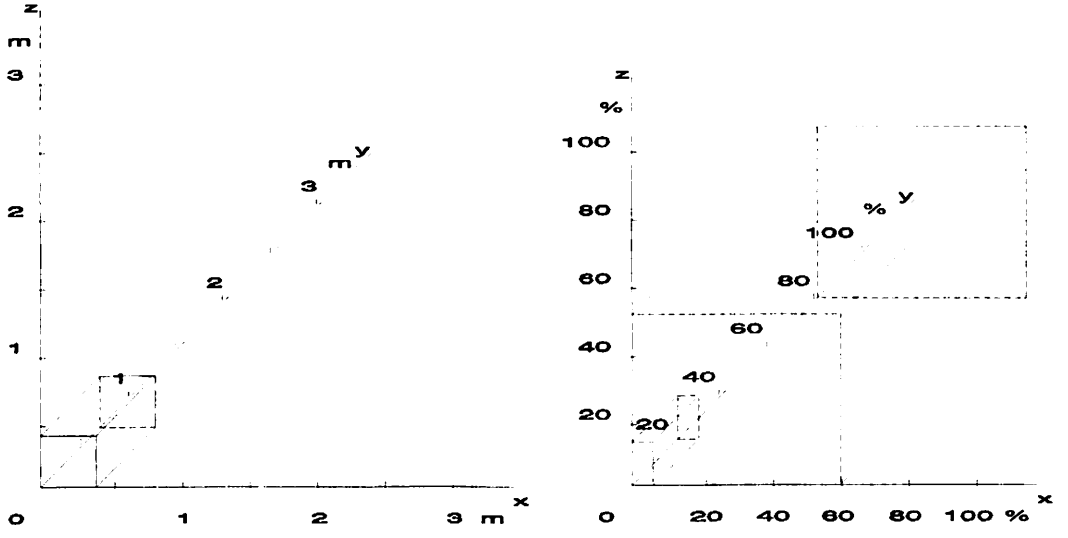


Abb. 56: Steinbruch Bad Karlshafen 2. Links: Durchschnittsblock = 0,1 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 7 %).

Nur ein geringer Anteil des gewonnenen Materials wird dem Sägegatter zugeführt, der vorwiegende Teil dient zur Herstellung von Pflaster- und Kleinpflastersteinen. Dadurch kann ein sehr großer Teil der Lagerstätte mit bewertet werden, der in anderen Lagerstätten oft als Abfall verfällt (vgl. Kapitel 6.9).
Die Gewinnung erfolgt hauptsächlich durch Reißen mit einer Raupe (Abb. 204).

6.3.3.7 Bad Karlshafen 3

Der Steinbruch befindet sich westlich von Bad Karlshafen (Abb. 44) in den Karlshafener Schichten. Auch hier liegen die seigeren Trennflächen nur bis maximal 1,6 m (Abb. 57-1) auseinander, in der Mächtigkeit liegen nur wenige Bänke (knapp 10 %) über 0,4 m (Abb. 57-3). Daher der kleine Durchschnittsblock von 0,07 m^3 und die Rohblockhöffigkeit von 7 %.

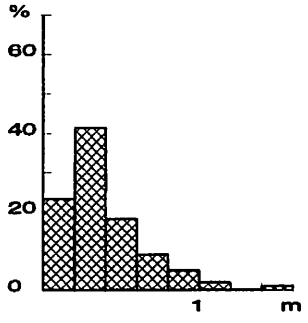


Abb. 57-1: Steinbruch Bad Karlshafen 3. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 095°, n = 99).

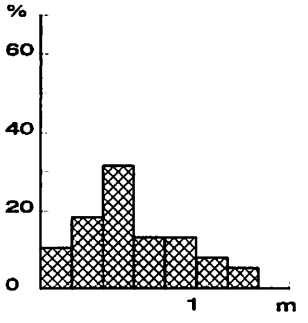


Abb. 57-2: Steinbruch Bad Karlshafen 3. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 170°, n = 38).

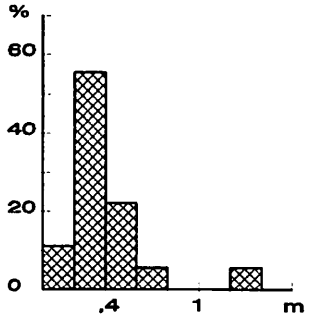


Abb. 57-3: Steinbruch Bad Karlshafen 3. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 18).

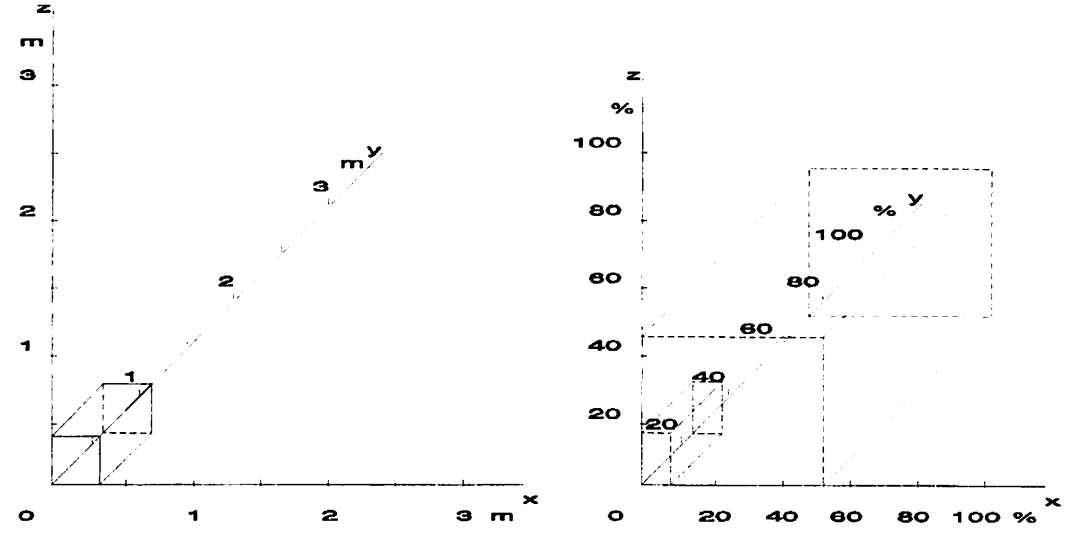


Abb. 58: Steinbruch Bad Karlshafen 3. Links: Durchschnittsblock = 0,07 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 7 %).

Dennoch sind hier gelegentlich noch Rohblöcke bis zu 2 m^3 zu gewinnen. Der Steinbruchbetrieb hat sich auf die geringen Rohblockgrößen eingestellt und vertreibt daher den überwiegenden Teil als Mauersteine, Pflastersteine, Garten- und Gehwegplatten. Nur der Rest wird im Sägegatter weiterbearbeitet.
Die Gewinnung erfolgt durch Reißen mit dem Radlader sowie mit Handbohrhammer und durch anschließendem Spalten mit Keilen.

6.3.3.8 Bad Karlshafen 4

Der 200 m südlich vom Bruch Bad Karlshafen 3 gelegene Steinbruch (Abb. 44) liegt in den Trendelburger Schichten. Die Kluftabstände in x-Richtung liegen unter 1 m (Abb. 59-1) und damit unter den notwendigen Anforderungen. In y-Richtung (Abb. 59-2) liegt ebenfalls nur ein Anteil von etwa 10 % über dem Minimum von 1 m Trennflächenabstand. Hierdurch erklärt sich ein Durchschnittsblock von nur 0,04 m^3 sowie eine geringe Höffigkeit von 1,5 % an Rohblöcken, deren Maße über dem Mindestblock liegen.

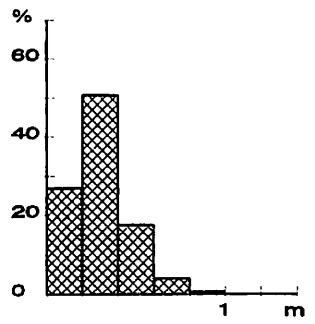


Abb. 59-1: Steinbruch Bad Karlshafen 4. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 085°, n = 148).

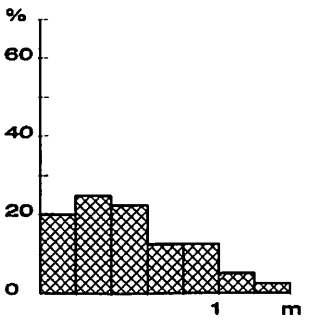


Abb. 59-2: Steinbruch Bad Karlshafen 4. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 160°, n = 40).

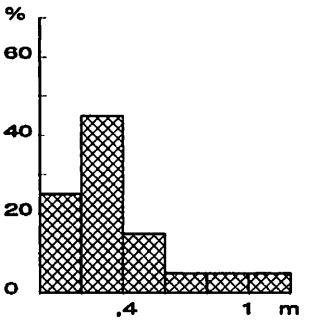


Abb. 59-3: Steinbruch Bad Karlshafen 4. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 20).

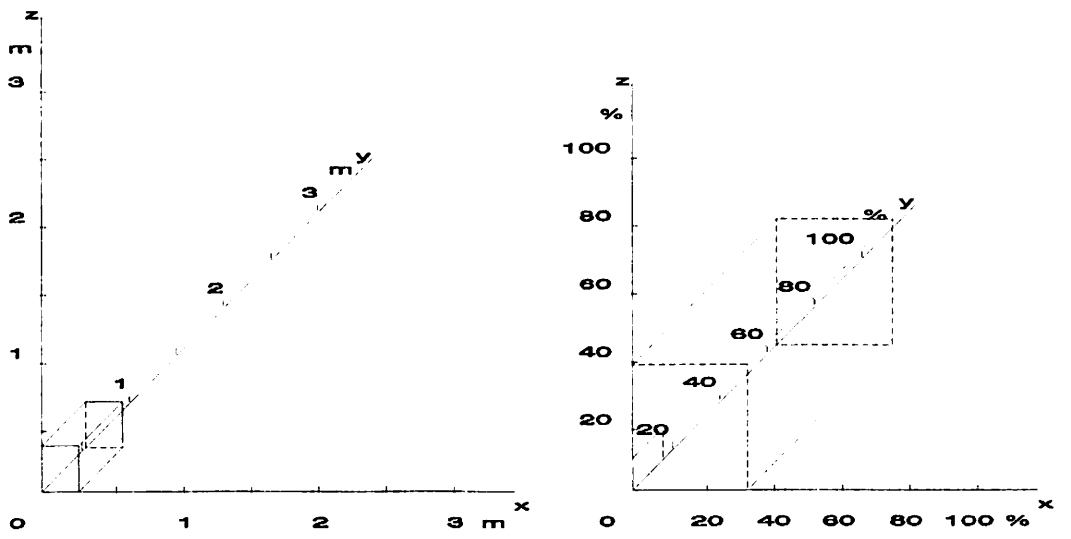


Abb. 60: Steinbruch Bad Karlshafen 4. Links: Durchschnittsblock = 0,04 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 1,5 %).

Dieser Steinbruch wurde inzwischen stillgelegt.

6.3.3.9 Wülmersen

Der Steinbruch Wülmersen liegt südlich von Bad Karlshafen östlich der Ortschaft Wülmersen (Abb. 44).
Auch ist hier die Rohblockhöffigkeit ≥ 0,4 m³ mit nur 2,5 % sehr niedrig (Abb. 62). Die Trennflächenabstände entlang der Profilstrecke x weisen nur Werte kleiner 0,8 m auf (Abb. 61-1); in y-Richtung liegen die meisten Werte unter 1 m, wenige Prozent der Trennflächenabstände liegen zwischen 2,6 - 2,8 m (Abb. 61-2).

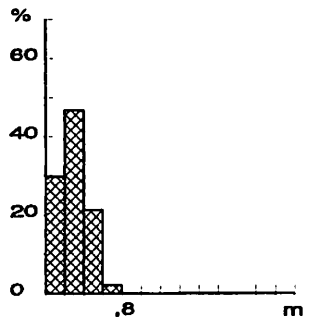


Abb. 61-1: Steinbruch Wülmersen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 082°, n = 47).

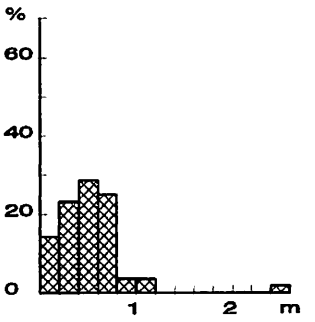


Abb. 61-2: Steinbruch Wülmersen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 001°, n = 56).

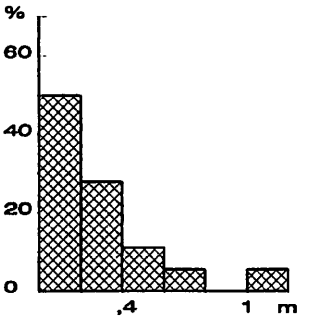


Abb. 61-3: Steinbruch Wülmersen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 18).

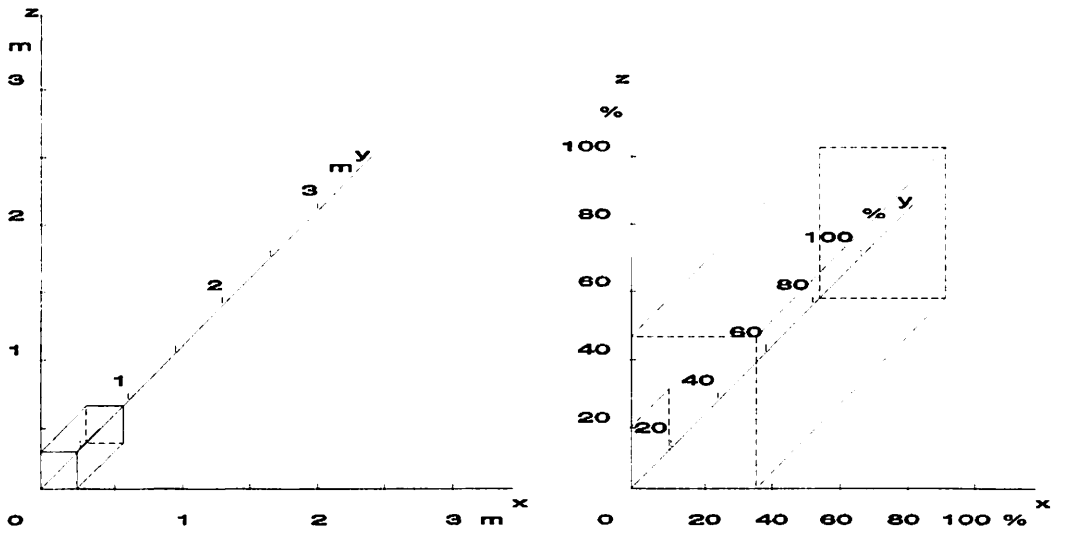


Abb. 62: Steinbruch Wülmersen. Links: Durchschnittsblock = 0,04 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = < 3 %).

Der Durchschnittsblock liegt nur bei 0,04 m³. Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten mit Keilen.

6.3.3.10 Wesersandstein-Gesamt

Die Meßwerte aller Wesersandstein-Brüche aus dem Solling wurden zusammengefaßt (Abb. 63, Abb. 64). Eine getrennte Analyse für die Steinbrüche aus dem Nord-Solling (Abb. 161, Abb. 162) und für die aus der Umgebung von Bad Karlshafen (Abb. 163, Abb. 164) wird später gegeben. Deutlich wird hierbei, daß die meisten Trennflächenabstände (80 - 90 %) Werte ≤ 1,0 m aufweisen, und die im Nord-Solling gelegenen Steinbrüche geringere Trennflächendichte besitzen als im Raum von Bad Karlshafen.

Die in der Umgebung von Bad Karlshafen gelegenen Lagerstätten zeigen ziemlich ähnliche Blockgrößen und Trennflächenabstände. Die Rohblockhöffigkeit liegt hier bei allen Lagerstätten im Bereich von nur ca. 8 %.

Solling - Gesamt Sandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Solling-Gesamt $n_x = 662$ $n_y = 367$	0,34	0,51	0,35	0,50

Tab. 15: Lagerstätten im Solling zusammengefaßt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

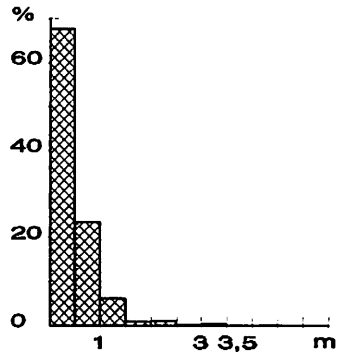


Abb. 63: Solling, alle Steinbrüche. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = ~090°, n = 662).

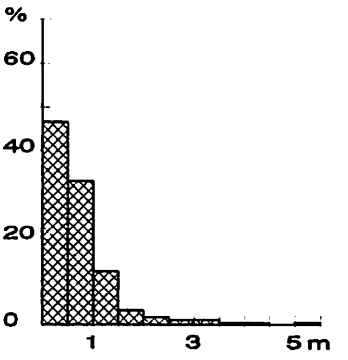


Abb. 64: Solling, alle Steinbrüche. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = ~000°, n = 367).

6.3.4 Roter Mainsandstein

Als Roter Mainsandstein werden die Buntsandsteinvorkommen im Raum von Wertheim, Würzburg und Miltenberg bezeichnet.
Der hier abgebaute Plattensandstein aus dem oberen Buntsandstein (so2) ist nur teilweise in dickbankiger Fazies ausgebildet. Die Gewinnung erfolgt vorwiegend in den randnahen Faziesbereichen (Becken), die tonärmer sind. Hier nimmt die Sandsteinbildung zu, die Hangendgrenze des Grenzquarzits wird undeutlicher, und Röttone werden auch von der Sandsteinbildung erfaßt.

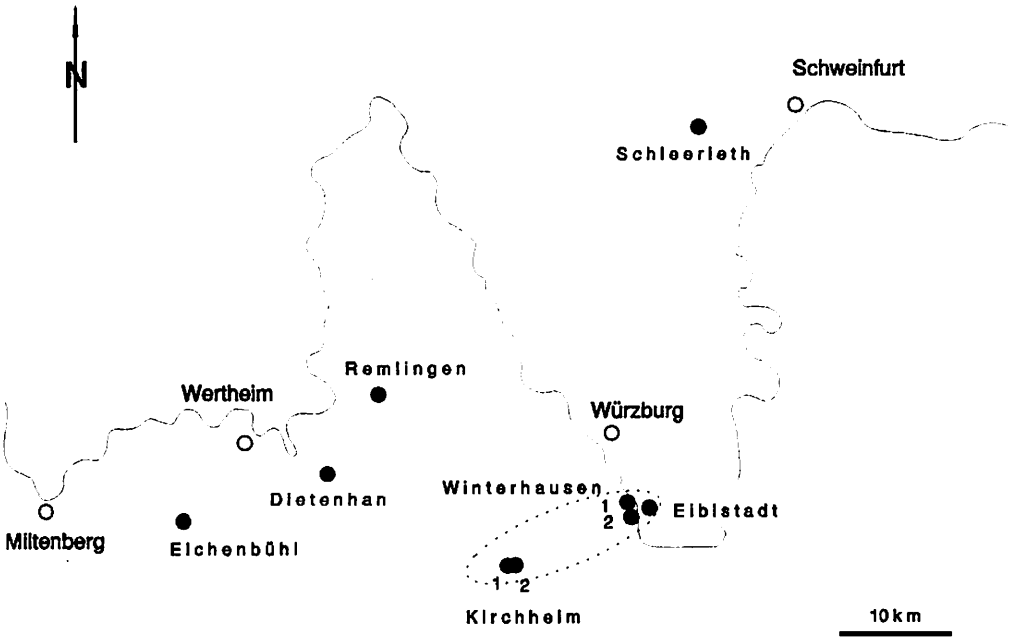


Abb. 65: Lage der gemessenen Steinbrüche (●) in der Umgebung von Würzburg. Umkreist = Quaderkalksteinbrüche.

Gemessen wurden die Steinbrüche von Remlingen (Abb. 67), Eichenbühl (Abb. 69) und Dietenhan (Abb. 71).

Im Vergleich zu den Lagerstätten im mittleren Buntsandstein aus dem Weserbergland zeigt sich hier, daß die Trennflächenabstände im Mittel fast um das Doppelte größer sind. Bei allen Lagerstätten sind die Mittelwerte der x-Richtung beinahe gleich, nur in y-Richtung zeigen sich eindeutige Unterschiede, die im Falle der Erschließung neuer Lagerstätten genauer regional zu beachten sind.
Auch hier ist zu berücksichtigen, daß die Bankmächtigkeiten örtlich stark an- bzw. abschwellen können.

Roter Mainsandstein Plattensandstein/so2				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Remlingen $n_x = 14$ $n_y = 14$	0,83	1,21	1,30	1,09
Dietenhan $n_x = 26$ $n_y = 32$	0,77	0,54	0,95	0,49
Eichenbühl $n_x = 23$ $n_y = 9$	0,73	3,32	1,00	4,39

Tab. 16: Lagerstätten im "Roten Mainsandstein", Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.3.4.1 Remlingen

Die Lagerstätte liegt südwestlich der Ortschaft Remlingen (Abb. 65). Über 40 % der Schichtflächenabstände im Steinbruch Remlingen liegen zwischen 1,2 - 1,6 m (Abb. 66-3).

Die Kluftflächenabstände reichen in beiden Richtungen bis zu 2,0 m (Abb. 66-1, Abb. 66-2). Der Durchschnittsblock weist eine Größe von 1,28 m^3 auf und die Höffigkeit an Rohblöcken über dem Mindestblock hat einen Wert von 45 %.

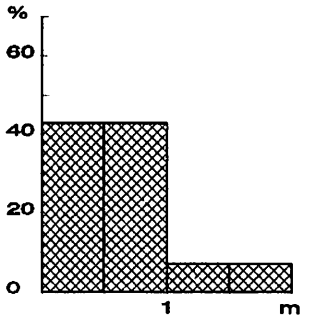


Abb. 66-1: Steinbruch Remlingen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 120°, n = 14).

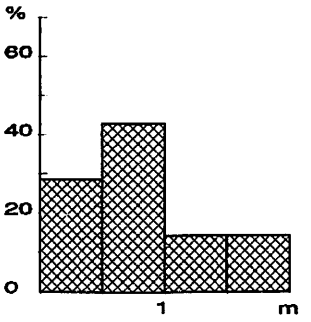


Abb. 66-2: Steinbruch Remlingen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 015°, n = 14).

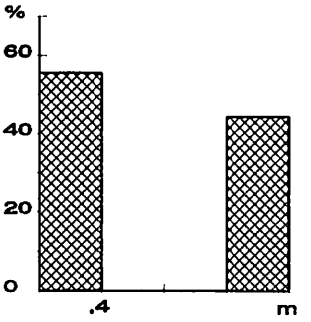


Abb. 66-3: Steinbruch Remlingen, Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 9).

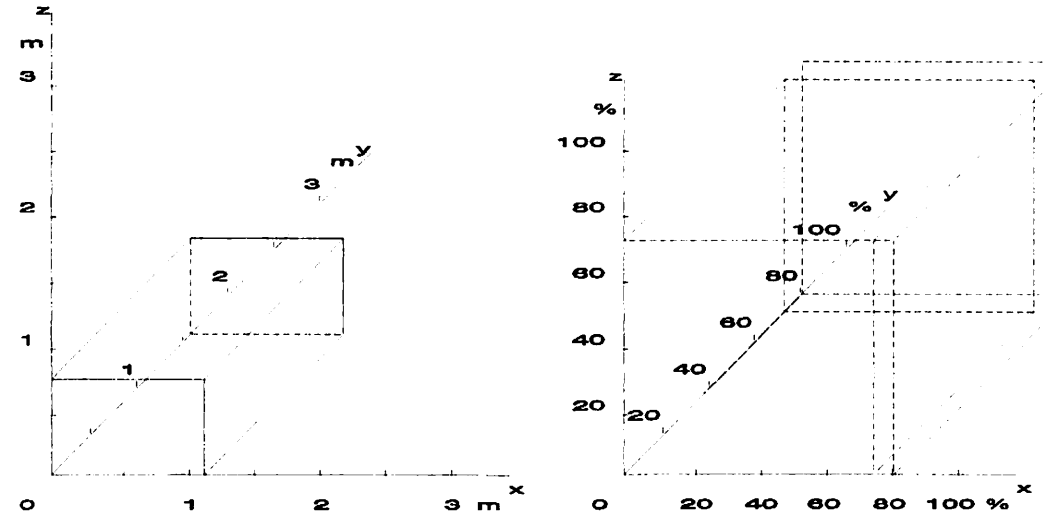


Abb. 67: Steinbruch Remlingen. Links: Durchschnittsblock = 1,28 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 45 %).

Die Gewinnung erfolgt mit hydraulischen Reihenbohrgeräten und durch anschließendes Spalten mit Schwarzpulver.

6.3.4.2 Eichenbühl

Die Blockgröße in dieser Lagerstätte wird entscheidend von den weiten Trennflächenabständen in y-Richtung (Abb. 68-2) beeinflußt. Die Histogramme der Trennflächen zeigen, daß bei dem zwischen Dietenhan und Miltenberg gelegenen Steinbruch Eichenbühl (Abb. 65) insbesondere in y-Richtung, aber auch in x-Richtung (Abb. 68-1), große Trennflächenabstände von bis über 6 m anzutreffen sind. Aber auch hier können sich die Mächtigkeiten oder Trennflächenabstände lokal rasch verändern.

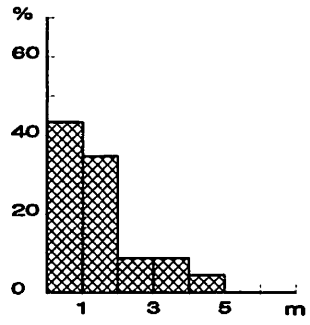


Abb. 68-1: Steinbruch Eichenbühl. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 081°, n = 23).

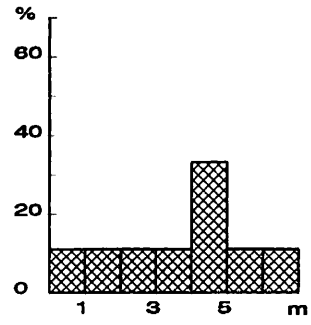


Abb. 68-2: Steinbruch Eichenbühl. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 172°, n = 9).

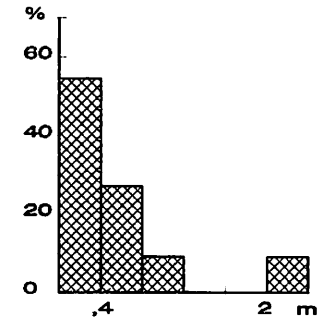


Abb. 68-3: Steinbruch Eichenbühl. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

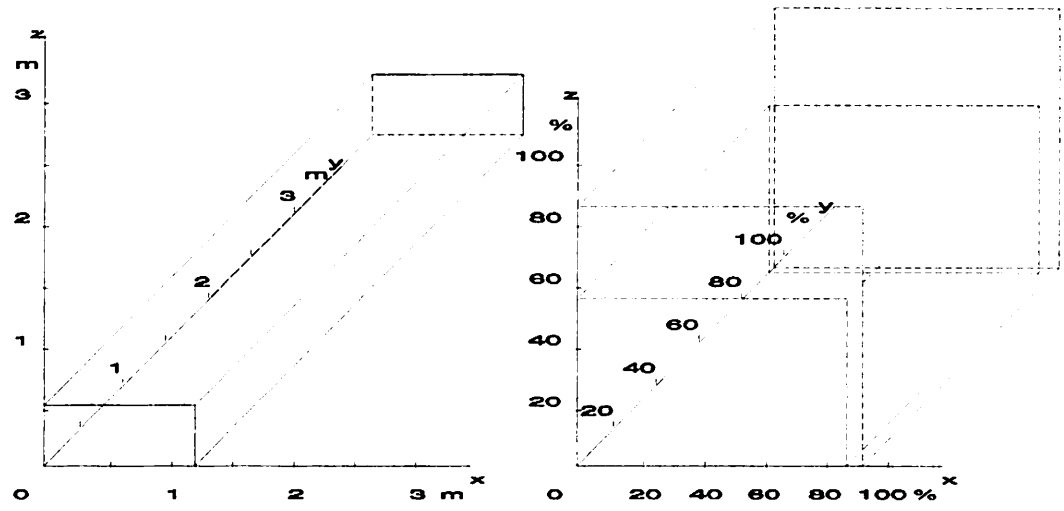


Abb. 69: Steinbruch Eichenbühl. Links: Durchschnittsblock = 2,34 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 73 %).

Der in y-Richtung stark ausgelängte Durchschnittsblock weist ein Volumen von 2,34 m³ auf (Abb. 69), und die Rohblockhöffigkeit liegt bei 73 %.
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer auf einer rollbaren Dreibeinlafette.

6.3.4.3 Dietenhan

Anders als in Eichenbühl und Remlingen, wird die Blockgröße im Steinbruch Dietenhan (Abb. 65) im wesentlichen von den Schichtflächenabständen und am geringsten von den Abständen der Kluftflächen beeinflußt. So liegen beinahe 80 % der Schichtflächenabstände unter 0,4 m, wobei im Histogramm nur ca. 5 % noch im Bereich von 2 m - 2,4 m sind (Abb. 70-3).

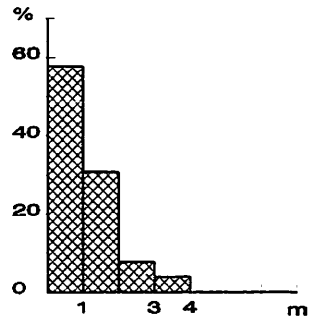


Abb. 70-1: Steinbruch Dietenhan. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 112°, n = 26).

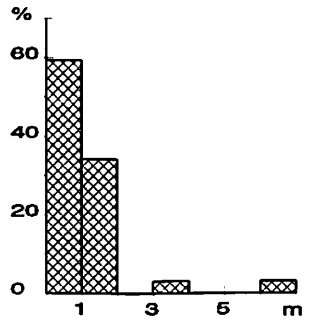


Abb. 70-2: Steinbruch Dietenhan. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 017°, n = 32).

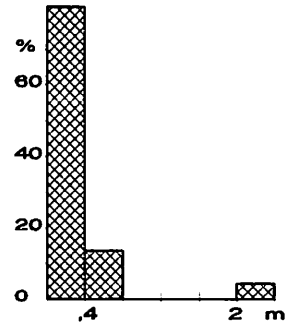


Abb. 70-3: Steinbruch Dietenhan. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 22).

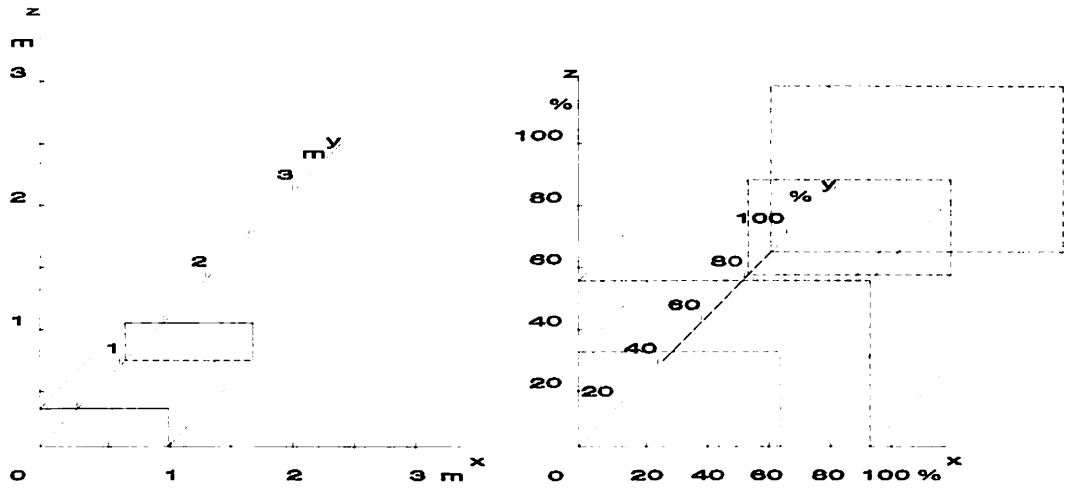


Abb. 71: Steinbruch Dietenhan. Links: Durchschnittsblock = 0,31 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 44 %).

Die Kluftabstände reichen in x-Richtung bis zu 4 m (Abb. 70-1), und knapp 5 % liegen in y-Richtung noch im Bereich zwischen 6 m und 7 m (Abb. 70-2).
Der Durchschnittsblock hat ein Volumen von 0,31 m³, und die Rohblockhöffigkeit beträgt 44 % (Abb. 71).
Die Gewinnung erfolgt mit einem Handbohrhammer an einer fahrbaren Karrette. Das Spalten erfolgt mit Sprengschnur.

6.3.5 Udelfanger Sandstein

Dieser Muschelsandstein (mu_1), bekannt als Udelfanger und Kerscher Sandstein, ist ein schwach karbonatischer, meist dolomitisierter feinkörniger Sandstein mit gelblicher bis grauer Farbe. Der untere Muschelkalk ist in der Randfazies der Trierer Bucht des Muschelkalkmeeres nicht als Wellenkalk, sondern als Sandstein (Muschelsandstein) ausgebildet. Er besteht aus einer Wechselfolge von karbonatischen Sandsteinen, Tonen und Mergeln [135].
Die Gewinnung erfolgt in einem Bereich, in dem die Muschelsandstein-Scholle als NE streichender Horst einen Härtlingszug bildet und bis zu 2 m mächtige Sandsteinbänke eingeschaltet sind (Abb. 72). Der Sandstein dient als Werkstein und auch für Bildhauerarbeiten.

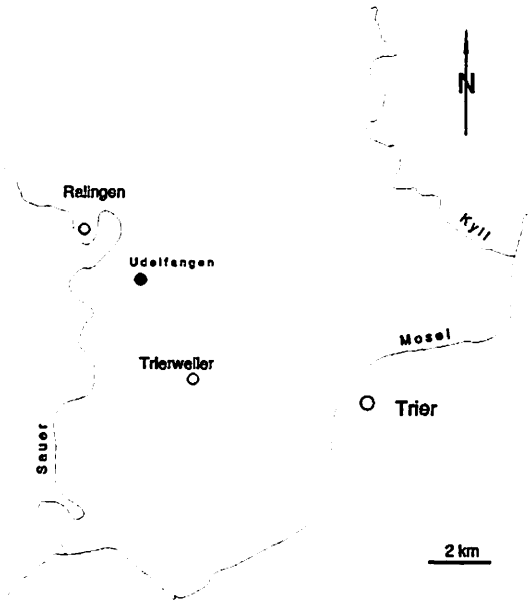


Abb. 72: Lage des Steinbruchs Udelfangen (●).

Abgebaut werden hier zwei insgesamt ca. 2 m mächtige Bänke. Der Kernstein (die untere Bank) wird als Udelfanger Sandstein, die hangende Bank, die meist nicht so homogen ausgebildet ist, als Kerscher Sandstein in den Handel gebracht. Die Bänke fallen schwach (ca. 10°) nach NW ein.

Die Kluftabstände reichen in x-Richtung bis 5 m, und in y-Richtung erreichen einige Kluftabstände bis zu 10 m.
Die Blöcke treten in großen Dimensionen von durchschnittlich 1,2 m^3 auf (Abb. 74). Die Klüfte sind zumeist exakt und gerade gebrochen.

Die Rohblockhöffigkeit von 73 % bezieht sich hier nur auf den Bereich, in den die Sandsteinbänke eingeschaltet sind. In einigen Bereichen der Lagerstätte sind die Bänke nicht mehr getrennt und auch nicht als Werkstein geeignet. Zudem treten Bereiche auf, in denen der Kernstein verschwindet und das Material geringere Festigkeit aufweist und leicht absandet. Weiterhin nimmt die Mächtigkeit der Bänke in Richtung des Flusses Sauer (nach W) auf nur ca. 0,5 m ab. Auch in der weiteren Umgebung ist der Sandstein schlechter geklüftet. Es ist Abraum mit einer Mächtigkeit von bis über 10 m zu beseitigen, der hier (anders als z. B. in Anröchte, wo der Abraum von der in der Nähe angesiedelten Schotterindustrie verwendet wird) keiner anderen Nutzung zugeführt werden kann.

Udelfanger Sandstein Unterer Muschelkalk				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Udelfangen n_x= 44 n_y=111	0,82	0,98	0,97	1,09

Tab. 17: Lagerstätte Udelfanger Sandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

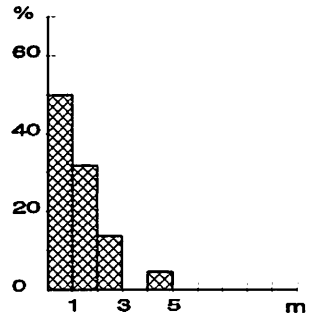


Abb. 73-1: Steinbruch Udelfangen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 061°, n = 44).

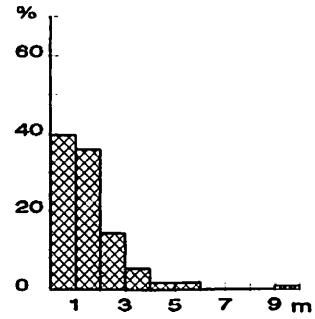


Abb. 73-2: Steinbruch Udelfangen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 154°, n = 111).

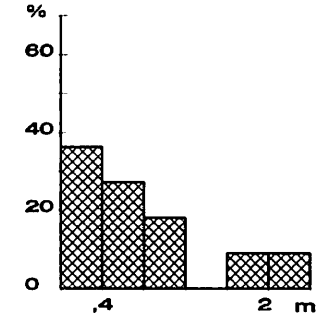


Abb. 73-3: Steinbruch Udelfangen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

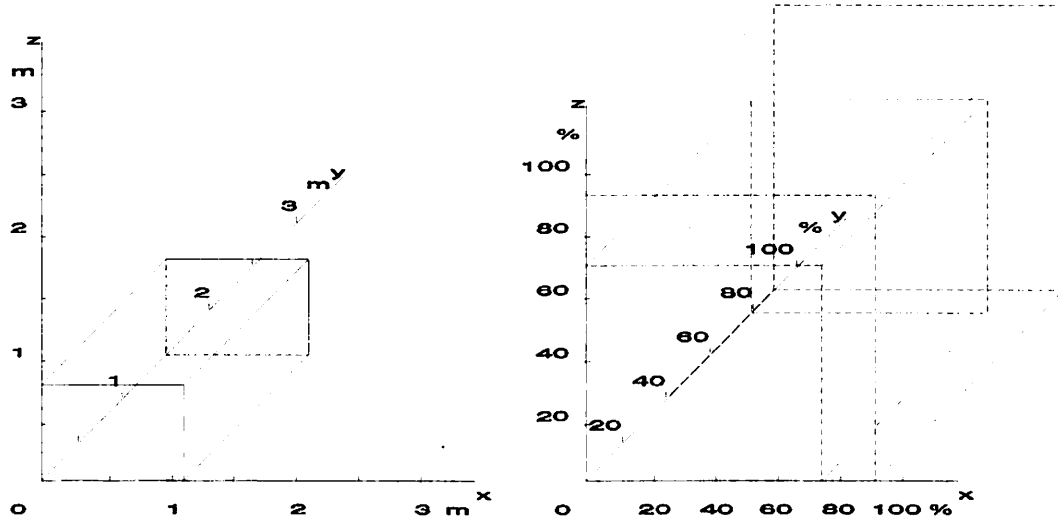


Abb. 74: Steinbruch Udelfangen. Links: Durchschnittsblock = 1,24 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 73 %).

Die Gewinnung erfolgt mit einem von der Firma selbstgefertigten pneumatischen Reihenbohrgerät, welches an eine Planierraupe montiert wurde. Das Spalten erfolgt mit Federkeilen sowie mit Schwarzpulver.

6.3.6 Werksandstein

Der vorwiegend bräunliche Werksandstein des Unteren Keupers (ku_2,ws) hat seine überregionale Bedeutung, die auf seine gute Bearbeitbarkeit zurückzuführen war, inzwischen verloren. Das beruht auf seiner oft wechselnden Gesteinsqualität sowie seiner hohen Abraumüberlagerung von oft über 10 m. Die nutzbare Mächtigkeit liegt meist nur bei ca. 5 m (selten über 10 m) (Blattgebiet 5926 Geldersheim). Der Werksandstein wird heute nur noch in wenigen Steinbrüchen in Unterfranken abgebaut sowie in Schleerieth, wo er in Flutfazies ausgebildet ist. Allerdings greift er in seiner Flutfazies nicht tief in das Liegende ein, wie das beim Schilfsandstein geschieht (siehe auch [93]).

Werksandstein Unterer Keuper				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Schleerieth $n_x = 27$ $n_y = 24$	0,50	0,44	0,45	0,50

Tab. 18: Werksandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Schleerieth

Im Steinbruch Schleerieth westlich von Schweinfurt (Abb. 65) steht ein feinkörniger braungrünlicher Sandstein an. Der durchschnittliche Block liegt hier bei nur 0,16 m^3, und die Rohblockhöffigkeit an Normblöcken über 0,4 m^3 beträgt nur 7 % (Abb. 76).
Die Abstände der seigeren Trennflächen weisen in x-Richtung Beträge bis zu fast 3 m auf, wobei der größte Teil der Kluftabstände unter 1,2 m liegt (Abb. 75-1). Insbesondere entlang der y-Richtung (Abb. 75-2) treten Beträge bis zu über 5,0 m auf. Die Bankmächtigkeiten liegen deutlich unter 1,0 m, wobei nur ca. 20 % über 0,4 m liegen.

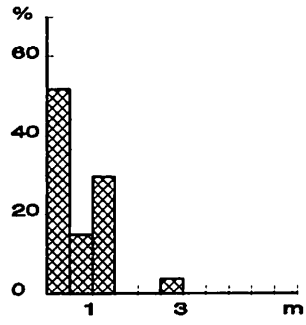


Abb. 75-1: Steinbruch Schleerieth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 115°, n = 27).

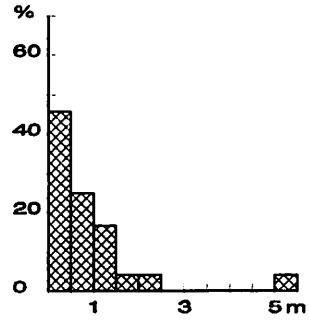


Abb. 75-2: Steinbruch Schleerieth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 020°, n = 24).

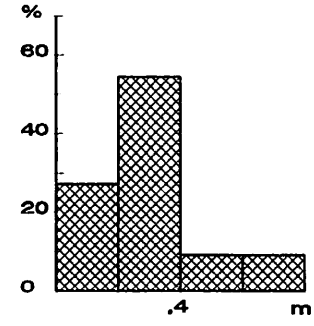


Abb. 75-3: Steinbruch Schleerieth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten mit Federkeilen.

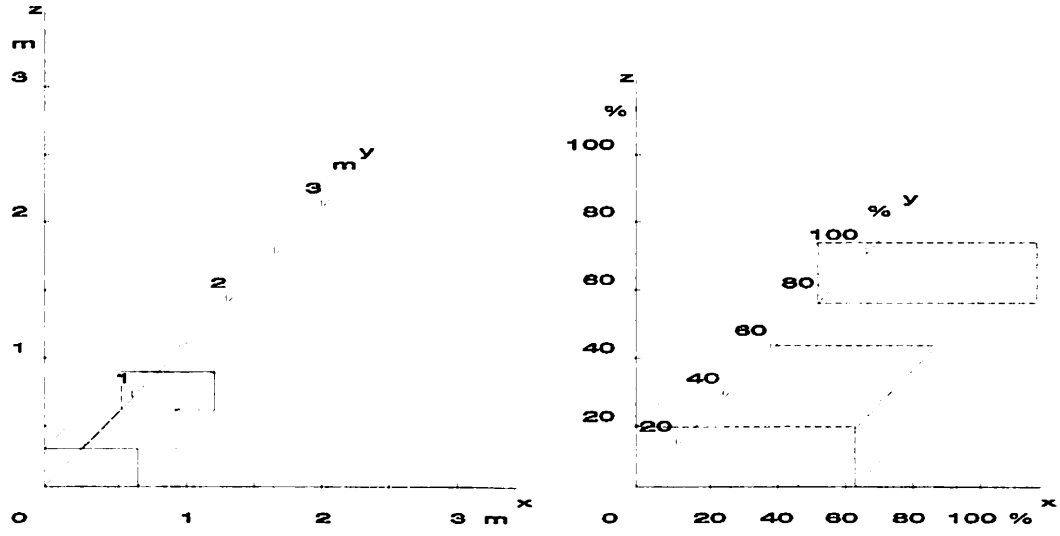


Abb. 76: Steinbruch Schleerieth. Links: Durchschnittsblock = 0,16 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 7 %).

6.3.7 Schilfsandstein

Der Schilfsandstein (Mittlerer Keuper, km_2) wird vor allem in der Gegend von Eppingen (Abb. 77) in den dort auftretenden Höhenzügen abgebaut. Der Sandstein weist eine helle braungraue Farbe auf.

Von der Gesteinsausbildung her gibt es in der Schilfsandstein-Abfolge zwei extreme Faziestypen, die jedoch nur selten ideal entwickelt sind.

1. Eine nur aus sandigen Ablagerungen zusammengesetzte Schichtenfolge, die örtlich in der mächtigen "Flutfazies" vorliegt und dann auch oft gute Bausandsteinlagen ("Werksteinfazies") enthält.

Sandstein Schilfsandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Weiler n_x= 16 n_y= 14	0,52	0,58	0,65	0,52
Mühlbach n_x= 15 n_y= 27	0,63	0,54	0,65	0,55
Niederhofen n_x= 35 n_y= 21	0,61	0,92	0,60	0,80
Freudental n_x= 27 n_y= 39	0,26	0,33	0,25	0,40
Sand am Main n_x= 64 n_y= 8	0,61	1,02	0,58	1,03

Tab. 19: Schilfsandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

2. Eine nur aus tonigen Sedimenten zusammengesetzte Schichtenfolge, die manchmal in der "Normalfazies" nahezu ideal vorkommt [65].

Größere Blöcke sind nur in der Flutfazies, selten jedoch in der Normalfazies zu gewinnen. Die grobbankige mächtige Ausbildung erreicht der Schilfsandstein dort, wo die in die liegenden Estherien-Schichten des km_1 eingreifenden Rinnenfüllungen aus Sandstein eine hohe Gesamtmächtigkeit haben. In der Flutfazies erreicht der Schilfsandstein Mächtigkeiten von 20 - 25 m, in seiner Normalfazies nur 5 - 20 m [65]. Oft treten in einem Aufschluß gute und schlechte Naturwerksteine, die dann stark tonig und glimmerangereichert sind, abwechselnd auf.

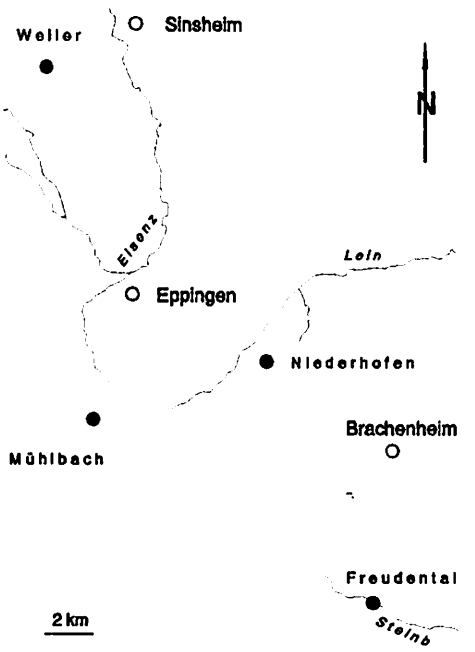


Abb. 77: Lage der gemessenen Steinbrüche (●) nördlich vom und im Naturpark von Stromberg-Heuchelberg.

In Bayern wird der Schilfsandstein vorwiegend südlich des Ortes Sand am Main abgebaut. Hier weist er eine grünliche Farbe auf und wird daher auch als "Grüner Mainsandstein" bezeichnet. Auf Grund der technisch geringen Qualität werden die alten noch existierenden Vorkommen nicht mehr weiter ausgebeutet. Die Blockgröße des grünen Sandsteins liegt im Mittel bei 2 m^3 (Abb. 79).

In der Gegend um Eppingen wurden die Steinbrüche von Weiler, Mühlbach, Niederhofen und Freudental (Abb. 77) gemessen. Die Schilfsandsteine zwischen Freudental und Maulbronn gehören zu einer großen E-W streichenden Rinne. Die Normalmächtigkeit des Schilfsandsteines liegt in der Gegend von Eppingen bei nur 1 m (Normalfazies). Die Mächtigkeit des als Naturwerkstein gewinnbaren Schilfsandsteines (Flutfazies) beträgt hier oft nur 4 - 6 m.

6.3.7.1 Sand am Main

Der südlich von Sand am Main (Abb. 93) abgebaute grünliche Schilfsandstein wird auch unter dem Namen "Grüner Mainsandstein" gehandelt. Es ist ein fein- mittelkörniger Sandstein.

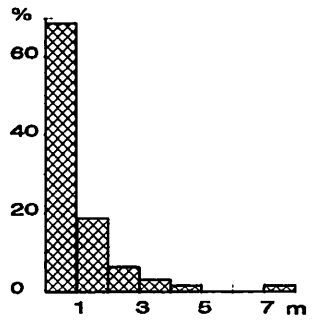


Abb. 78-1: Steinbruch Sand. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 087°, n = 64).

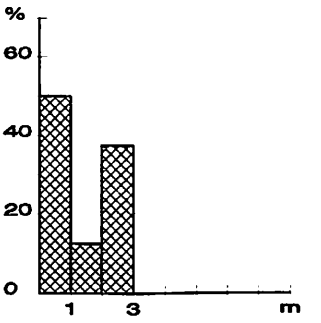


Abb. 78-2: Steinbruch Sand am Main. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 005°, n = 8).

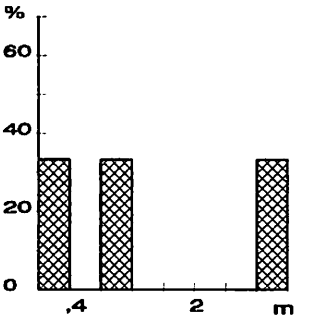


Abb. 78-3: Steinbruch Sand am Main. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 3).

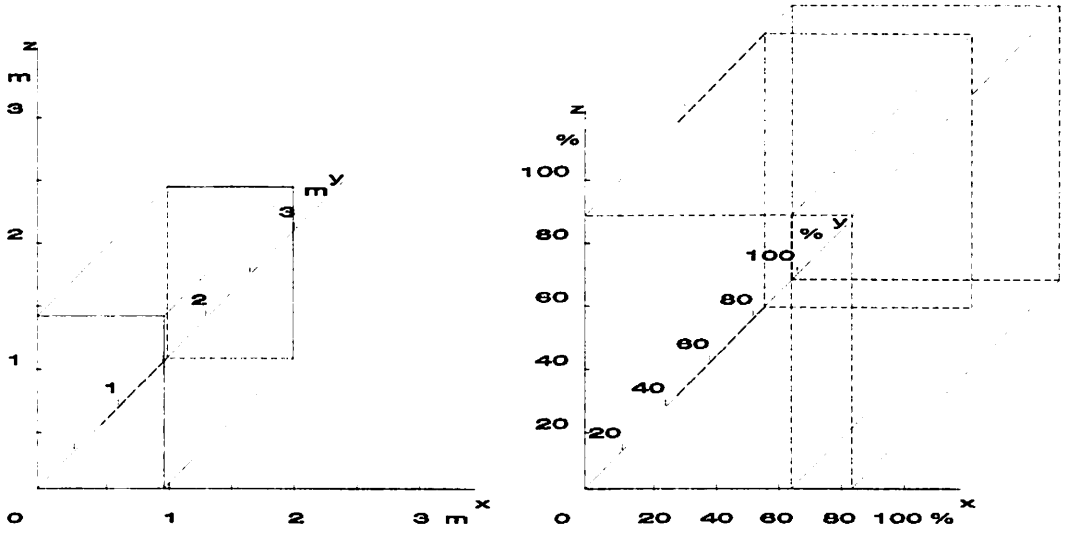


Abb. 79: Steinbruch Sand am Main. Links: Durchschnittsblock = 2,03 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 70 %).

Die Kluftabstände reichen in x-Richtung bis über 7 m, wobei dies aber nur ca. 4 % sind (Abb. 78-1); der weitaus größte Teil ≥ 0,1 m von nahezu 70 % liegt unter 1 m. In y-Richtung liegt der Anteil der gemessenen Trennflächen ≥ 0,1 m unter 1 m nur bei 50 %, und die restlichen 50 % liegen zwischen 1 m und 3 m (Abb. 78-2).
Der durchschnittliche Block liegt bei 2 m³, und die Rohblockhöffigkeit hat (insbesondere durch die Trennflächenabstände in y-Richtung und die hohen Bankmächtigkeiten) mit 70 % einen sehr hohen Wert (Abb. 79).
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer, teilweise auch mit einem hydraulischen Reihenbohrgerät.

6.3.7.2 Weiler/Sinsheim

Der meist braune feinkörnige Sandstein wird in Weiler, südlich von Sinsheim (Abb. 77), gewonnen.

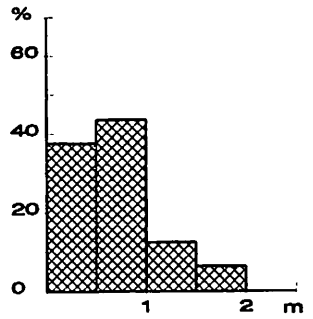


Abb. 80-1: Steinbruch Weiler/Sinsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 125°, n = 16).

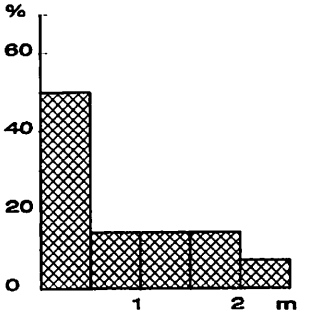


Abb. 80-2: Steinbruch Weiler/Sinsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 026°, n = 14).

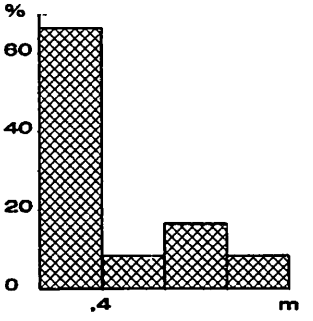


Abb. 80-3: Steinbruch Weiler/Sinsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 12).

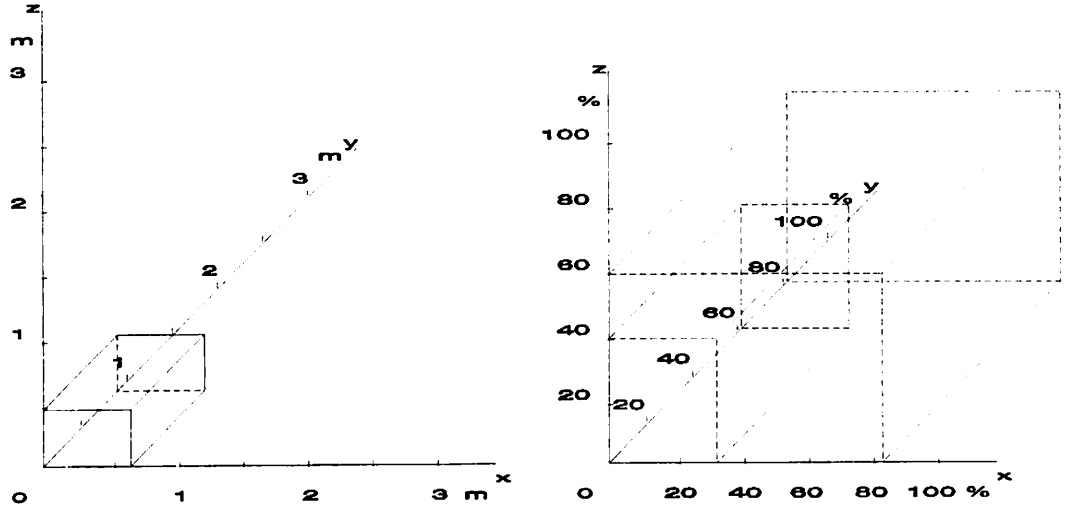


Abb. 81: Steinbruch Weiler/Sinsheim. Links: Durchschnittsblock = 0,24 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 35 %).

Die gemessenen Kluftabstände in x-Richtung liegen zu 20 % über 1 m (Abb. 80-1) und reichen bis fast 2 m. In y-Richtung liegen ca. 35 % der gemessenen Trennflächenabstände über 1 m, und knapp 8 % liegen noch zwischen 2 m und 2,5 m (Abb. 80-2). Die Bankmächtigkeiten reichen bis fast 1,6 m, wobei ca. 66 % der ≥ 0,1 m weiten horizontalen Trennflächen unter 0,4 m liegen (Abb. 80-3). Der Durchschnittsblock liegt bei 0,24 m³ und die Rohblockhöffigkeit bei 35 % (Abb. 81).
Da der Sandstein gut geöffnete Trennflächen aufweist, kann die Gewinnung vorwiegend durch Reißen mit Hydraulikbaggern erfolgen.

6.3.7.3 Mühlbach

Das bei Mühlbach (Abb. 77) gewonnene Gestein ist ein feinkörniger gelber bis brauner Sandstein. Die Lagerstätte Mühlbach weist nur kleine Durchschnittsblöcke von 0,3 m^3 auf, hat aber dennoch eine gute Höffigkeit an Rohblöcken über 0,4 m^3 mit 36 %. Verantwortlich hierfür sind die horizontalen Trennflächen, deren Abstände ≥ 0,1 m zu über 40 % zwischen 0,4 m und 2 m liegen (Abb. 82-3).

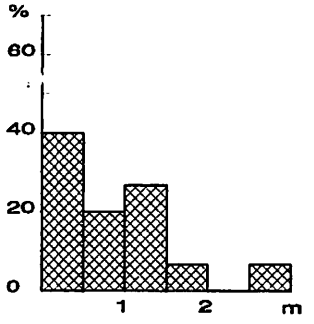


Abb. 82-1: Steinbruch Mühlbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 116°, n = 15).

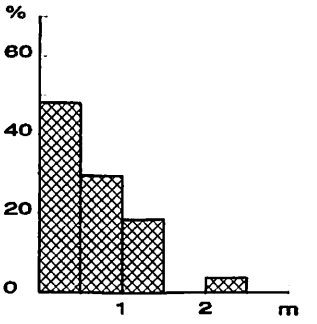


Abb. 82-2: Steinbruch Mühlbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 024°, n = 27).

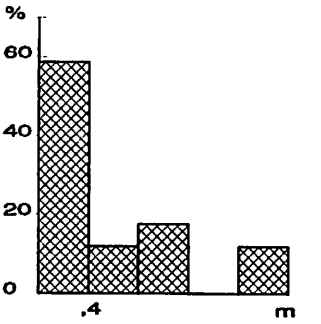


Abb. 82-3: Steinbruch Mühlbach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 17).

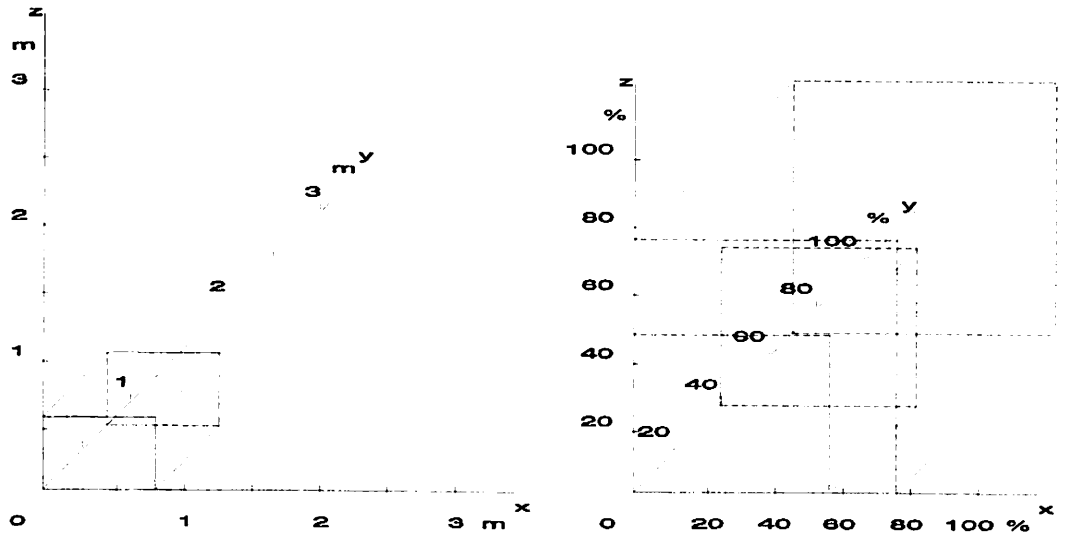


Abb. 83: Steinbruch Mühlbach. Links: Durchschnittsblock = 0,3 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 36 %).

Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.3.7.4 Niederhofen

Nachteilig machen sich bei der Lagerstätte Niederhofen (Abb. 77) die z. T. mit einem schrägen Einfallen von 40° - 55° auftretenden Klüfte bemerkbar. Das sollte beim Abbau der Lagerstätte mit berücksichtigt werden, um das Ausbringen zu erhöhen.

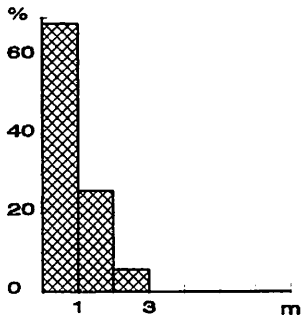


Abb. 84-1: Steinbruch Niederhofen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 107°, n = 35).

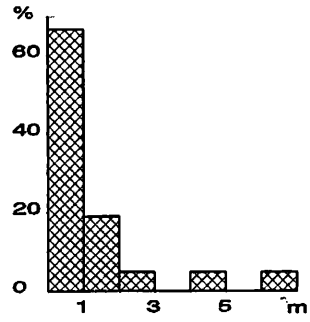


Abb. 84-2: Steinbruch Niederhofen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 013°, n = 21).

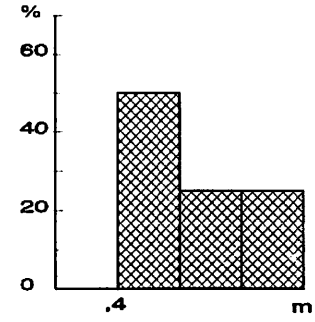


Abb. 84-3: Steinbruch Niederhofen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 4).

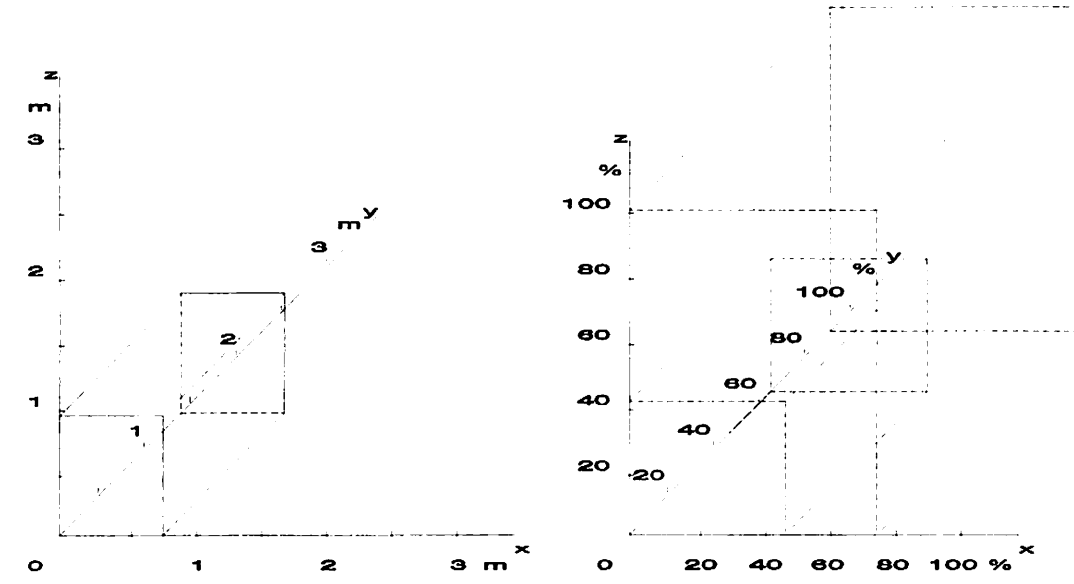


Abb. 85: Steinbruch Niederhofen. Links: Durchschnittsblock = 0,96 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 62 %).

Dennoch weist die Lagerstätte im Vergleich zu den anderen im Bereich des Heuchelberges gelegenen Vorkommen, mit fast 1 m³ die größten durchschnittlichen Blöcke und auch die größte Rohblockhöffigkeit von immerhin 62 % auf (Abb. 85). Die Trennflächenabstände reichen bis zu Abständen von 7 m (Abb. 84-2), wobei aber über 60 % der gemessenen Abstände unter 1 m liegen. Die horizontalen Trennflächen ≥ 0,1 m liegen im Lagerstättenbereich alle über 0,4 m (Abb. 84-3), was letztendlich entscheidend für die hohe Rohblockausbeute ist.
Die Gewinnung erfolgt mit dem Handbohrhammer.

6.3.7.5 Freudental

Von den im Bereich des Naturparks Heuchelberg gemessenen Lagerstätten weist die von Freudental (Abb. 77) eindeutig die geringste Rohblockhöffigkeit (4 %) auf. Der Durchschnittsblock liegt bei nur 0,04 m^3 (Abb. 87).

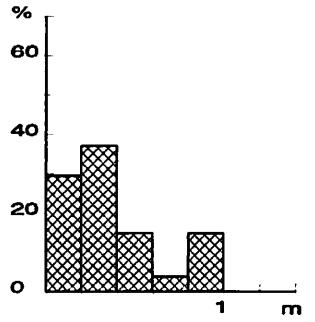


Abb. 86-1: Steinbruch Freudental. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 112°, n = 27).

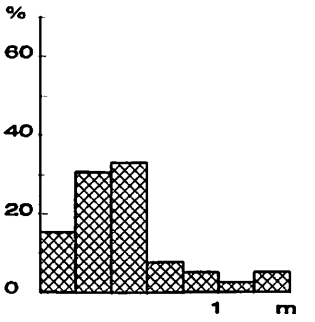


Abb. 86-2: Steinbruch Freudental. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 003°, n = 39).

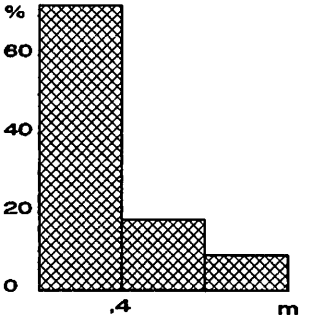


Abb. 86-3: Steinbruch Freudental. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

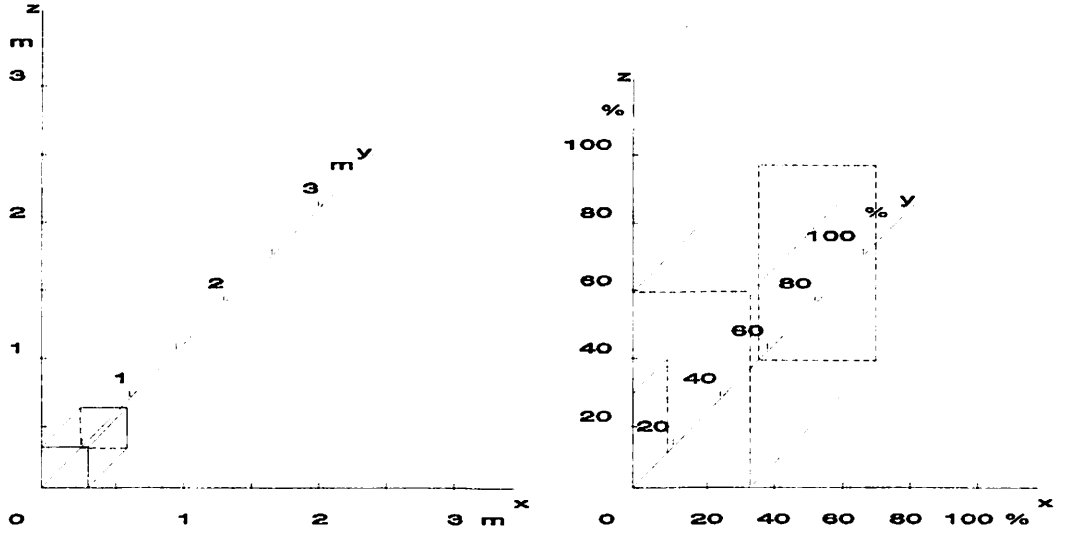


Abb. 87: Steinbruch Freudental. Links: Durchschnittsblock = 0,04 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen, in x-Richtung keine Abstände ≥ 1,0 m (η = 4 %).

Auf Grund dessen, daß die Trennflächen entlang der Meßstrecke x alle unter einem Meter liegen, sind bei der Darstellung der Rohblockhöffigkeit auf diese Achse keine Anteile mehr darstellbar. Dies führt zu einer geringen Rohblockhöffigkeit von nur 4 %. Auch in y-Richtung liegen nur knapp 10 % der gemessenen Kluftabstände zwischen 1 m und 1,2 m.
Die inzwischen eingestellte Gewinnung erfolgte durch Reißen mit Hydraulikbagger und untergeordnet mit einem Handbohrhammer.

6.3.7.6 Schilfsandstein-Gesamt

Die Abstände der Kluftflächen aller gemessenen Steinbrüche im Naturpark Heuchelberg liegen im geometrischen Mittel bei ca. 0,5 m (Tab. 20). Die Lagerstätte Niederhofen ragt im geometrischen Mittel der Trennflächenabstandswerte mit 0,61 m bzw. 0,92 m (Tab. 19), insbesondere in y-Richtung, deutlich über die anderen Lagerstätten hinaus, die im Mittel bei 0,5 m liegen (Tab. 20).

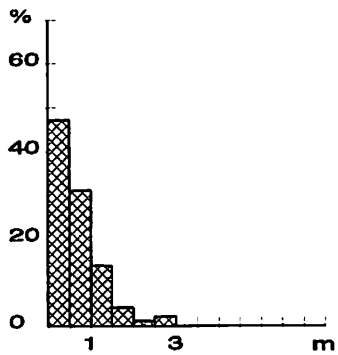


Abb. 88: Heuchelberg: alle Steinbrüche zusammengefaßt. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x ≈ 115°, n = 93).

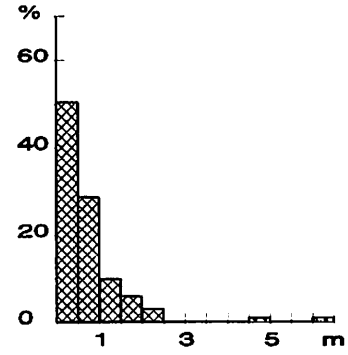


Abb. 89: Heuchelberg: alle Steinbrüche zusammen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = ≈ 017°, n = 101).

Die Darstellung aller Lagerstätten in gemeinsamen Histogrammen (Abb. 88, Abb. 89) für die Kluftabstände macht deutlich, daß der überwiegende Anteil der Abstände unter 1 m liegt und ein gewisser Anteil noch bis zu fast 3 m reicht. Die Ausreißer in y-Richtung über 4,5 m stammen von der Lagerstätte Niederhofen.

Heuchelberg-Gesamt Sandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Heuchelberg n_x = 93 n_y = 101	0,47	0,50	0,50	0,45

Tab. 20: Heuchelberg-Gesamt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.3.8 Coburger Bausandstein

Neubrunn

Der in der Gegend von Eltmann abgebaute, hell weiße, mittelkörnige Coburger Sandstein (km) wird als Weißer Mainsandstein gehandelt (Abb. 93).

Weißer Mainsandstein Coburger Sandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Neubrunn $n_x = 10$ $n_y = 20$	3,53	2,03	3,06	2,32

Tab. 21: "Weißer Mainsandstein", Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Der Coburger Bausandstein hat einen unregelmäßigen Sedimentationsablauf. Er besteht aus einer Wechselfolge von plattigen Sand- und Tonsteinen. Diesen Schichten sind diskordant dickbankige Sandsteine (ehemals Rinnenfüllungen) eingelagert, die als Naturwerkstein gewinnbar sind. Da die Breite der Rinnen sehr unterschiedlich ist (von 10 er Metern bis km), muß beim Abbau im Steinbruch jederzeit mit einer Mächtigkeitsveränderung gerechnet werden.
In x-Richtung konnten zwischen 0,1 m und 1 m keine Kluftabstände festgestellt werden (Abb. 90-1). Die größten gemessenen Kluftabstände lagen in x-Richtung zwischen 7 m und 8 m und reichten in y-Richtung bis zu über 13 m (Abb. 90-2).
Da die Sandsteine Bänke von mehr als 4 m Mächtigkeit aufweisen (Abb. 90-3, wobei in z-Richtung nur zwei Werte aufgenommen werden konnten) und die Klüftung zumeist sehr weitständig ist, können hier sehr großdimensionierte Blöcke erwartet werden (Abb. 91). Der Durchschnittsblock liegt bei einem außerordentlich hohem Wert von 25,51 m^3, wie er sonst oft nur bei magmatischen Gesteinen wie Graniten oder metamorphen Gesteinen wie Gneisen auftritt. Dadurch errechnet sich die Rohblockhöffigkeit zu 89 % (durch die äußerst hohen Trennflächenabstände waren in allen Richtungen nur wenige Meßwerte zu erlangen).

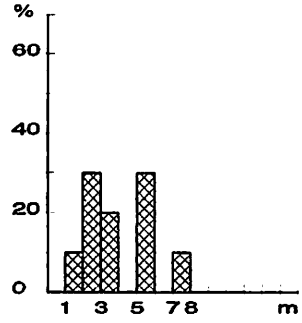


Abb. 90-1: Steinbruch Neubrunn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 095°, n = 10).

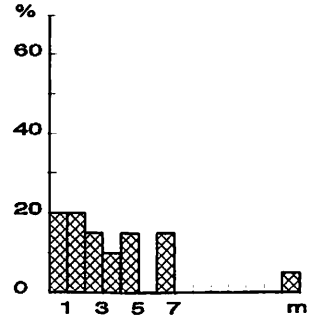


Abb. 90-2: Steinbruch Neubrunn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 171°, n = 20).

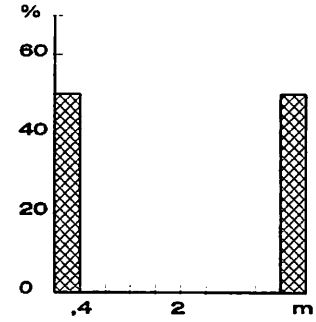


Abb. 90-3: Steinbruch Neubrunn. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 2).

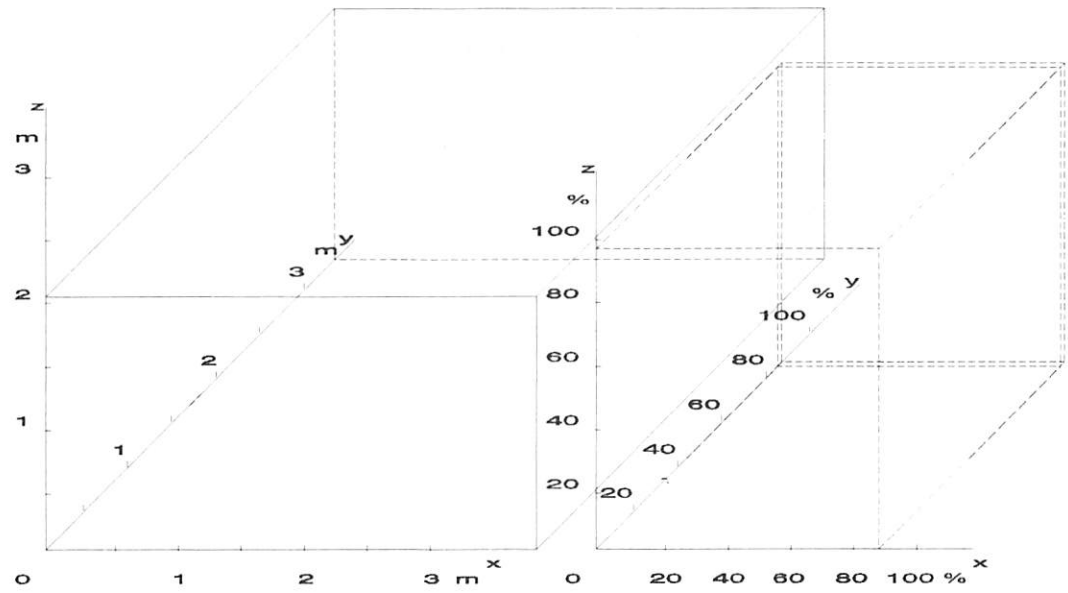


Abb. 91: Steinbruch Neubrunn. Links: Durchschnittsblock = 25,51 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 89 %).

Mit der heutigen Technologie wäre es durchaus möglich, alte Steinbrüche wieder in Betrieb zu nehmen, die früher wegen zu hoher Abraummächtigkeit nicht wirtschaftlich betrieben werden konnten. Da auch im mittlerem und nördlichem Steigerwald der Coburger Sandstein stark vertreten ist, kann dort mit weiteren Lagerstätten in werksteingeeigneter Mächtigkeit und entsprechenden Kluftkörpergrößen gerechnet werden.



Abb. 92: Ansicht des Steinbruchs Neubrunn, mit sehr weiten Trennflächenabständen.

6.3.9 Sandstein des Rhätolias

Die Abfolge besteht aus einer Wechsellagerung von Ton- und Sandsteinen. Da eine genaue Zuordnung zum Rhät oder Lias meist nicht möglich ist, wird die Abfolge ins Rhätolias gestellt. Hierhin fallen auch die Sandsteine, die als Gelber Mainsandstein aus den Steinbrüchen von Heiligersdorf, Burgpreppach und Gereuth in den Handel kommen.
Oberer Keuper (Rhät) und unterste Schichten des Schwarzen Jura (Lias) (Gümbelsche Sandstein) kennzeichnet eine aus Tonen und Sandsteinen bzw. Sanden bestehende Wechselfolge. Rhätsandstein und Liassandstein können durch "Hauptton" getrennt sein, aber auch unvermittelt aufeinander liegen. Die Mächtigkeiten liegen zwischen 5 und 15 m, können jedoch auch 20 m erreichen.

Rhätsandstein Rhät bzw. Rhätolias				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Burgpreppach n_x= 61 n_y= 86	0,47	0,36	0,50	0,40
Gereuth n_x= 24 n_y= 36	0,34	0,46	0,40	0,52
Heiligersdorf n_x= 20 n_y= 30	0,47	0,52	0,45	0,50

Tab. 22: Rhätsandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

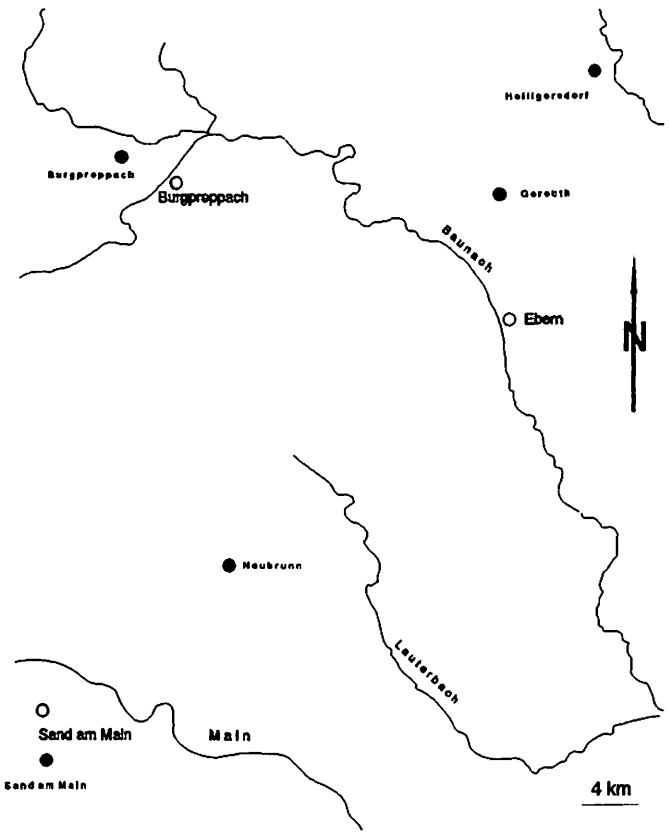


Abb. 93: Lage der Steinbrüche (●) im Naturpark Haßberge.

Insgesamt können im Rhätolias ca. 10 - 30 m mächtige, durch einen mehrere Meter mächtigen Tonhorizont oder auch geringmächtige Tonzwischenlagen getrennte, im einzelnen jedoch weitgehend geschlossene Sandsteinfolgen erwartet werden.
Im Liegenden des Rhätsandstein sind Tone oder rote Tone der Feuerletten z. T. auch als Diskordanz - als Rinnenfüllung - in die Tone eingelagert.
Das Hangende vom Gümbelschen Sandstein, der durch marinen Lias (Tone und Sandsteine, z. B. Angulatensandstein) vertreten sein kann, ist der 3 m mächtige Arietensandstein [178].
Alle drei gemessenen Lagerstätten haben vergleichbar hohe Rohblockhöffigkeiten von 30 %, die über dem Mindestmaß liegen.

6.3.9.1 Heiligersdorf

Die Lagerstätte Heiligersdorf (Abb. 93) weist in allen drei Richtungen gute Trennflächenabstände für die Naturwerksteingewinnung auf. So liegen die Kluftabstände im geometrischen Mittel bei 0,47 m bzw. 0,52 m (Tab. 22). In x-Richtung reichen die Kluftabstände bis zu 2 m (Abb. 94-1), in y-Richtung sogar bis zu 3,5 m (Abb. 94-2). Auch von den gemessenen Schichten weisen über 50 % Mächtigkeiten über 0,4 m auf (Abb. 94-3).

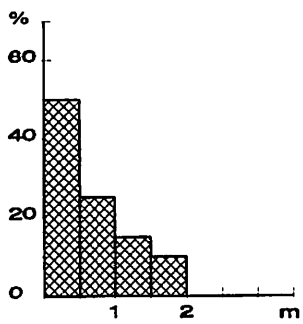


Abb. 94-1: Steinbruch Heiligersdorf. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 058°, n = 20).

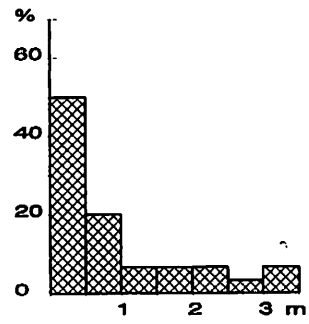


Abb. 94-2: Steinbruch Heiligersdorf. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 146°, n = 30).

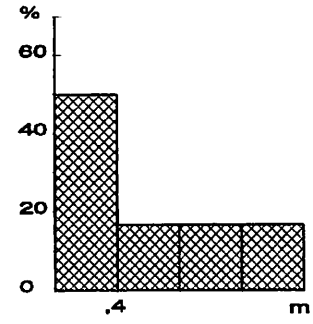


Abb. 94-3: Steinbruch Heiligersdorf. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 6).

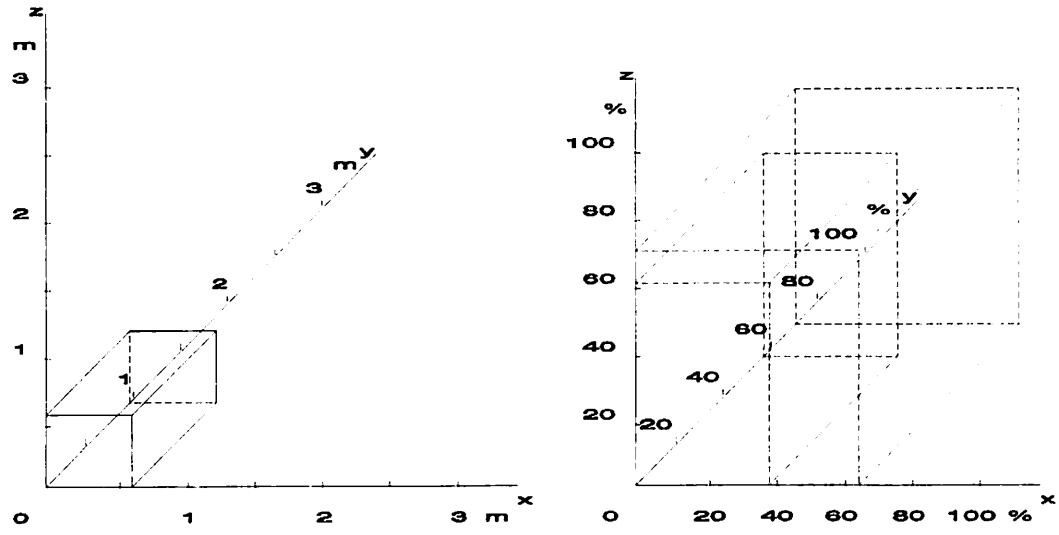


Abb. 95: Steinbruch Heiligersdorf. Links: Durchschnittsblock = 0,3 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 30 %).

Der Durchschnittsblock hat einen Wert von 0,3 m³, und die Rohblockhöffigkeit liegt bei 30 %. Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhammer.

6.3.9.2 Burgpreppach

In dem Naturwerksteinbruch nordwestlich von Burgpreppach (Abb. 93) steht ein hellgelber bis weißer feinkörniger Sandstein an.

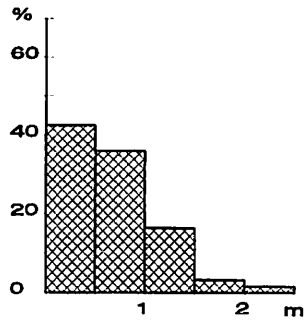


Abb. 96-1: Steinbruch Burgpreppach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 081°, n = 61).

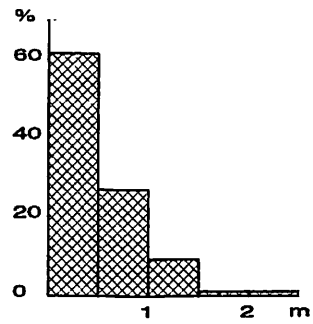


Abb. 96-2: Steinbruch Burgpreppach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 175°, n = 86).

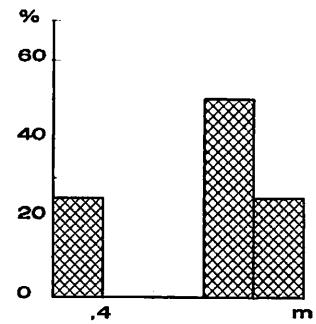


Abb. 96-3: Steinbruch Burgpreppach. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 4).

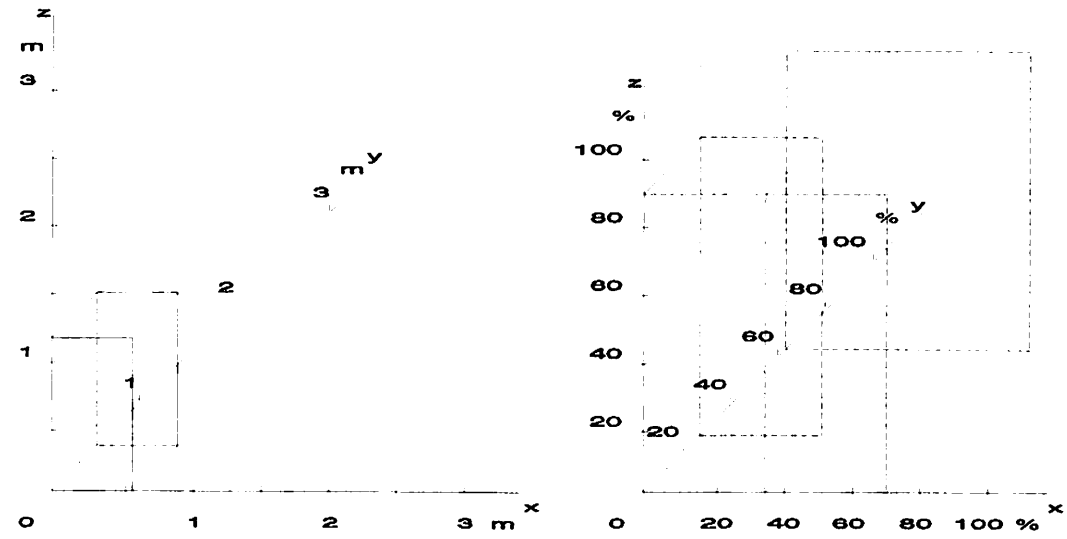


Abb. 97: Steinbruch Burgpreppach. Links: Durchschnittsblock = 0,32 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 35 %).

Die Kluftabstände reichen bis 2,5 m (Abb. 96-1, Abb. 96-2). Die zu gewinnende Gesamtmächtigkeit beträgt ca. 5 m, von welcher der größte Teil eine für Naturwerksteine geeignete Mächtigkeit aufweist (Abb. 96-3). Der Durchschnittsblock beträgt 0,32 m³ und ist durch die weiten Schichtabstände von bis zu 2 m nach oben ausgelängt. Die Rohblockhöffigkeit liegt bei 35 %.
Die Gewinnung erfolgt in dem großen Steinbruch mit Handbohrgeräten und einem älteren SCHELL-Reihenbohrgerät mit einer Lafette.

6.3.9.3 Gereuth

Die Lagerstätte Gereuth (Abb. 93) liegt von der Durchschnittsblockgröße (0,26 m^3) her etwas niedriger als die Lagerstätte Burgpreppach (Abb. 99). Die Trennflächenabstände reichen bis 3 m (Abb. 98-2) und über die Hälfte des bauwürdigen Gesteins weist Schichtmächtigkeiten über 0,4 m auf (Abb. 98-3). Die Rohblockhöffigkeit über 0,4 m^3 liegt bei 31 %.

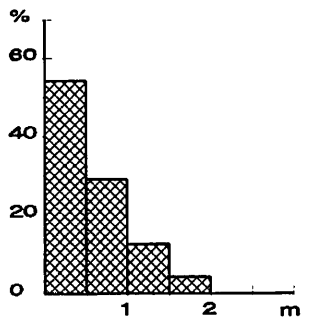


Abb. 98-1: Steinbruch Gereuth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 062°, n = 24).

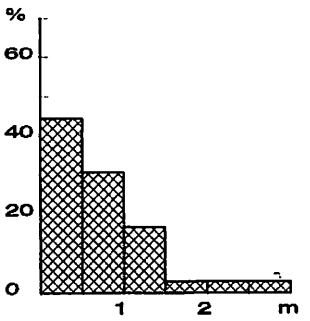


Abb. 98-2: Steinbruch Gereuth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 142°, n = 36).

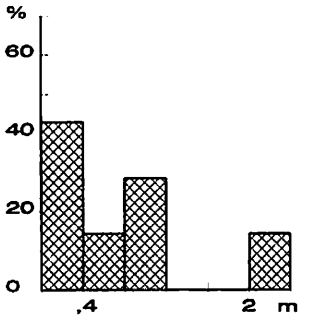


Abb. 98-3: Steinbruch Gereuth. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 7).

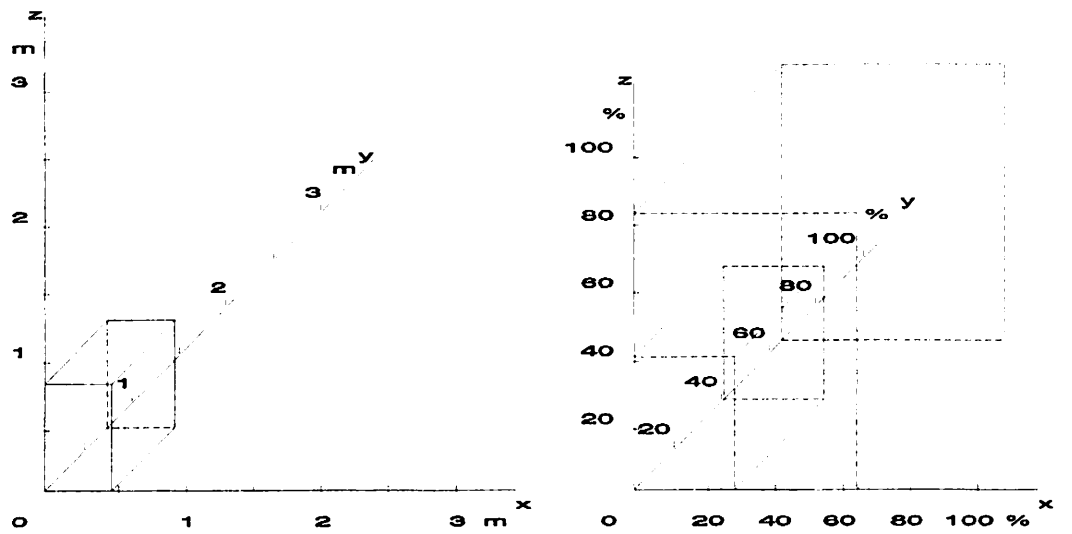


Abb. 99: Steinbruch Gereuth. Links: Durchschnittsblock = 0,26 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 31 %).

6.3.10 Obernkirchener Sandstein

Der Obernkirchener Sandstein (Bückeberg-Formation (Wealden)) wird im Weserbergland (Abb. 102) gewonnen. Er weist eine meist gelblich- bis graugelbliche Farbe auf und ist aus feinkörnigen rundlichen Quarzkörnern mit vorwiegend kieseligem Bindemittel aufgebaut. Daher hat dieser Sandstein gute Verwitterungsbeständigkeit und ist von seinen qualitativen Eigenschaften her mit an vorderster Stelle von allen Sandsteinlagerstätten in der Bundesrepublik zu nennen.

Die Kluftabstände reichen bis 3 m (Abb. 100-1) bzw. 5 m (Abb. 100-2). Knapp über 50 % der Schichtbänke ≥ 0,1 m weisen eine Dicke von ≥ 0,4 m auf (Abb. 100-3).
Die Rohblockhöffigkeit konnte mit 44 % berechnet werden. Der Durchschnittsblock liegt bei 0,42 m^3.
Die hier erfolgten Messungen sind nur für einen eng begrenzten Bereich der Lagerstätte gültig, da das Gestein nach drei Richtungen in Obernkirchen ausdünnt.

Obernkirchener Sandstein Wealden				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Obernkirchen n_x = 31 n_y = 48	0,63	0,89	0,70	1,00

Tab. 23: Obernkirchener Sandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

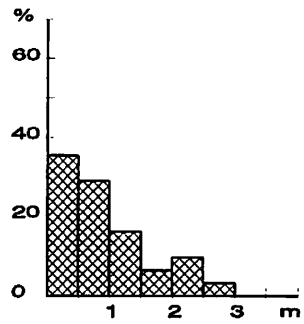


Abb. 100-1: Steinbruch Obernkirchen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 105°, n = 31).

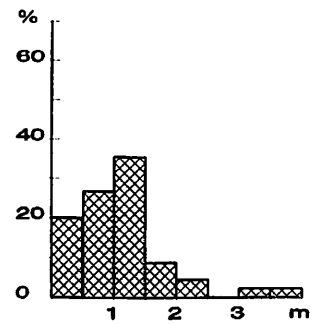


Abb. 100-2: Steinbruch Obernkirchen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 030°, n = 48).

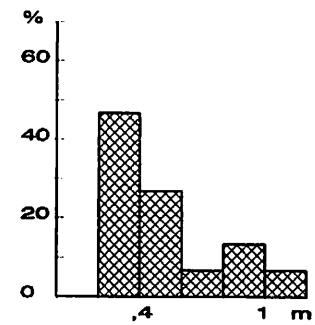


Abb. 100-3: Steinbruch Obernkirchen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 15).

Die Gewinnung in Obernkirchen erfolgt durch Bohren mit Handbohrhammer und Reißen mit Radladern mit Gabelvorsatz.

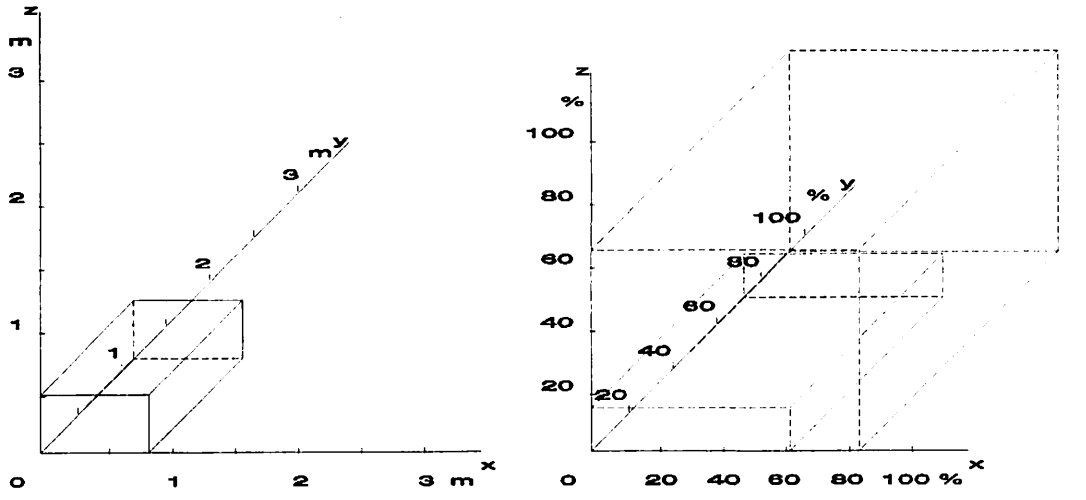


Abb. 101: Steinbruch Obernkirchen. Links: Durchschnittsblock = 0,42 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 44 %).

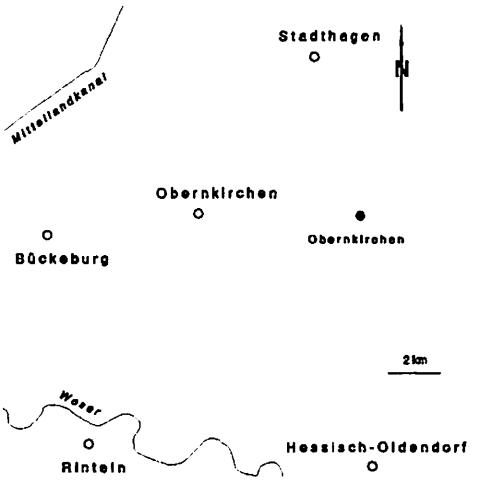


Abb. 102: Lage der gemessenen Sandstein-Lagerstätte (●) von Obernkirchen.

6.4 Kalkstein

6.4.1 Quaderkalk

Der Quaderkalkstein aus dem oberen Muschelkalk (mo_3,Q) wird in den Gebieten um Kirchheim, Eiblstadt und Kleinrinderfeld abgebaut. Gerade in den letzten Jahren wurden alte Steinbrüche wieder in Betrieb genommen.

Der Quaderkalkstein (Schill- und Bruchschillkalksteinbänke) hat gute technische Eigenschaften. Er ist besonders lohnenswert abzubauen in den Randbereichen der Quaderkalksteinverbreitung, wo die Bildung von senkrecht zueinander stehenden Klüften eine Absonderung in große Quader bewirkt (vgl. Abb. 12).

Bei der Entwicklung des Oberen Muschelkalkes 3 im unterfränkischen Raum kommt es in einem Gebiet zwischen Rothenburg ob der Tauber und Würzburg neben der normalen Ausbildung der Tonplattenfazies zur Ausbildung von dicken Kalksteinbänken der Quaderkalksteinfazies.

Muschelkalk Quaderkalkstein/mo				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Kirchheim 1 n_x= 23 n_y= 33	0,68	0,46	0,85	0,50
Kirchheim 2 n_x= 17 n_y= 17	0,92	0,93	1,09	1,09
Eiblstadt n_x= 11 n_y= 14	0,54	0,52	0,60	0,49
Winterhausen 1 n_x= 34 n_y= 39	0,44	0,44	0,50	0,55
Winterhausen 2 n_x= 47 n_y= 43	0,31	0,35	0,35	0,40

Tab. 24: Quaderkalksteinlagerstätten, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Bei der Quaderkalksteinfazies handelt es sich um eine schnell geschüttete eingeschobene Zwischenschaltung von Schalen- und Schalentrümmermassen. Nach der kurzen turbulenten Schüttung stellte sich wieder Normalfazies ein.
Der obere Muschelkalk 3 wird mit zunehmender Quaderkalksteinführung mächtiger und zwar meist um die gesamte Mächtigkeit des Quaderkalksteines [93].
Der Quaderkalkstein kann in folgenden stratigraphischen Bereichen auftreten:
Der Untere Hauptquaderhorizont lagert zwischen Tonsteinhorizont 5 und der Hauptterebratelbank. Die größte regionale Verbreitung besitzt der Obere Hauptquaderhorizont zwischen Gelbem Kipper und Ostracodenton. Oft ist auch der Glaukonitkalkstein in Quaderkalksteinfazies ausgebildet (z. B. im Gebiet von Kleinrinderfeld, Winterhausen).

Im Gebiet des Maintales ist nicht nur der Obere Hauptquaderhorizont, sondern oft auch einige Meter darunter der Untere Hauptquaderhorizont in Werksteinqualität ausgebildet. Die Mächtigkeit der Hauptquaderhorizonte liegt zwischen 2 - 3 m.
Quaderkalksteinlagerstätten können sicherlich noch an vielen Stellen in diesem Verbreitungsgebiet erschlossen werden, wobei zu beachten ist, daß die Vorkommen faziell sehr verschieden entwickelt sind. Wie die Diagramme zeigen, sind auch die Blockgrößen recht verschieden. Die Quaderkalksteinhorizonte sind oft an den Talhängen des Maingebietes angeschnitten. Die Erschließung von neuen Lagerstätten setzt aber zunehmend die Beseitigung größerer Abraummengen voraus, was allerdings mit der heutigen Gewinnungs- und Fördertechnik möglich ist.

Heute werden zunehmend auch Lagerstätten mit Abraummächtigkeiten von über 10 m abgebaut.

6.4.1.1 Kirchheim 1

Der Steinbruch Kirchheim (Abb. 65) hat senkrecht aufeinanderstehende Kluftsysteme. Da die Klüfte zumeist durchschlagend sind, ist hier die Bezeichnung Quaderkalk wörtlich angebracht. Daher wurde dieser Steinbruch zur Erprobung elektromagnetischer Reflexionsmessungen (siehe Kapitel 5.4) ausgewählt.

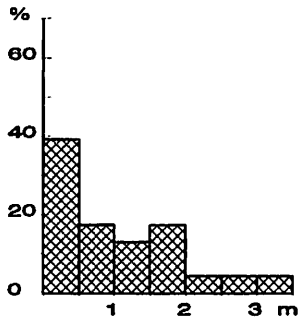


Abb. 103-1: Steinbruch Kirchheim 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 117°, n = 23).

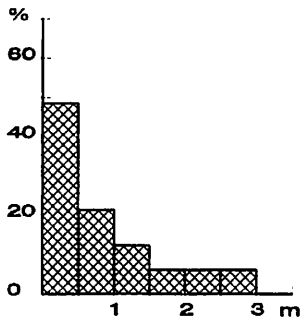


Abb. 103-2: Steinbruch Kirchheim 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 022°, n = 33).

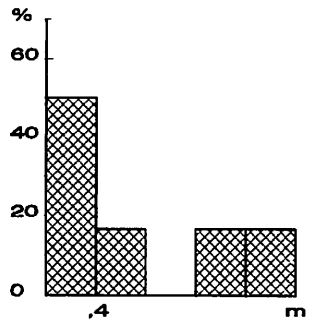


Abb. 103-3: Steinbruch Kirchheim 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 6).

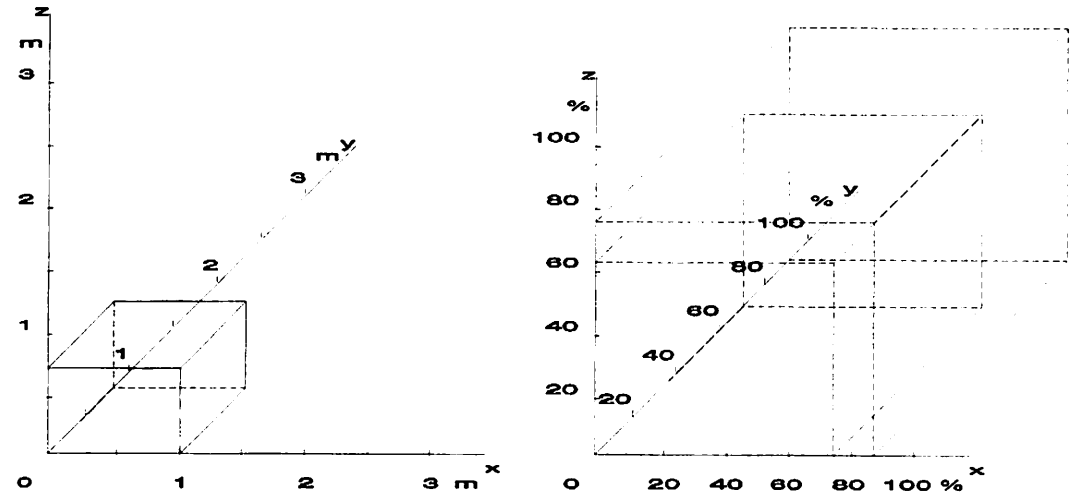


Abb. 104: Steinbruch Kirchheim 1. Links: Durchschnittsblock = 0,54 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 57 %).

Der durchschnittliche Grundkörper, in Quaderform, liegt mit einem Wert von 0,54 m³ deutlich über den 0,4 m³. Die Rohblockausbeute hat einen guten Wert von 57 %.

6.4.1.2 Kirchheim 2

In dieser Lagerstätte (Abb. 65) ist die Zahl der weiten Kluftabstände über 1 m in y-Richtung (Abb. 105-2) etwas höher als im vorigen Steinbruch, was zu einer etwas besseren Rohblockhöffigkeit von knapp 66 % führt.

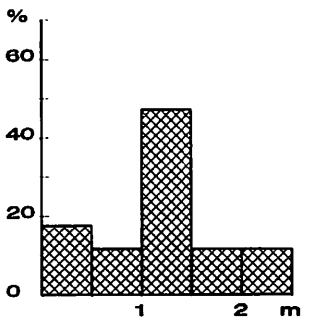


Abb. 105-1: Steinbruch Kirchheim 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 110°, n = 17).

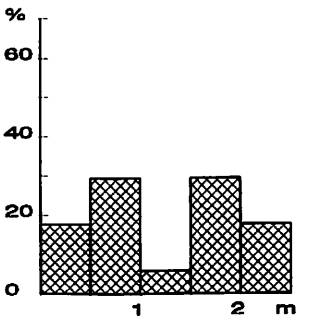


Abb. 105-2: Steinbruch Kirchheim 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 015°, n = 17).

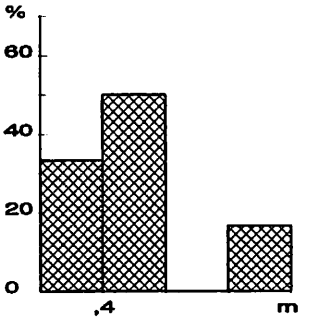


Abb. 105-3: Steinbruch Kirchheim 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 6).

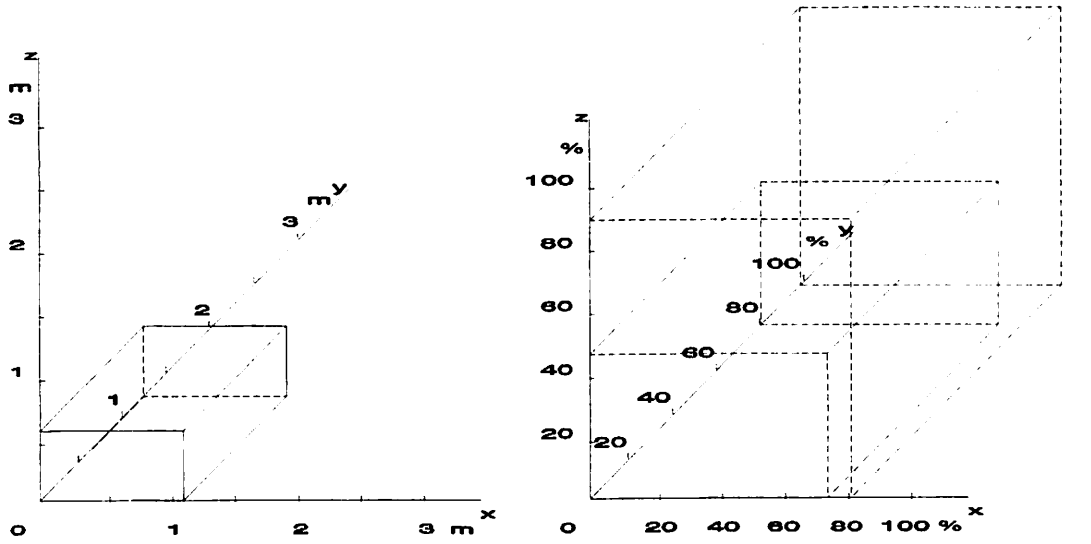


Abb. 106: Steinbruch Kirchheim 2. Links: Durchschnittsblock = 0,73 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 66 %).

Der Durchschnittsblock umfaßt ein Volumen von 0,73 m³.

6.4.1.3 Eiblstadt

Die Lagerstätte in der Nähe von Eiblstadt (Abb. 65) ist erst seit kurzer Zeit wieder in Betrieb. Gewonnen werden hier nur sehr geringe Mengen. Die Lagerstätte liegt auf einem Bergrücken östlich des Mains. Hier zeigt sich die Schwierigkeit, daß nur zwei Bänke anstehen und daher lediglich zwei Schichtflächenabstände eingemessen werden konnten (Abb. 107-3).
Die Histogramme der Trennflächenabstände (Abb. 107-1 - Abb. 107-3) machen aber schon deutlich, daß durchaus große Blöcke zu gewinnen sind.
Die Rohblockhöffigkeit hat einen hohen Wert von 60 %. Hier sind gegebenfalls Einschränkungen zu machen, da der Aufschluß nur sehr klein war. Der Durchschnittsblock liegt bei 0,64 m^3, ein guter Wert im Vergleich mit den beiden folgenden Lagerstätten, die unmittelbar auf der westlichen Seite des Mains gelegen sind.

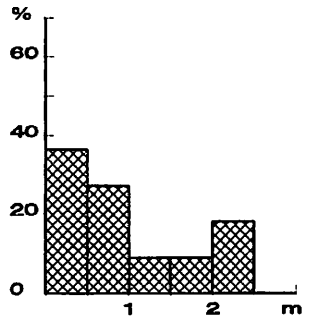


Abb. 107-1: Steinbruch Eiblstadt. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 107°, n = 11).

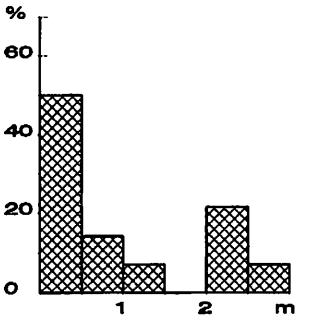


Abb. 107-2: Steinbruch Eiblstadt. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 025°, n = 14).

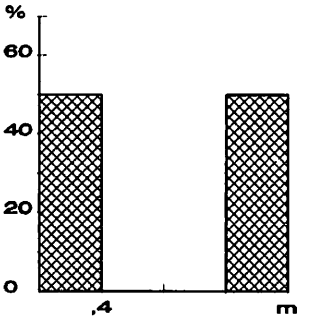


Abb. 107-3: Steinbruch Eiblstadt. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 2).

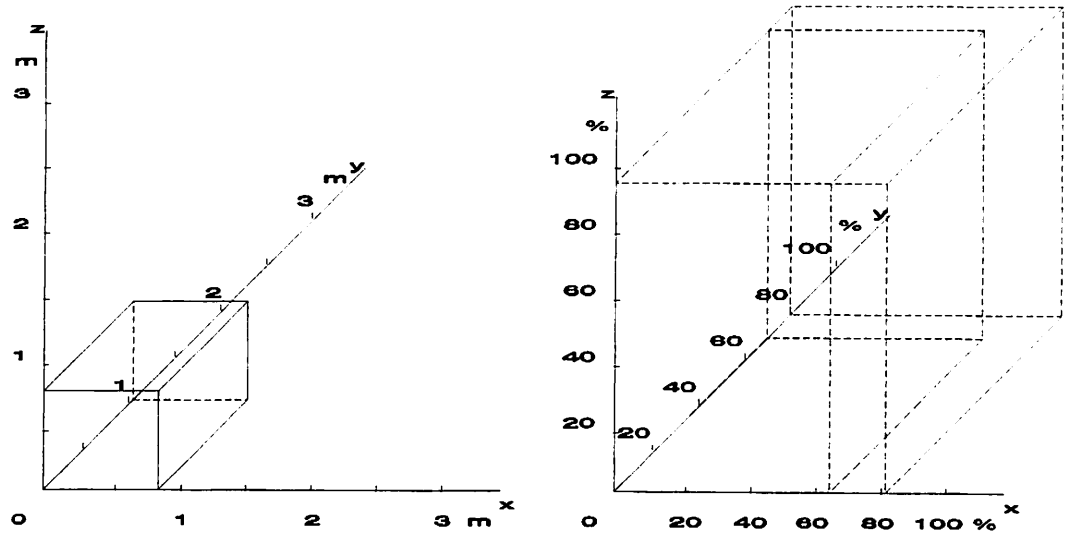


Abb. 108: Steinbruch Eiblstadt. Links: Durchschnittsblock = 0,64 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit bei 60 %).

6.4.1.4 Winterhausen 1

Die Steinbrüche Winterhausen 1 und Winterhausen 2 zeigen deutliche Unterschiede zum Steinbruch Eiblstadt, obwohl sie nur wenige Kilometer entfernt voneinander sind (Abb. 65) und auf der gegenüberliegenden Seite des Mains liegen. Sie weisen deutlich geringere Durchschnittsblöcke (hier 0,14 m^3) und damit auch kleinere Rohblockhöffigkeiten von 25 % (Abb. 110) bzw. 22 % (Abb. 112) auf.

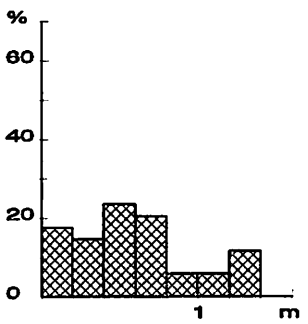


Abb. 109-1: Steinbruch Winterhausen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 121°, n = 34).

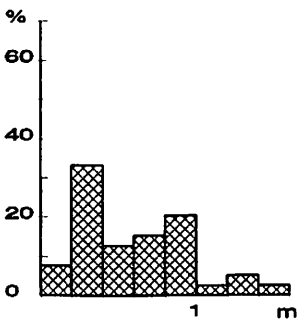


Abb. 109-2: Steinbruch Winterhausen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 017°, n = 39).

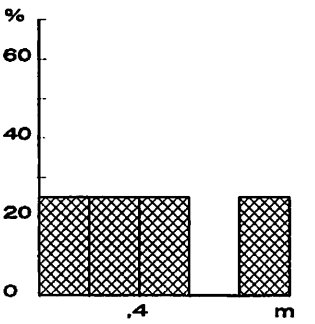


Abb. 109-3: Steinbruch Winterhausen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 4).

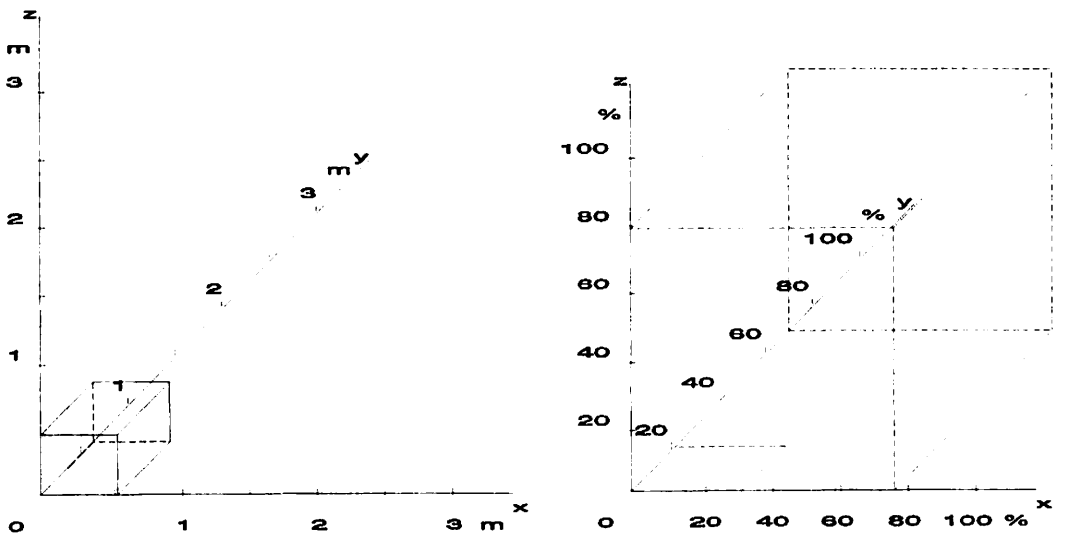


Abb. 110: Steinbruch Winterhausen 1. Links: Durchschnittsblock = 0,14 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen, in z keine Werte ≥ 1,0 m (η = 25 %).

6.4.1.5 Winterhausen 2

Die Unterschiede zwischen Winterhausen 1 und Winterhausen 2, die in unmittelbarer Nähe zueinander liegen, sind gering. Dieser Steinbruch hat einen etwas kleineren Durchschnittsblock (0,09 m^3) und die Rohblockhöffigkeit liegt bei 22 % (Abb. 112).

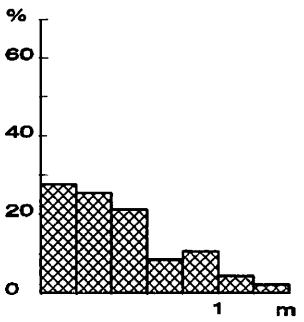


Abb. 111-1: Steinbruch Winterhausen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 122°, n = 47).

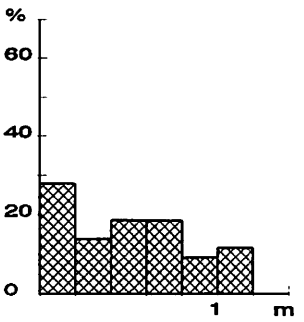


Abb. 111-2: Steinbruch Winterhausen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 025°, n = 43).

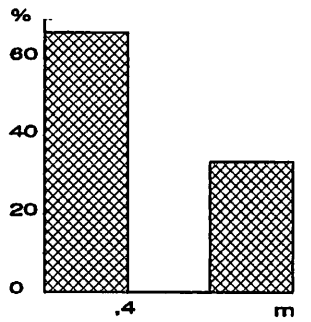


Abb. 111-3: Steinbruch Winterhausen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 3).

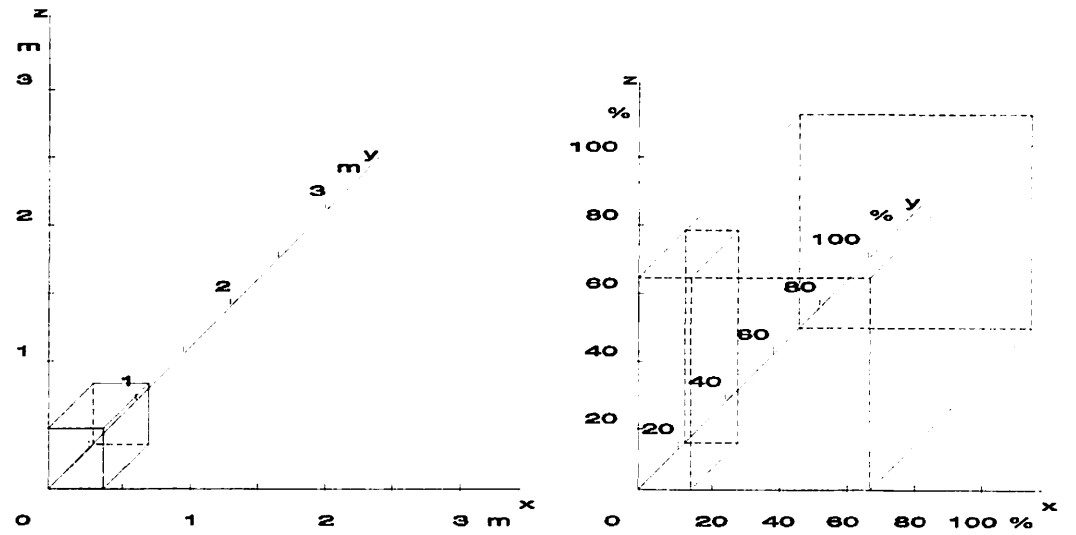


Abb. 112: Steinbruch Winterhausen 2. Links: Durchschnittsblock = 0,09 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 22 %).

Die Gewinnung gestaltet sich wegen meist geringerer Abraummächtigkeiten in dieser Lagerstätte z. T. einfacher als im Raum Kirchheim/Würzburg. Andererseits kann die Mächtigkeit des Abraums hier auf engen Raum auch deutlich schwanken.

6.4.1.6 Quaderkalkstein-Gesamt

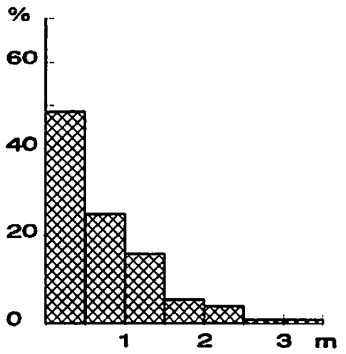


Abb. 113: Quaderkalksteinbrüche zusammen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x ≈ 116°, n = 132).

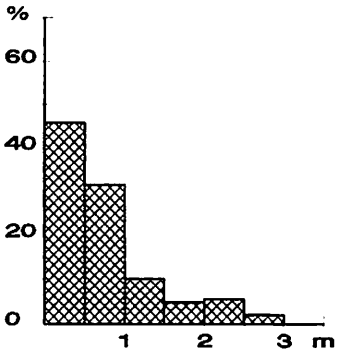


Abb. 114: Quaderkalksteinbrüche zusammen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y ≈ 021°, n = 146).

Quaderkalkstein-Gesamt Kalkstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Quaderkalkstein $n_x = 132$ $n_y = 146$	0,47	0,46	0,50	0,50

Tab. 25: Quaderkalkstein-Gesamt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Die Abb. 113 und Abb. 114 zeigen die Histogramme der Daten aller gemessenen Quaderkalksteinbrüche für die x- und y-Richtung. Näher eingegangen wird hierauf in Kapitel 6.7.2.1.

6.4.2 Jura-Kalkstein (Dickbankkalk)

In der Fränkischen Alb wird in einer Vielzahl von Steinbrüchen Kalkstein gewonnen, der als Jura-Kalkstein und auch "Jura-Marmor" sowie "Treuchtlinger-Marmor" gehandelt wird. Petrographisch ist der Begriff Marmor falsch, wird aber dennoch oft verwendet, wenn es sich um polierfähigen Kalkstein handelt.

Die Kalksteine des Malm δ sind als Dickbankkalke ausgebildet. Deren typische Schichtenabfolge bleibt über eine Entfernung von > 100 km (auch über Unterbrechungen hinweg) in vergleichbarer Weise erhalten. Es handelt sich hierbei um eine partikelreiche "Schwammrasenfazies", in der mehr oder weniger dicht den Boden besiedelnde tellerartige Einzelschwämme zusammen mit zahlreichen anderen organischen Partikeln in kalkiges Sediment eingeschlossen wurden, das sich in Form von Dickbänken schichtete [178].
Die Dickbänke sind im Liegenden von den dünnerbankigen, meist splitternden, weitgehend Schwamm- und partikelfreien Kalken des Malm γ gut abzugrenzen, da sie in der Regel unverwittert in typischer Fazies mit der sogenannten Basisbank einsetzen [178].
Im Hangenden werden die Dickbankkalke durch rasch beginnende, meist dolomitische Massenfazies abgelöst (s. a. Lagerstätte Kleinziegenfeld). Teils sind die Bänke im Hangenden schon dolomitisiert. Im oberen Drittel der Abfolge kann die Bankung zurücktreten. Man bezeichnet diese dunklen, massenfaziesähnlichen Partien auch als "Wilden Fels".

Jura-Kalkstein Malm-Delta				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Gundelsheim n_x= 51 n_y= 14	1,17	1,63	1,20	1,93
Treuchtlingen 1 n_x= 19 n_y= 50	1,22	0,93	1,00	1,00
Treuchtlingen 2 n_x= 23 n_y= 13	1,09	1,92	1,09	1,80
Rehlingen n_x= 28 n_y= 35	1,80	0,91	1,84	1,00
Grafenmühle n_x= 21 n_y= 30	0,83	0,59	0,90	0,55
Kaldorf 1 n_x= 22 n_y= 41	1,27	1,04	1,49	1,09
Kaldorf 2 n_x= 14 n_y= 54	2,05	1,05	2,32	1,09
Petersbuch 1 n_x= 9 n_y= 16	1,40	1,75	1,99	2,03
Petersbuch 2 n_x= 40 n_y= 22	1,28	1,17	1,40	1,15
Erkertshofen 1 n_x= 17 n_y= 27	1,31	1,58	1,11	1,70
Erkertshofen 2 n_x= 28 n_y= 57	1,13	0,73	1,11	0,80
Sankt Egid n_x= 31 n_y= 38	0,80	0,83	0,90	0,85

Tab. 26: Jura-Kalkstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Die durchschnittliche charakteristische Dicke der Bänke beträgt 0,7 - 0,8 m. Sie sind durch mergelige Fugen, selten durch Mergelzwischenlagen getrennt. Manche Bänke sind kompakt, andere spalten an latenten Unterfugen, die teils erst im angewitterten Zustand hervortreten [178].



Abb. 115: Radlader in einem Kalksteinbruch bei Erkertshofen. Gut sichtbar sind hier die in der Fränkischen Alb auf sehr große Entfernungen annähernd gleichbleibenden Schichtmächtigkeiten.

In Riffnähe ist mit vermehrtem Auftreten von Hornsteinen zu rechnen, und zum Hangenden werden die Kalksteine zunehmend dolomitischer.
In der Gegend von Treuchtlingen erfolgt die Kennung mit Nummern. Die Bänke werden zumeist vom Liegenden zum Hangenden gezählt. Es gibt aber auch einige Betriebe, die die Schichten in entgegengesetzter Richtung durchnumerieren. Im Gebiet von Eichstätt werden die Bänke mit Buchstaben in alphabetischer Reihenfolge vom Hangenden zum Liegenden gekennzeichnet. Bänke, welche faziell untypisch ausgebildet sind und splittrig brechen, werden auch als "Glasbänke" oder "Glaser" bezeichnet.

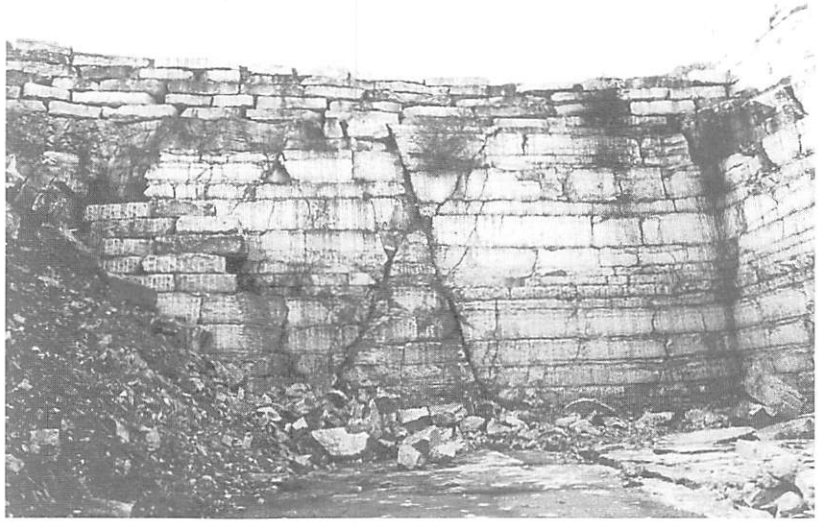


Abb. 116: Abschiebung in dem Steinbruch Kaldorf, Fränkische Alb.

Die charakteristischen Bänke (vom Liegenden zum Hangenden) sind:

- 'Basisbank', 'Meterbank' oder 'Hauptschwammbank': (Bank # 1) viele Schwammeinschlüsse in Lebensstellung, meist 1,0 m bzw. 1,1 m mächtig, daher auch Meterbank. Sie bildet die Basis des Treuchtlinger Marmor (daher auch Basisbank).
- 'Geblümte Bank' oder 'Travertin': (Bank # 11) Abfolge lagenartig angeordneter Schwammrasen mehrerer cm Stärke, besonders charakteristisch, wegen lebhafter

Lagenstruktur begehrte Werksteinbank. Diese Bank ist zumeist 130 cm dick und wird auch als Travertin bezeichnet.
- 'Untere Mergelplatte': (Bank # 19) die meist 40 cm mächtige Bank wird von zwei 10 cm mächtigen Mergeln begleitet, die leicht herauswittern und dadurch die Bank durch zwei tiefe Rillen begrenzen.
- 'Obere Mergelplatte': (Bank # 25) wie die 'Untere Mergelplatte', nur daß diese ca. 75 cm mächtig ist und von zwei ca. 20 cm mächtigen Mergelkalken begleitet wird und somit auch in der Bruchwand als orientierte Leitbank auftritt.

In diesen Lagerstätten wird deutlich, daß bei einer Schichtmächtigkeit ≥ 0,4 m eine solche Bank nicht automatisch zu verwenden ist. Vielmehr sind in jedem Falle erst die petrographischen und technischen Eigenschaften zu prüfen. Deshalb muß die ca. 0,4 m mächtige, nicht als Werkstein geeignete Untere Mergelplatte zwischen den Mergelschichten sowie die Glaser-Bank aus qualitativen Gründen ganz abgetragen und verworfen werden.

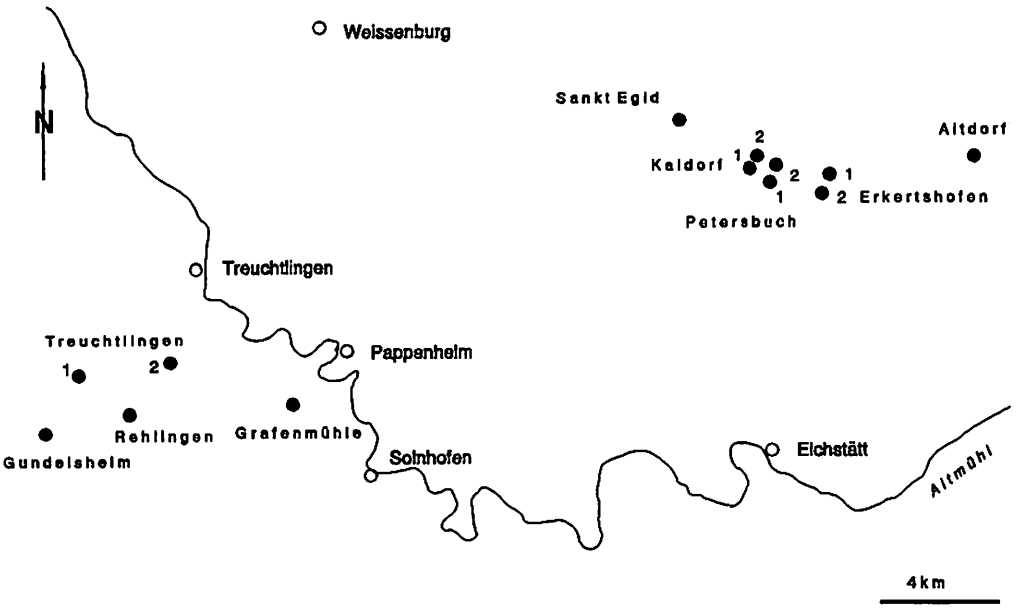


Abb. 117: Lage der gemessenen Steinbrüche (●) und Aufschlüsse (Altdorf) im Dickbankkalk (Malm δ).

Da die Schichtmächtigkeiten der Lagerstätten nur minimal schwanken, konnte bei allen Lagerstätten die gleichen Schichtabstände angesetzt werden.

6.4.2.1 Gundelsheim

In der Lagerstätte bei Gundelsheim (Abb. 117) liegen fast 65 % aller gemessenen Kluftabstände über den Mindestwerten von 1 m. Auch die Schichtflächenabstände zeigen sehr gute Werte. Bei Betrachtung des Durchschnittsblocks (2,47 m^3) wird ersichtlich, daß die Trennflächen in y-Richtung im Mittel fast um einen Meter höher sind als die in x-Richtung (Abb. 119). Die Rohblockhöffigkeit liegt bei 74 %.

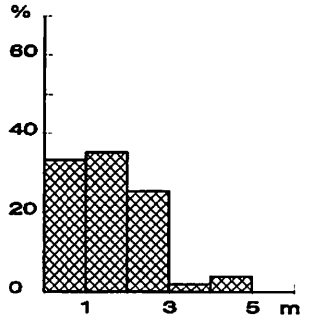


Abb. 118-1: SteinbruchGundelsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 088°, n = 51).

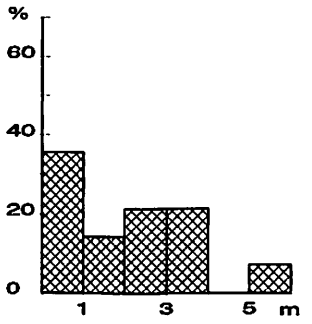


Abb. 118-2: SteinbruchGundelsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 015°, n = 14).

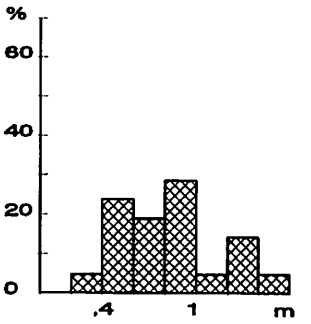


Abb. 118-3: SteinbruchGundelsheim. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

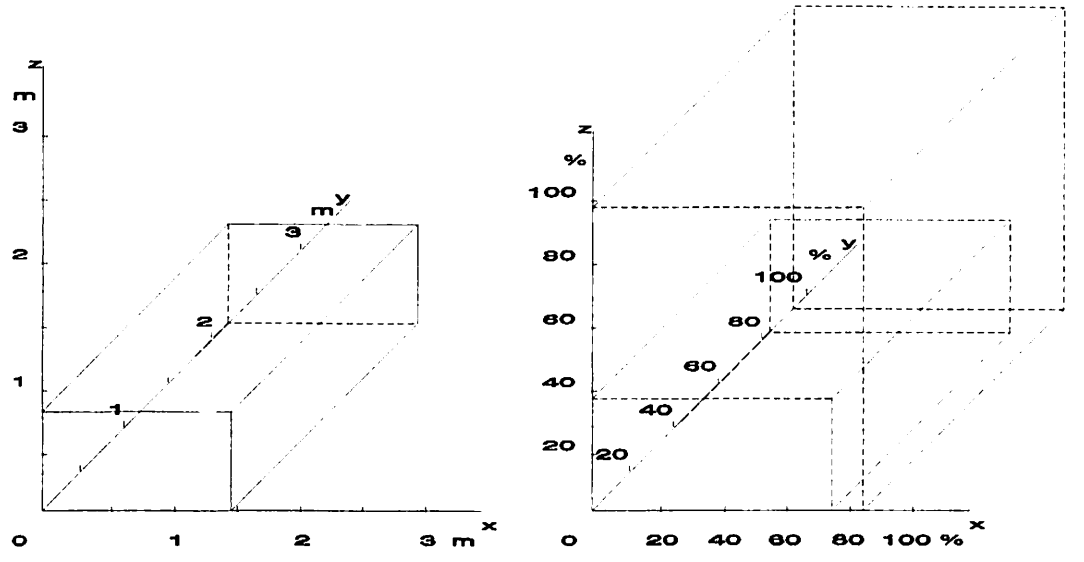


Abb. 119: Steinbruch Gundelsheim. Links: Durchschnittsblock = 2,47 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 74 %).

Die Gewinnung erfolgt mit einem Reihenbohrgerät und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.4.2.2 Treuchtlingen 1

Dieser Steinbruch zwischen Gundelsheim und Treuchtlingen (Abb. 117) ist seit kurzem nicht mehr in der Gewinnung; er dient nun als Bauschuttdeponie.
Der durchschnittliche Block liegt bei 1,51 m^3 und die Rohblockhöffigkeit bei 61 % (Abb. 121), ein Wert, der im Vergleich zu anderen Lagerstätten in der Frankenalb mehr im unteren Bereich anzusiedeln ist.

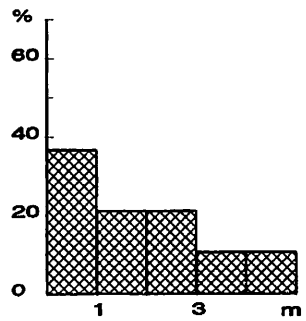


Abb. 120-1: Steinbruch Treuchtlingen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 137°, n = 19).

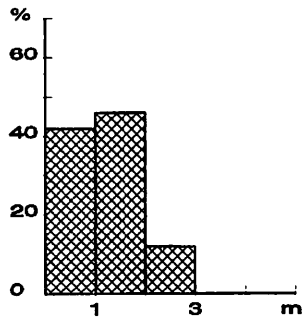


Abb. 120-2: Steinbruch Treuchtlingen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 045°, n = 50).

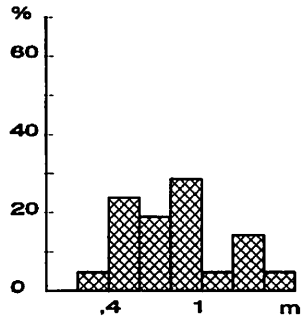


Abb. 120-3: Steinbruch Treuchtlingen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

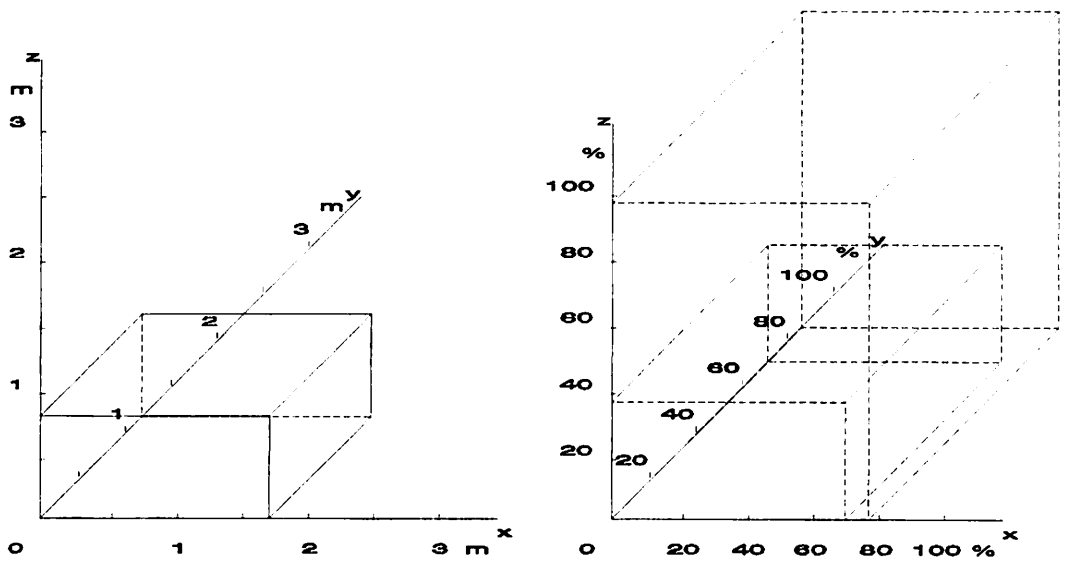


Abb. 121: Steinbruch Treuchtlingen 1. Links: Durchschnittsblock = 1,51 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 61 %).

6.4.2.3 Rehlingen

Die in Rehlingen nahe bei Treuchtlingen (Abb. 117) gelegene Lagerstätte weist einen sehr hohen, in x-Richtung ausgelängten Durchschnittsblock mit 2,06 m^3 auf (Abb. 123). Dieses Format stimmt überein mit den gewonnenen Rohblöcken, die im Steinbruch lagern (Abb. 172).

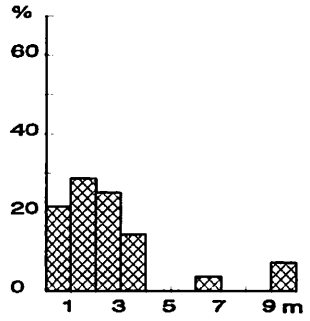


Abb. 122-1: Steinbruch Rehlingen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 116°, n = 28).

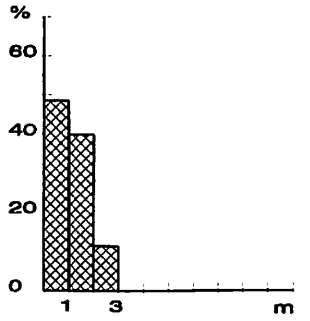


Abb. 122-2: Steinbruch Rehlingen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 027°, n = 35).

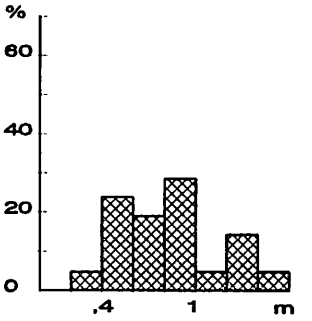


Abb. 122-3: Steinbruch Rehlingen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

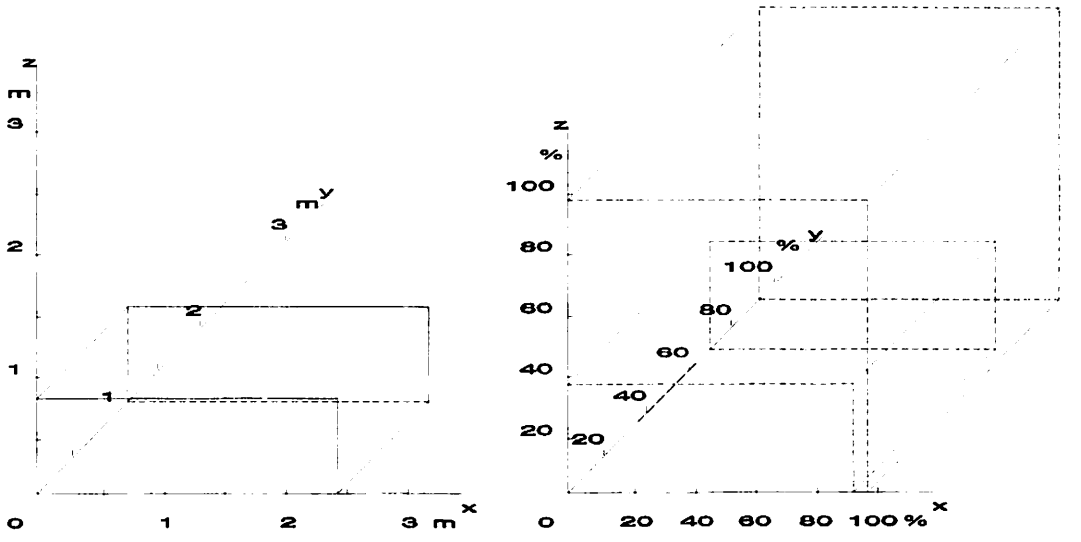


Abb. 123: Steinbruch Rehlingen. Links: Durchschnittsblock = 2,06 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 84 %).

Bei Betrachtung der Histogramme wird ersichtlich, daß in diesem Steinbruch die Trennflächenabstände in x-Richtung bis über 9 m weit sind (Abb. 122-1), wohingegen in y-Richtung nur Trennflächenabstände bis maximal 3 m auftreten (Abb. 122-2).
Auf Grund der weiten Trennflächenabstände ist die Rohblockhöffigkeit in der Lagerstätte Rehlingen mit 84 % sehr hoch.
Die Gewinnung erfolgt mit Handbohrhämmern und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.4.2.4 Treuchtlingen 2

Der Steinbruch südlich von Treuchtlingen (Abb. 117) weist mit 2,49 m^3 (Abb. 125) einen ähnlich hohen Durchschnittsblock wie die in der Umgebung liegenden Steinbrüche auf, wobei dieser hier vorwiegend in y-Richtung ausgelängt ist. In dieser Richtung treten Trennflächenabstände bis über 7 m auf (Abb. 124-2).

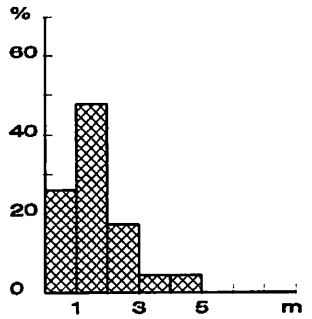


Abb. 124-1: Steinbruch Treuchtlingen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 110°, n = 23).

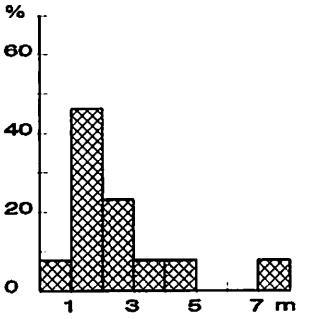


Abb. 124-2: Steinbruch Treuchtlingen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 025°, n = 13).

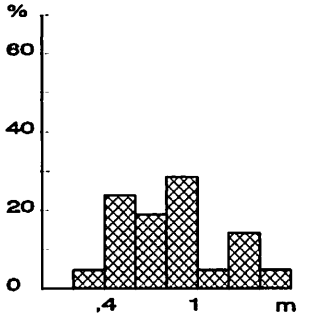


Abb. 124-3: Steinbruch Treuchtlingen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

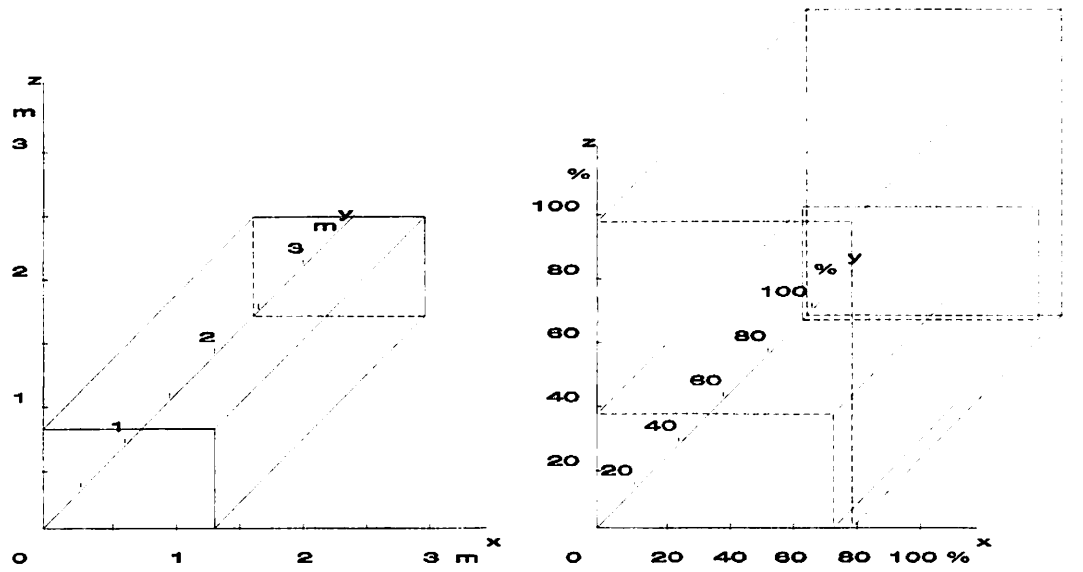


Abb. 125: Steinbruch Treuchtlingen 2. Links: Durchschnittsblock = 2,49 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 73 %).

Anhand der Histogramme wird ersichtlich, daß die Trennflächenabstände in x-Richtung bis nahezu 5 m weit sind (Abb. 124-1).
Die Rohblockhöffigkeit von 73 % ist ähnlich hoch wie die der nahegelegenen Steinbrüche.

6.4.2.5 Grafenmühle

Die Lagerstätte in der Nähe von Pappenheim (Abb. 117) weist von den gemessenen Lagerstätten in der Fränkischen Alb mit 46 % die geringste Rohblockhöffigkeit und mit 0,59 m^3 den kleinsten Durchschnittsblock auf (Abb. 127). Auf die möglichen Ursachen wird in Kapitel 6.7.2.3 eingegangen. Die Kluftabstände reichen in x-Richtung bis zu fast 5 m (Abb. 126-1), in y-Richtung aber nur bis 2 m (Abb. 126-2).

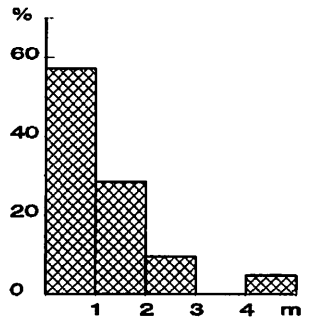


Abb. 126-1: Steinbruch Grafenmühle. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 118°, n = 21).

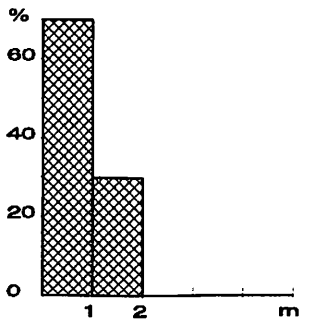


Abb. 126-2: Steinbruch Grafenmühle. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 030°, n = 30).

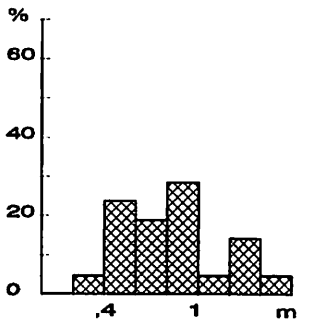


Abb. 126-3: Steinbruch Grafenmühle. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

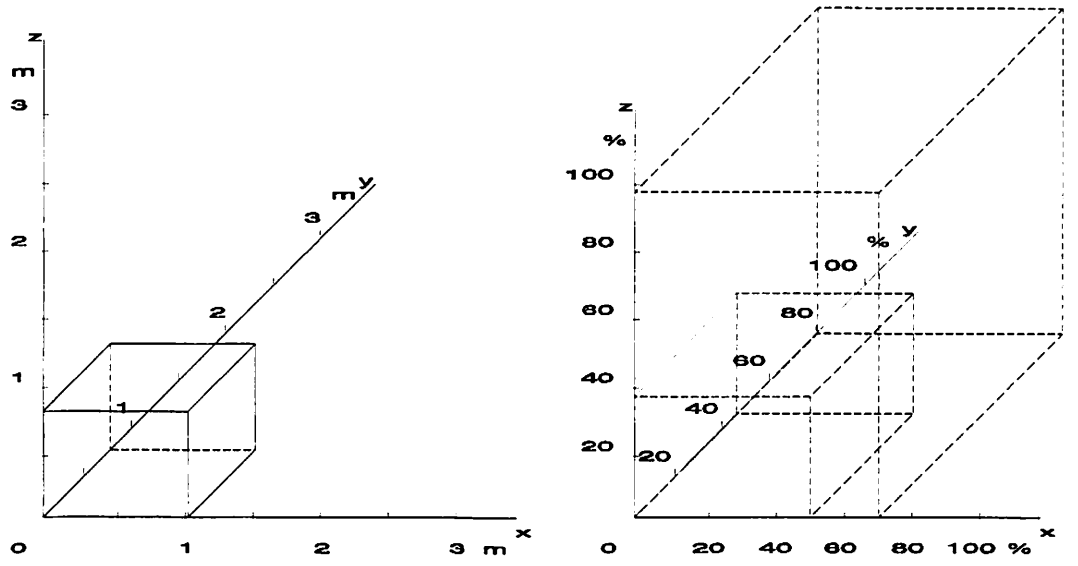


Abb. 127: Steinbruch Grafenmühle. Links: Durchschnittsblock = 0,59 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 46 %).

Die Gewinnung erfolgt mit pneumatischem Reihenbohrgerät auf einer Raupe als Trägerfahrzeug.

6.4.2.6 Kaldorf 1

Innerhalb des Steinbruchs südlich von Kaldorf (Abb. 117) treten Schwierigkeiten durch Verwerfungen (Abb. 116) auf. Bereits vor Anlage des Steinbruches wären diese bei einem Schurf aufgefallen und es hätte ihre Raumstellung eingemessen und dieser Bereich von vornherein umgangen werden können.

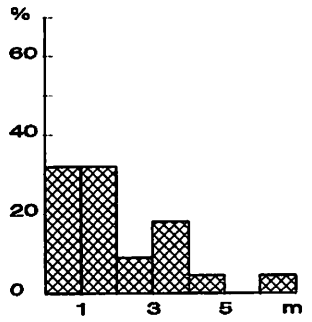


Abb. 128-1: Steinbruch Kaldorf 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 093°, n = 22).

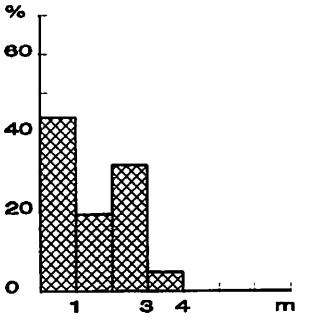


Abb. 128-2: Steinbruch Kaldorf 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 005°, n = 41).

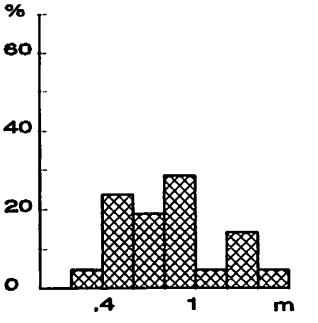


Abb. 128-3: Steinbruch Kaldorf 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

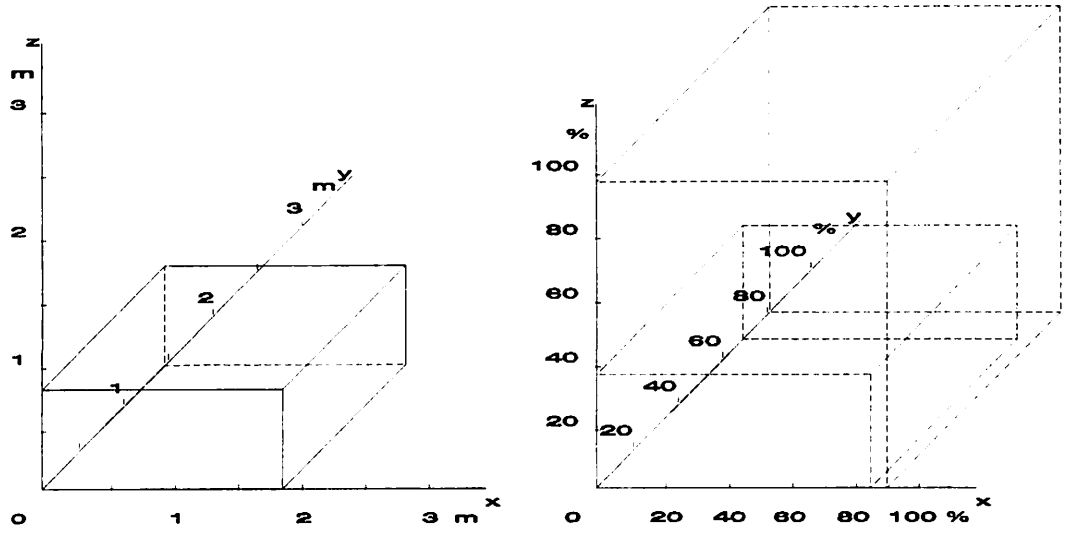


Abb. 129: Steinbruch Kaldorf 1. Links: Durchschnittsblock = 2,04 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 68 %).

Die Trennflächenabstände reichen in x-Richtung bis zu 9 m (Abb. 128-1) und in y-Richtung bis zu 7 m (Abb. 128-2). Der Durchschnittsblock liegt bei 2,04 m³, die Rohblockhöffigkeit bei 68 % (Abb. 129). Die Messungen sind nur für einen Bereich der Lagerstätte gültig, der nicht von den Verwerfungen betroffen ist.
Die Gewinnung erfolgt mit hydraulischem Reihenbohrgerät und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Spaltgeräten.

6.4.2.7 Kaldorf 2

Der zweite in der Nähe von Kaldorf gemessene Steinbruch liegt zwischen Kaldorf und Petersbuch (Abb. 117).

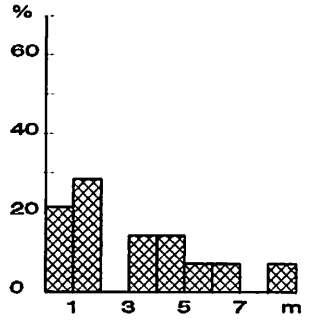


Abb. 130-1: Steinbruch Kaldorf 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 085°, n = 14).

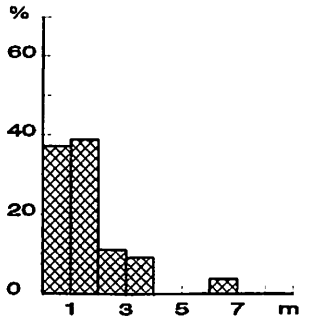


Abb. 130-2: Steinbruch Kaldorf 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 170°, n = 54).

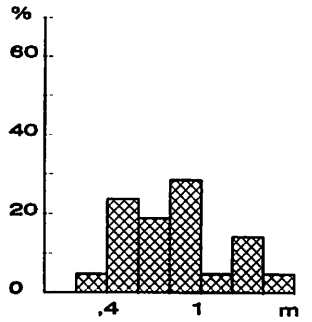


Abb. 130-3: Steinbruch Kaldorf 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

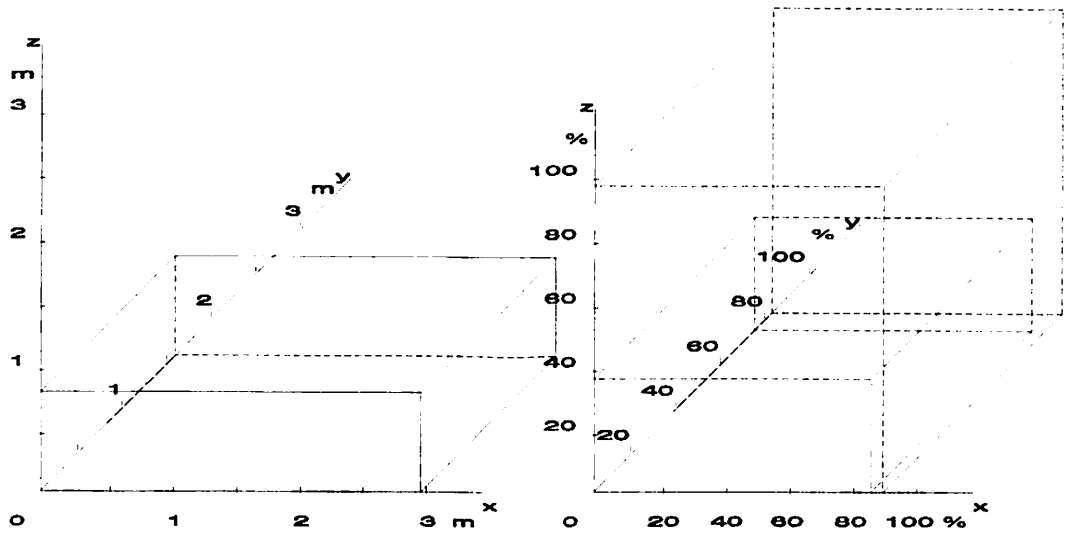


Abb. 131: Steinbruch Kaldorf 2. Links: Durchschnittsblock = 3,55 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 70 %).

Die Trennflächenabstände reichen in x- und in y-Richtung bis zu 9 m (Abb. 130-1) bzw. 7 m (Abb. 130-2). Der Durchschnittsblock liegt bei einem sehr hohem Wert von 3,55 m³ und die Rohblockhöffigkeit bei 70 %. In diesem nicht weit von Kaldorf 1 entfernten Steinbruch treten keine Verwerfungen auf.
Die Gewinnung erfolgt mit hydraulischem Reihenbohrgerät und durch anschließendem Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.4.2.8 Petersbuch 1

Die Lagerstätte Petersbuch liegt zwischen Kaldorf und Petersbuch (Abb. 117). Die Kluftabstände reichen in x-Richtung bis fast 9 m (Abb. 132-1) und in y-Richtung bis über 6 m (Abb. 132-2).

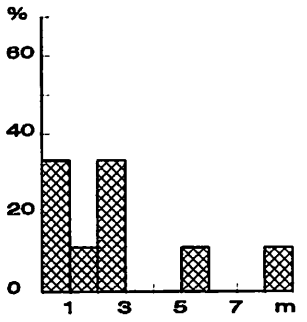


Abb. 132-1: Steinbruch Petersbuch 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 090°, n = 9).

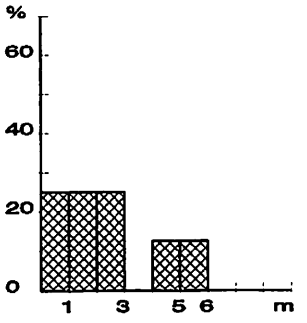


Abb. 132-2: Steinbruch Petersbuch 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 001°, n = 16).

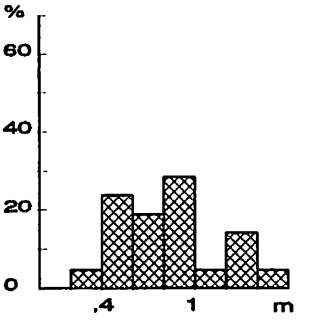


Abb. 132-3: Steinbruch Petersbuch 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

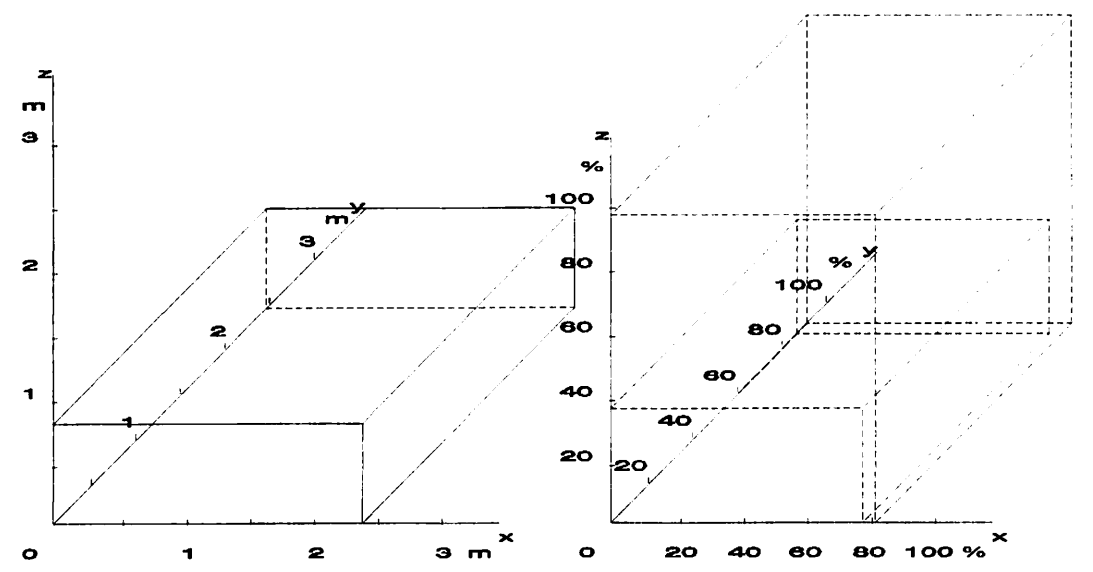


Abb. 133: Steinbruch Petersbuch 1. Links: Durchschnittsblock = 4,5 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 70 %).

Der Durchschnittsblock hat ein Volumen von 4,5 m³, und die Rohblockhöffigkeit liegt bei 70 % (Abb. 133).
Die Gewinnung erfolgt mit Reihenbohrgerät und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.4.2.9 Petersbuch 2

Die Steinbruch liegt unmittelbar (NE) neben dem Bruch Petersbuch 1 (Abb. 117).
Die entlang x-Richtung gemessenen Kluftabstände reichen bis 5 m (Abb. 134-1) und in y-Richtung bis 4 m (Abb. 134-2).

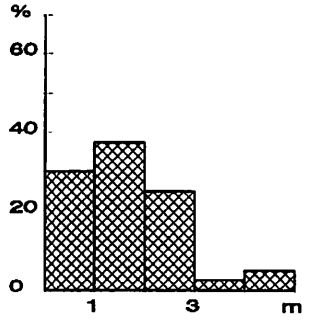


Abb. 134-1: Steinbruch Petersbuch 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 097°, n = 40).

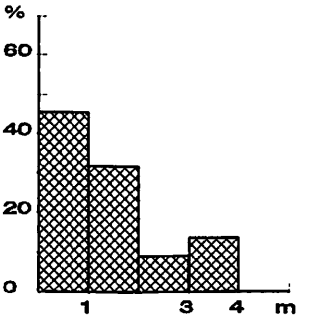


Abb. 134-2: Steinbruch Petersbuch 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 000°, n = 22).

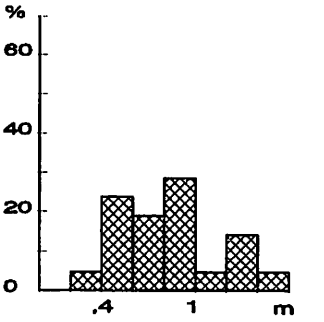


Abb. 134-3: Steinbruch Petersbuch 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

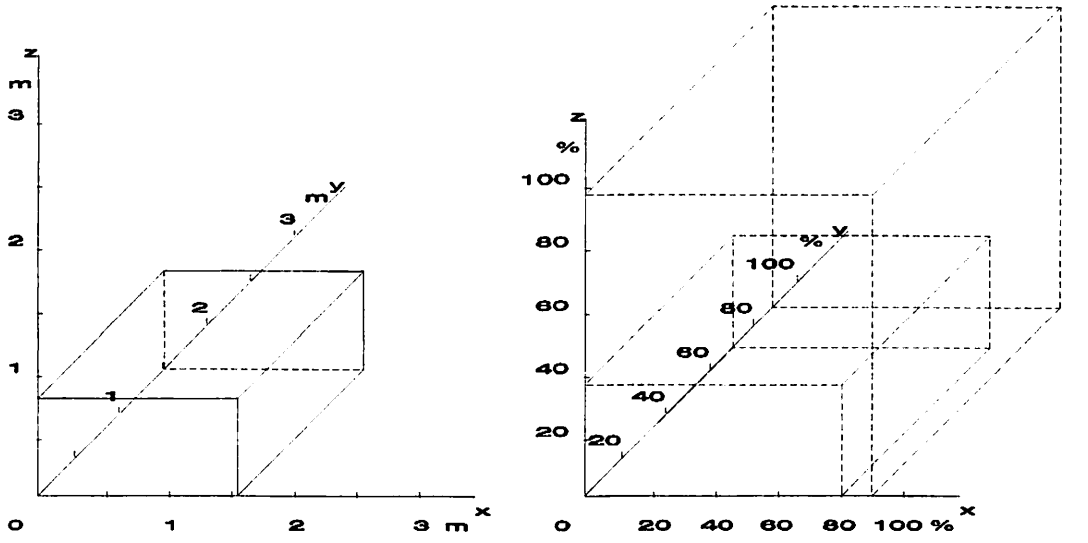


Abb. 135: Steinbruch Petersbuch 2. Links: Durchschnittsblock = 1,79 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit liegt bei 74 %).

Der Durchschnittsblock liegt bei einem Volumen von 1,79 m³ und die Rohblockhöffigkeit, trotz kleinerem Durchschnittsblocks als in der Lagerstätte Petersbuch 1, bei einem Wert von 74 % (Abb. 135).
Die Gewinnung erfolgt auch in diesem Steinbruch mit hydraulischem Reihenbohrgerät.

6.4.2.10 Erkertshofen 1

Westlich von Erkertshofen (Abb. 117) wird in einem großen Gebiet an vielen Stellen Kalkstein gewonnen. Die Kluftabstände reichen in x- und in y-Richtung bis 5 m (Abb. 136-1) bzw. knapp über 5 m (Abb. 136-2).

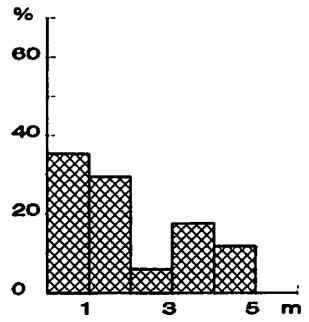


Abb. 136-1: Steinbruch Erkertshofen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 100°, n = 28).

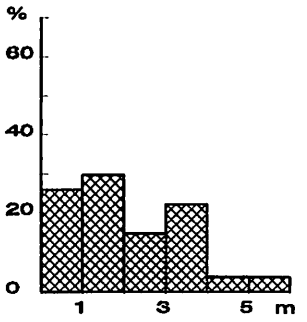


Abb. 136-2: Steinbruch Erkertshofen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 010°, n = 27).

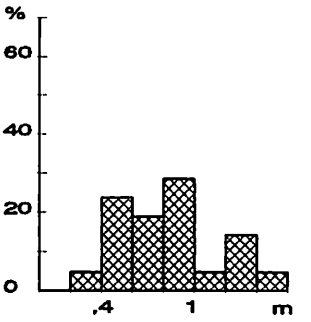


Abb. 136-3: Steinbruch Erkertshofen 1. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

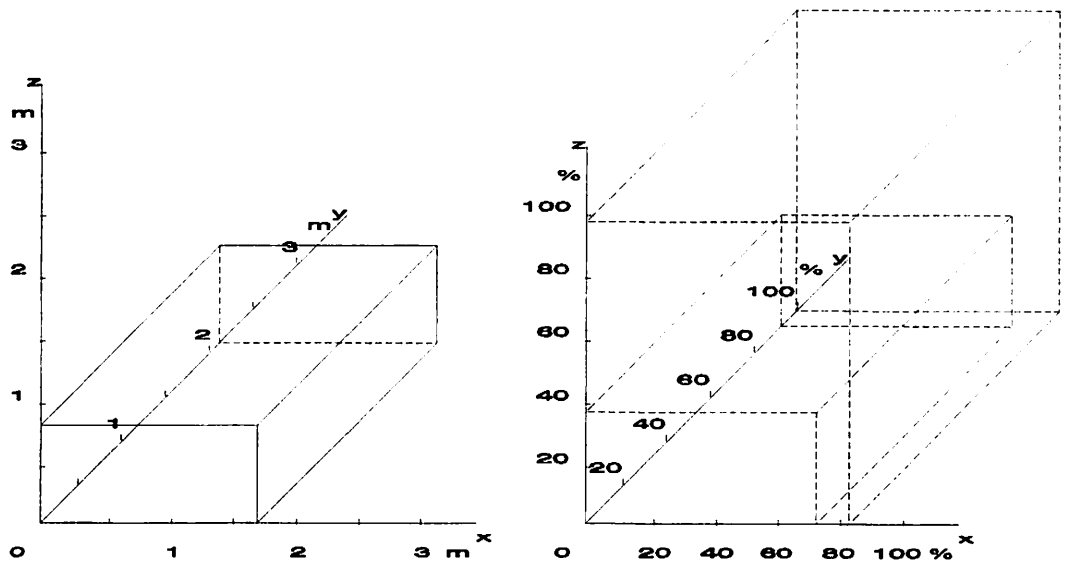


Abb. 137: Steinbruch Erkertshofen 1. Links: Durchschnittsblock = 2,77 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 77 %).

Der Durchschnittsblock liegt bei 2,77 m³, und die Rohblockhöffigkeit hat einen Wert von 77 % (Abb. 137).
Die Gewinnung erfolgt mit hydraulischem Reihenbohrgerät und durch anschließendes Spalten mit hydraulischen Steinspaltgeräten.

6.4.2.11 Erkertshofen 2

In unmittelbarer Nähe des Steinbruchs Erkertshofen 1 liegt der Steinbruch Erkertshofen 2 (Abb. 117), der vergleichsweise eine höhere Kluftdichte zeigt (Abb. 139). Die Kalksteinschichten bilden eine in dem Gebiet ungewöhnliche Depression, die sicherlich ein Grund für die höhere Kluftdichte ist. Eine derartige Depression wäre allerdings durch ein Bohrraster mit Bohrabständen von 30 m erfaßt worden.

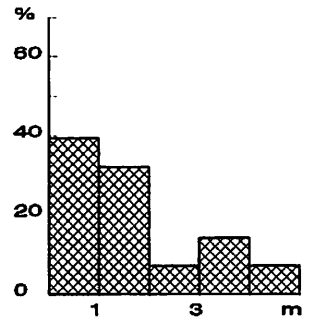


Abb. 138-1: Steinbruch Erkertshofen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 098°, n = 28).

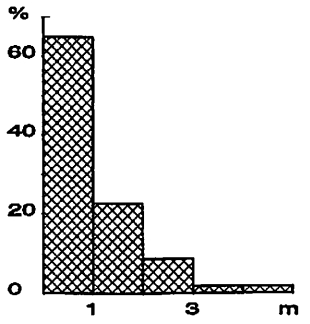


Abb. 138-2: Steinbruch Erkertshofen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 010°, n = 57).

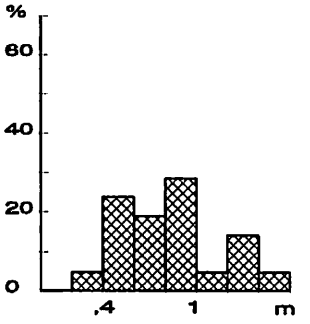


Abb. 138-3: Steinbruch Erkertshofen 2. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

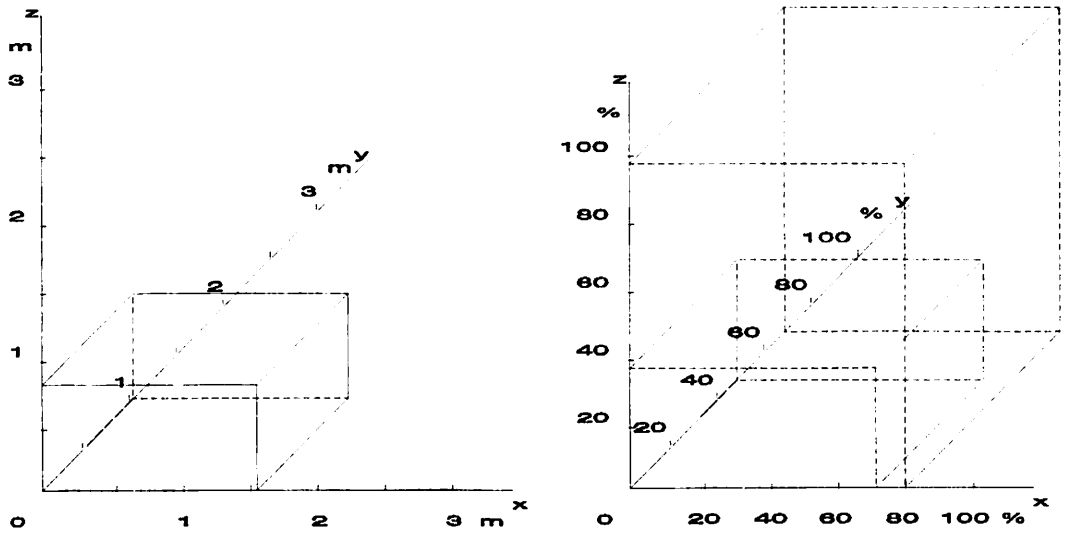


Abb. 139: Steinbruch Erkertshofen 2. Links: Durchschnittsblock = 1,20 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 50 %).

Der durchschnittliche Block hat eine Volumen von 1,20 m³. Die Rohblockhöffigkeit liegt bei 50 % (Abb. 139).
Die Gewinnung erfolgt mit den gleichen Verfahren wie im Steinbruch Erkertshofen 1.

6.4.2.12 Sankt Egid

Der Steinbruch von Sankt Egid ist der nördlichste (Abb. 117) der in der Gegend von Eichstätt eingemessenen Steinbrüche. Der Durchschnittsblock liegt bei einem für die Jura-Kalksteinbrüche niedrigen Wert von 0,79 m^3. Die etwas geringere Blockausbeute von 42 % (Abb. 141) und damit höhere Kluftdichte wird auf den nahen Albtrauf der Fränkischen Alb zurückzuführen sein.
Da eine Störung mit den CLAR-Werten 297/87 die Blöcke im spitzen Winkel teilt, bestehen in dem Steinbruch Schwierigkeiten, die Blöcke immer in Quaderform zu gewinnen. Die undeutliche Kluftverteilung ist aus Abb. 7 ersichtlich.

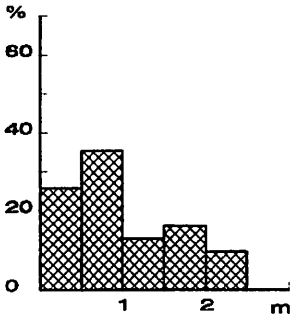


Abb. 140-1: Steinbruch Sankt Egid. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 145°, n = 31).

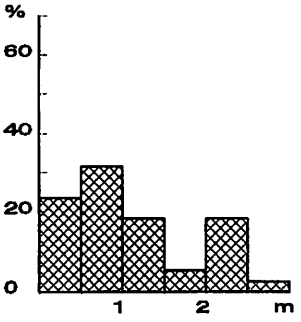


Abb. 140-2: Steinbruch Sankt Egid. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 040°, n = 38).

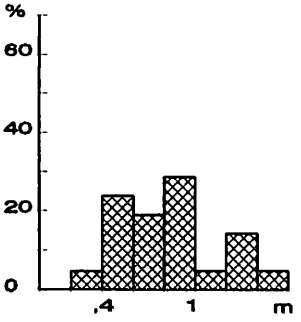


Abb. 140-3: Steinbruch Sankt Egid. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 21).

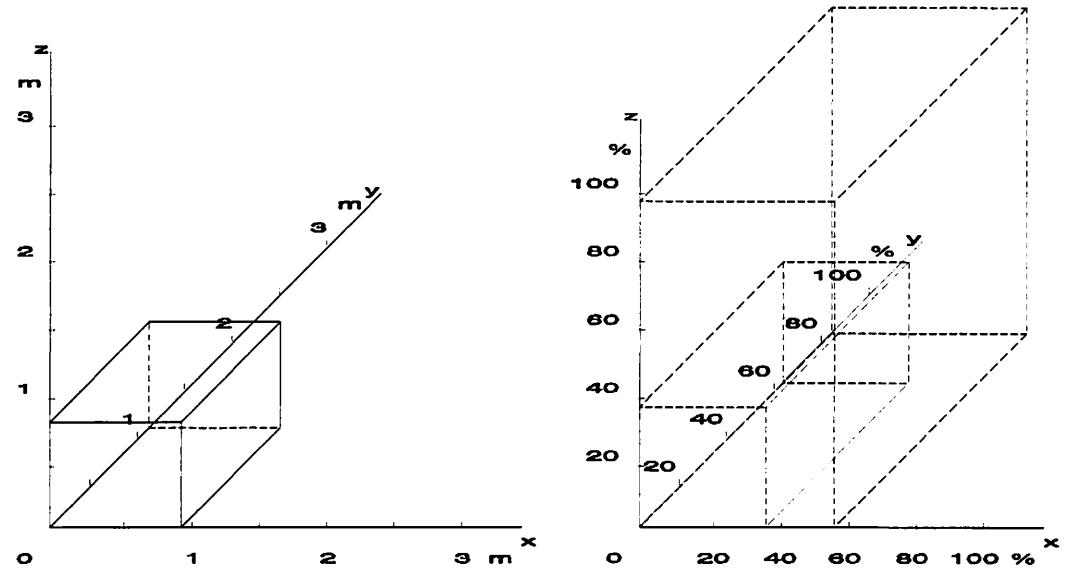


Abb. 141: Steinbruch Sankt Egid. Links: Durchschnittsblock = 0,79 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 42 %).

6.4.2.13 Jura-Kalkstein-Gesamt

Die Zusammenfassung aller gemessenen Trennflächen zeigt, daß diese in einigen Fällen durchaus Abstände von bis zu 10 m aufweisen können (Abb. 142, Abb. 143). Zudem sind sowohl in x-Richtung als auch in y-Richtung mehr als 50 % der Trennflächenabstände über dem Mindestmaß von ≥ 1,0 m. Die geometrischen Mittelwerte aller gemessener Lagerstätten liegen bei 1,2 m für die x-Richtung und 0,99 m für die y-Richtung (Tab. 27).

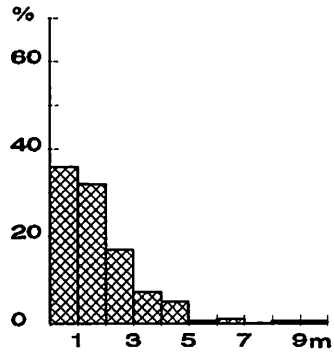


Abb. 142: Steinbrüche in der Umgebung des Altmühltals. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x ≈ 106°, n = 303).

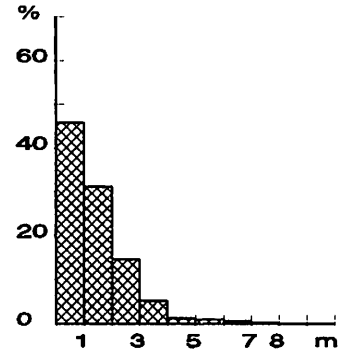


Abb. 143: Steinbrüche in der Umgebung des Altmühltals. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y ≈ 017°, n = 397).

Die in der Fränkischen Alb gemessenen Steinbrüche haben vorwiegend Rohblockhöffigkeiten (größer 0,4 m^3) im Bereich von 61 bis 84 %. Nur wenige Steinbrüche, wie der Bruch Sankt Egid und der Steinbruch Grafenmühle bei Pappenheim (Abb. 141 u. Abb. 127) liegen unter 50 %. Auf mögliche Ursachen hierfür wurde teilweise bereits hingewiesen bzw. wird noch in Kapitel 6.7.2.3.

Jura-Gesamt Kalkstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Jura-Gesamt $n_x = 303$ $n_y = 397$	1,20	0,99	1,20	1,00

Tab. 27: Jurakalksteine-Gesamt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.4.3 Thüster Kalkstein

Der Thüster Kalksteinbruch liegt in Niedersachsen bei Thüste/Salzhemmendorf (Abb. 44). In der Kalkfazies der Mittleren Mündener Mergel, $w_{\eta}1,k$ (Unterkreide) wird ein oolithischer Kalkstein mit Serpeln gewonnen.

Die Lagerstätte ist auf einen nur kleinen regionalen Bereich im Raum Thüste und Wallensen begrenzt. Sie wird östlich von Thüste abgebaut, wo die Fazies ihre höchste Mächtigkeit erreicht. Nach Ausbeute des derzeitigen Abbaugebietes wird wohl nicht mit weiteren abbauwürdigen Vorkommen zu rechnen sein.

Kalkstein Serpelkalk/Mündener Mergel				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Thüste n_x= 86 n_y= 56	0,20	0,32	0,20	0,30

Tab. 28: Thüster Kalkstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Die östlich Thüste abgebauten Kalksteine können auf Grund des stark zerklüfteten und lockeren Gebirges durch Reißen mit Hydraulikbaggern gewonnen werden. Die Bruchwände sind ca. 11 m hoch, und es ist nur wenig Abraum abzutragen.

Die Kluftkörper stehen senkrecht, und wie die Graphik in Abb. 145 zeigt, können z. T. großdimensionierte Blöcke gewonnen werden.

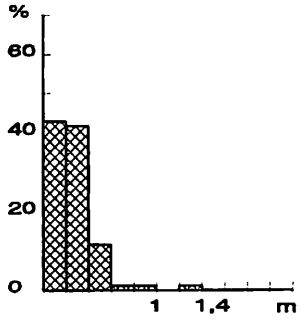


Abb. 144-1: Steinbruch Thüste. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 052°, n = 86).

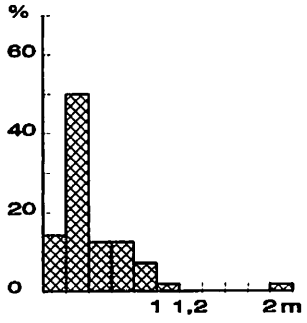


Abb. 144-2: Steinbruch Thüste. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 147°, n = 56).

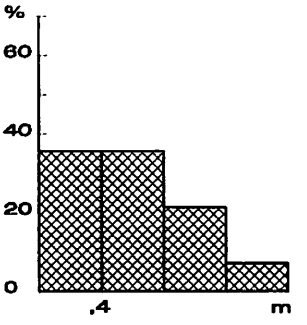


Abb. 144-3: Steinbruch Thüste. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 14).

Durch die Histogramme und besonders durch die Darstellung der Rohblockhöffigkeiten (Abb. 145) wird deutlich, daß in der Lagerstätte Thüste vor allem die horizontalen Trennflächenabstände den Ausschlag für die geringe Rohblockhöffigkeit von nur 3 % geben. Der Durchschnittsblock liegt bei 0,06 m^3.

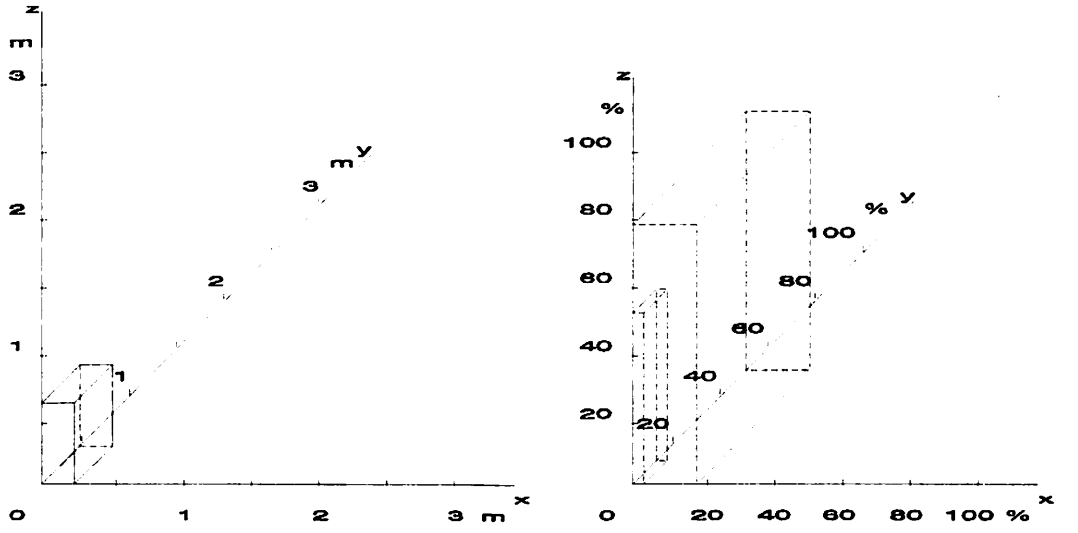


Abb. 145: Steinbruch Thüste. Links: Durchschnittsblock = 0,06 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 3 %).

6.4.4 Anröchter Kalkstein

Im Raum Anröchte/Soest (Abb. 146) wird grüner, sandiger Kalkstein gewonnen. Der Anröchter Kalkstein ist im Handel vor allem als "Anröchter Dolomit" bekannt. Der aus der Oberkreide (Turon) am Südrand der Münsterischen Kreidebucht abgelagerte sandige Kalkstein hat durch seinen Glaukonitgehalt eine grüne bis blaugrüne Farbe. Er steht in der Zone der Scaphitenpläner aber auch im untersten Cenoman an. Unter dem Einfluß von Atmosphärilien wird der Glaukonit und das kalkige Bindemittel stark zersetzt.

Abgebaut werden zwei Bänke aus dem Turon: die bis zu 1,5 m mächtige untere Grüne Naturwerksteinbank und die hangende, bis zu 1 m mächtig werdende Blaue Naturwerksteinbank. Bei der Darstellung der Abstände der horizontalen Trennflächen ergeben sich deshalb nur zwei Werte (Abb. 147-3).
Bei der Gewinnung dieser Werksteinbänke werden zumeist die Calcitadern genutzt, um das Gestein mit wenigen Bohrungen dort zu spalten. Da die Abstände dieser vorgegebenen Trennflächen weitständig sind, ist die Gewinnung von größeren Blöcken gewährleistet (Abb. 148).
Der durchschnittliche Block hat ca. 1,71 m³ und die Rohblockhöffigkeit liegt bei einem gutem Wert von 78 %. Die Vorräte des Anröchter Kalksteins reichen sicherlich noch für mindestens zwei Jahrzehnte aus.

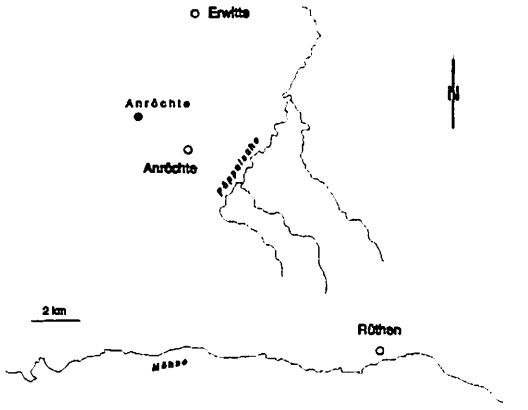


Abb. 146: Lage der gemessenen Lagerstätte bei Anröchte (●).

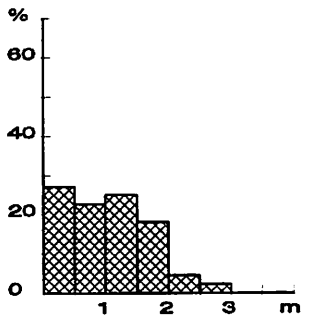


Abb. 147-1: Steinbruch Anröchte. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 057°, n = 44).

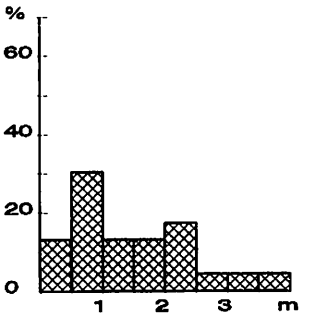


Abb. 147-2: Steinbruch Anröchte. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 145°, n = 23).

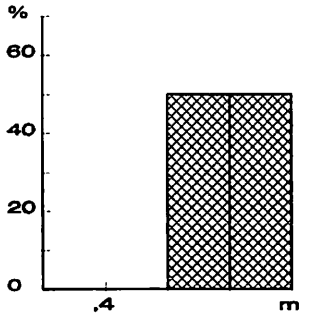


Abb. 147-3: Steinbruch Anröchte. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 2).

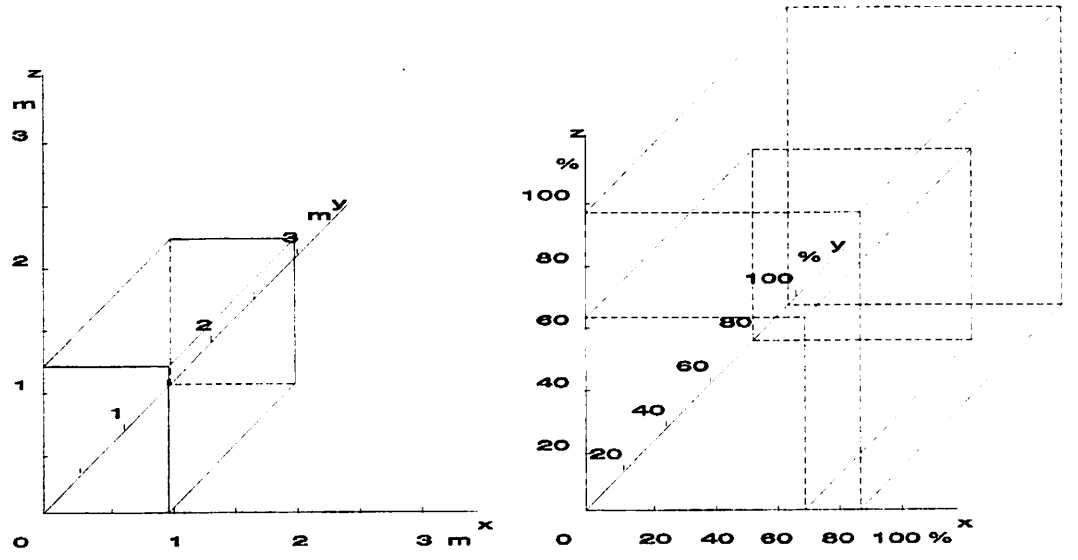


Abb. 148: Steinbruch Anröchte. Links: Durchschnittsblock = 1,71 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 78 %).

Die Abraumüberdeckung liegt zumeist bei 12 m. Eine Werkstein-Gewinnung ist dennoch lohnend, da der Großteil der hangenden geringmächtigen und zerklüfteten Kalksteine in der unmittelbar in der Nähe liegenden Schotterindustrie verwendet werden können.

Sandiger Kalkstein Turon				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Anröchte n_x= 44 n_y= 23	0,79	1,16	0,95	1,30

Tab. 29: Anröchter Kalksandstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Die Gewinnung erfolgt vorwiegend mit Handbohrhämmern und Federkeilen und in einem Steinbruch seit kurzer Zeit auch mit einer Schrämmaschine.

6.5 Dolomitstein

Dolomitsteine werden in der Bundesrepublik im großen Maße nur noch in der Fränkischen Alb gewonnen. Zu nennen sind die Frankendolomit-Lagerstätten aus dem Malm bei Wachenzell, bei Etterzhausen/Regensburg sowie in Kleinziegenfeld (Nähe von Kulmbach).

Dolomitstein Zechstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Nüxei $n_x = 47$ $n_y = 49$	0,41	0,44	0,40	0,40

Tab. 30: Nüxeier Dolomitstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.5.1 Nüxeier Dolomit

Im Steinbruch von Nüxei/Bad Sachsa (Abb. 38) wird in geringem Maße ein Dolomitstein aus dem Zechstein gewonnen. Er hat zur Werksteingewinnung nur noch untergeordnete Bedeutung. Heute werden für Restaurierungsmaßnahmen von Bauwerken, die früher aus dem Nüxeier Dolomitstein gebaut wurden, Dolomitsteine aus der Frankenalb herangezogen.

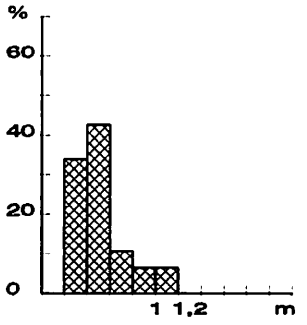


Abb. 149-1: Steinbruch Nüxei. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 112°, n = 47).

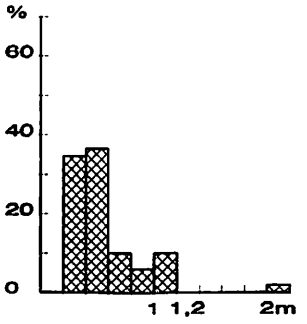


Abb. 149-2: Steinbruch Nüxei. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 020°, n = 49).

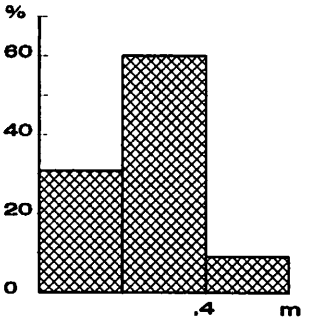


Abb. 149-3: Steinbruch Nüxei. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

Obwohl also selbst in der näheren Umgebung auf Verwendung dieses heimischen Materials verzichtet wird, schien es interessant, dieses Vorkommen auf seine Rohblockhöffigkeit zu untersuchen.

Nur wenige Kluftabstände liegen über 1 m (Abb. 149-1), und in y-Richtung treten einige Prozent über 2 m auf (Abb. 149-2).
Wie aus Abb. 150 ersichtlich, sind nur wenige Blöcke (0,2 %) über 0,4 m^3 zu gewinnen. Der durchschnittliche Block liegt bei nur 0,06 m^3.

In einigen Bereichen des vorwiegend brach liegenden Steinbruchs scheinen auf den ersten Blick durchaus größere Blöcke gewinnbar, jedoch werden diese durch schräg einfallende Klüfte

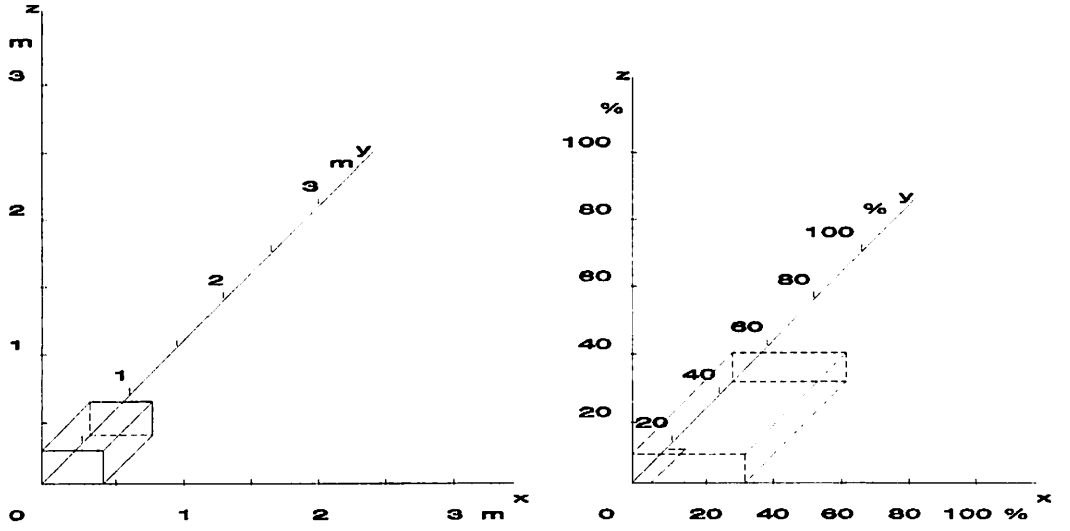


Abb. 150: Steinbruch Nüxei. Links: Durchschnittsblock = 0,06 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei nur 0,2 %).

zerteilt. Für das Gewinnen von Naturwerksteinen allein erscheint der Steinbruch daher als nicht rentabel.

6.5.2 Kleinziegenfelder Dolomit

Frankendolomit (Malm-Zeta) wird als Naturwerkstein bei Kleinziegenfeld und im Raum von Regensburg sowie in Wachenzell abgebaut.

Der Kleinziegenfelder Dolomit ist von graubrauner bis gelblicher Farbe.
Die spätdiagenetische Dolomitisierung der Weißjuragesteine erfolgte von oben.
Der Kleinziegenfelder Dolomit ist ein tafelbankiger Dolomit mit weitständiger Klüftung. Massige Dolomite sind vielfach zur Gewinnung wenig geeignet, da sie oft unregelmäßige Klüftung haben.
Wie das Diagramm (Abb. 153) des Steinbruch Kleinziegenfeld zeigt, sind hier große Blöcke zu gewinnen, die im Mittel ein Volumen von 2,6 m³ aufweisen. Die Rohblockhöffigkeit liegt bei einem guten Wert von 58 %.

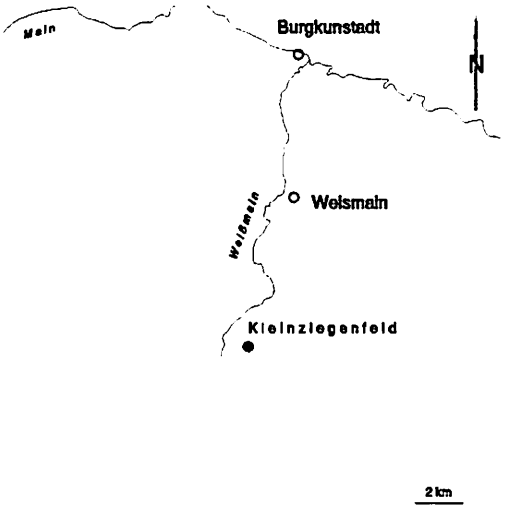


Abb. 151: Lage der Dolomit-Lagerstätte von Kleinziegenfeld (●).

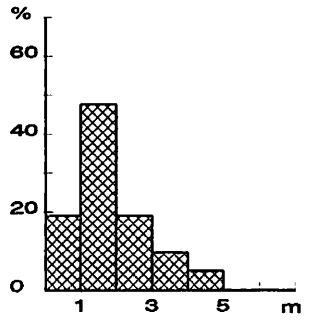


Abb. 152-1: Steinbruch Kleinziegenfeld. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 137°, n = 21).

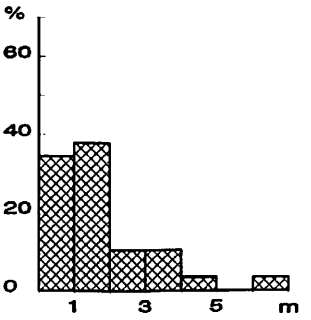


Abb. 152-2: Steinbruch Kleinziegenfeld. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 040°, n = 29).

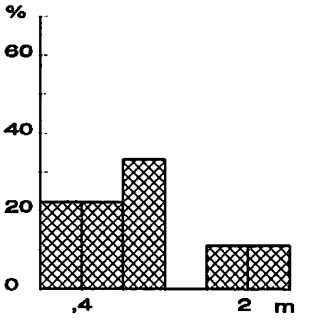


Abb. 152-3: Steinbruch Kleinziegenfeld. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 9).

Die Lagerstätten Wachenzell und Etterzhausen (Raum Regensburg) sind von den Blockgrößen her mit Kleinziegenfeld vergleichbar, wobei aber zu beachten ist, daß die Trennflächen in Wachenzell schräg lagern.
Die Gewinnung erfolgt mit einer Schrämmaschine.

Dolomitstein Malm-Delta				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Kleinziegenfeld n_x= 21 n_y= 29	1,45	1,19	1,51	1,40

Tab. 31: Kleinziegenfelder Dolomitstein, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

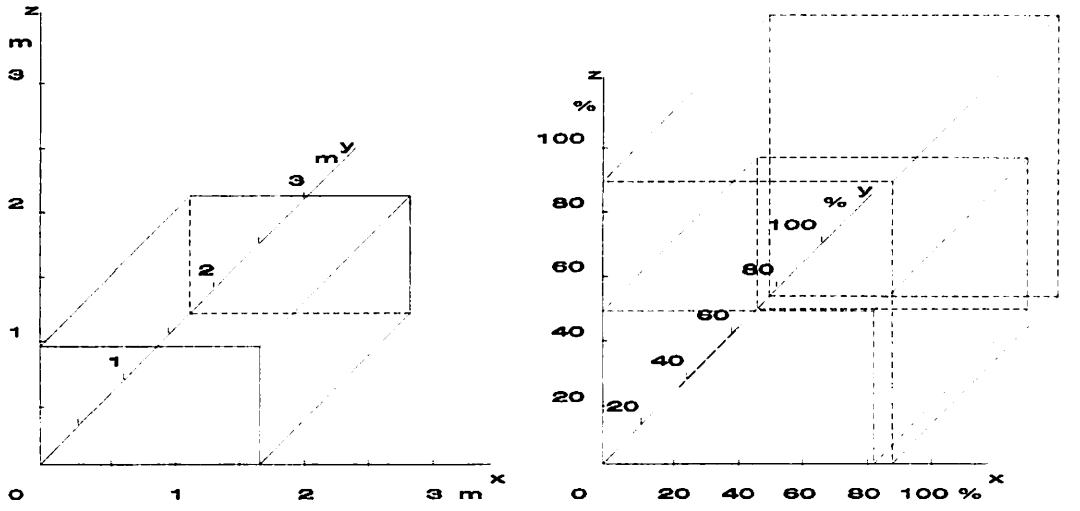


Abb. 153: Steinbruch Kleinziegenfeld. Links: Durchschnittsblock = 2,59 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 58 %).

6.6 Tuffstein

Quartäre Tuffsteine werden vor allem in der Osteifel (Ettringen und Weibern) gewonnen und tertiärer Tuffstein zur Zeit kurzfristig in Kassel.

Tuffstein Tertiär und Quartär				
Steinbruch	Mittelwert		Median	
	x	y	x	y
Weibern n_x= 13 n_y= 23	0,54	0,67	0,70	0,65
Ettringen n_x= 11 n_y= 13	1,77	0,89	1,40	1,40
Kassel n_x= 18 n_y= 30	0,38	0,44	0,40	0,45

Tab. 32: Tuffsteinlagerstätten, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

6.6.1 Tuffstein, Osteifel

Die Tuffsteine in der Osteifel haben ihr Verbreitungsgebiet im Bereich der Orte Wehr, Weibern, Wabern, Rieden, Rodderhöfe und Bell. Das Zentrum liegt ca. 7 - 8 km nördlich Mayen. Die Mächtigkeit der Tuffsteine ist sehr bedeutend und übersteigt gelegentlich 40 m [49]. Petrographisch handelt es sich beim Ettringer und Weiberner Vorkommen um einen Selbergit-Tuffstein.

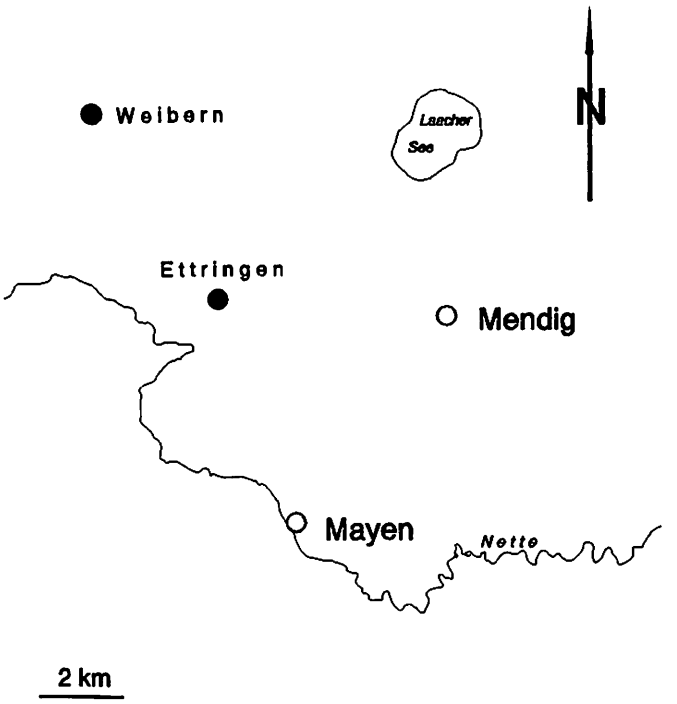


Abb. 154: Lage der gemessenen Tuffsteinbrüche in der Osteifel.

6.6.1.1 Ettringer Tuffstein

Der Ettringer Tuffstein (Abb. 154) hat eine gelbgraue Farbe. Seine Komponenten sind gröber als die des nachfolgend aufgeführten Weiberner Tuffsteins.
Die Darstellung der horizontalen Trennflächenabstandshäufigkeiten ist ungewöhnlich, da unter dem Abraum von ca. 10 m in der ca. 7,5 m hohen Steinbruchwand nur 3 Löser ausgemacht werden konnten.

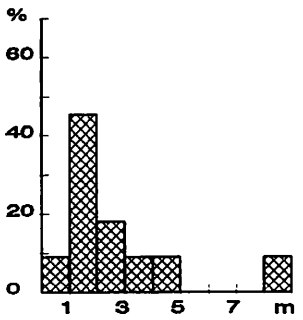


Abb. 155-1: Steinbruch Ettringen. Tuffstein. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 112°, n = 11).

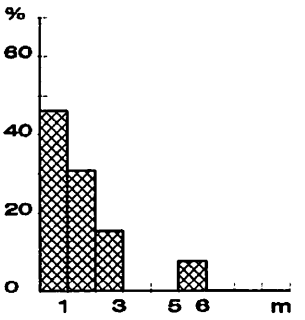


Abb. 155-2: Tuffsteinbruch Ettringen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 020°, n = 13).

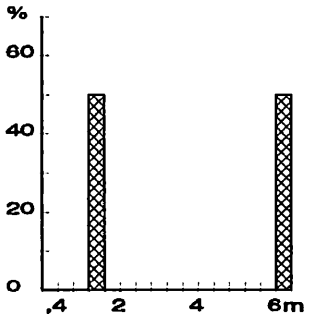


Abb. 155-3: Tuffsteinbruch Ettringen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 2).

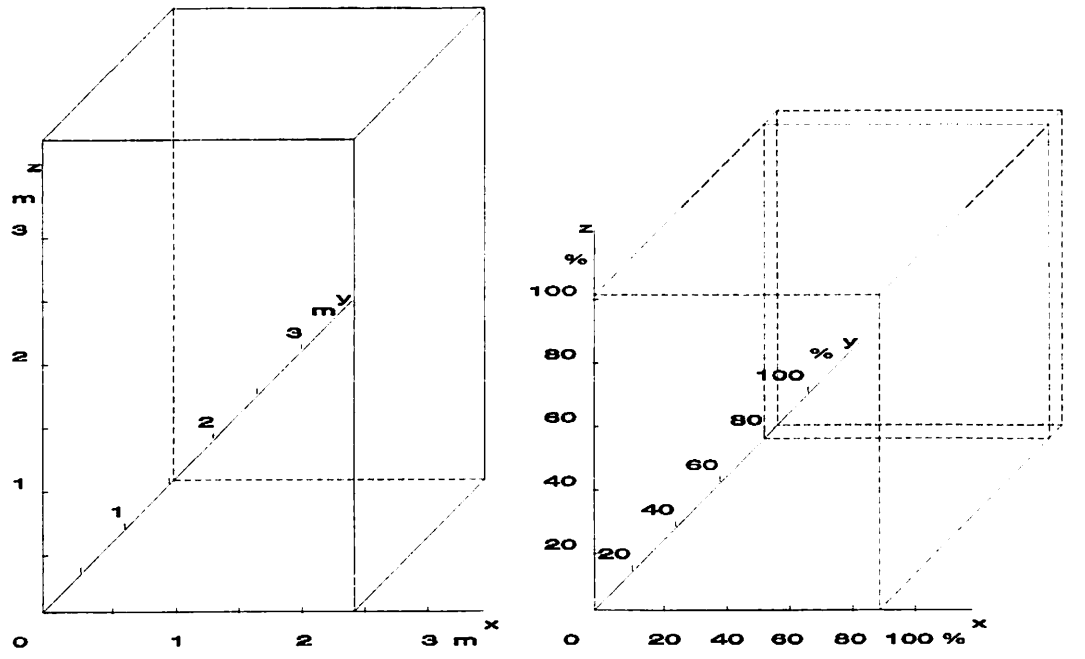


Abb. 156: Tuffsteinbruch Ettringen/Osteifel. Links: Durchschnittsblock = 13,61 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (Rohblockhöffigkeit = 90 %).

In den anderen Richtungen ergeben sich Trennflächenabstände von 9 m bzw. 6 m. Der Durchschnittsblock hat ein sehr großes Volumen von 13,61 m³. Daraus ergibt sich auch eine hohe Rohblockhöffigkeit von 90 %.
Die Gewinnung erfolgt mit Schrämmaschinen (Abb. 173), die mit speziellen Schneidelementen für den weichen Tuffstein ausgerüstet sind.

6.6.1.2 Weiberner Tuffstein

Der Weiberner Tuffstein (Abb. 154) ist feinkörniger als der Ettringer Tuffstein und hat eine graue Farbe. Die Tuffsteinlagerstätte weist nicht so großdimensionierte Blöcke wie in Ettringen auf.

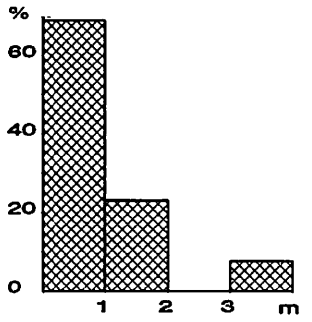


Abb. 157-1: Steinbruch Weibern, Tuffstein. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 100°, n = 13).

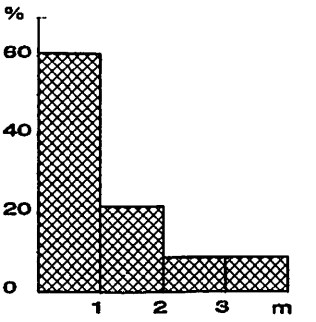


Abb. 157-2: Steinbruch Weibern, Tuffstein. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 006°, n = 23).

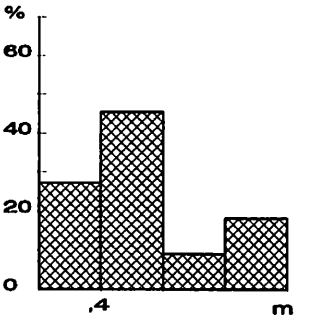


Abb. 157-3: Steinbruch Weibern. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 11).

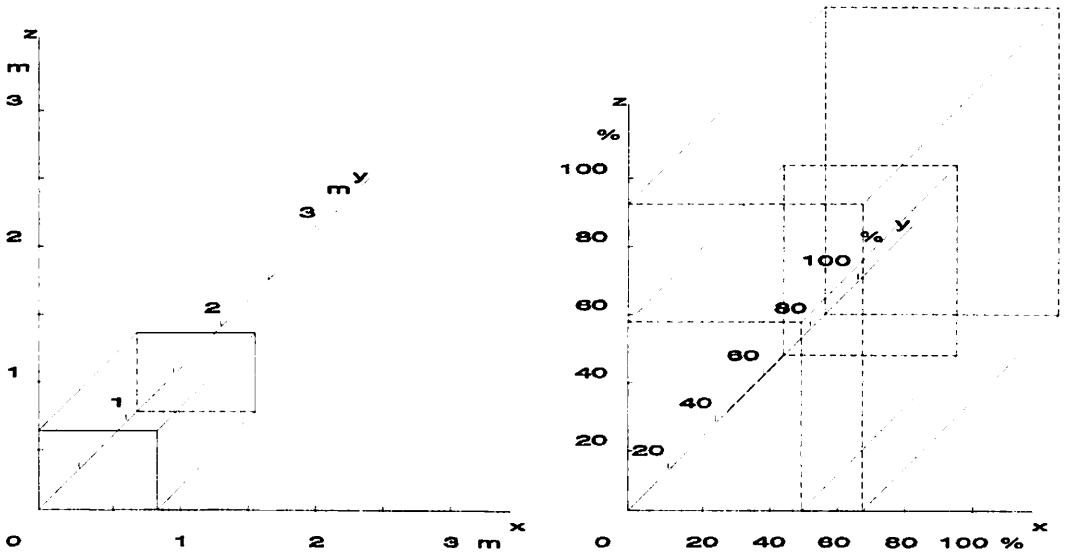


Abb. 158: Steinbruch Weibern. Links: Durchschnittsblock = 0,53 m³. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 50 %).

Der Durchschnittsblock ist bei dieser Lagerstätte etwas geringer und liegt bei nur 0,53 m³, die Rohblockhöffigkeit beträgt 50 %.

6.6.2 Tuffstein, Kassel

Die Tuffsteinlagerstätte westlich von Kassel im Druseltal/Habichtswald (Abb. 38) zeigt deutliche Abweichungen zu den Lagerstätten aus der Osteifel. Der Durchschnittsblock liegt bei 0,16 m^3 und die Rohblockhöffigkeit bei 28 %. Ausführlicher wird auf die Trennflächenabstände und Diagramme der Tuffsteinlagerstätte Kassel in Kapitel 9.4.2 eingegangen.

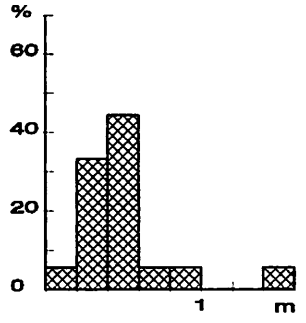


Abb. 159-1: Tuffstein, Kassel. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = 095°, n = 18).

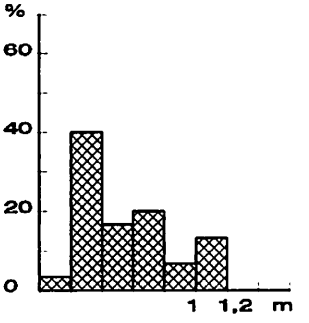


Abb. 159-2: Tuffstein, Kassel. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 000°, n = 30).

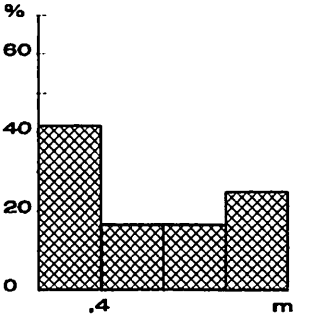


Abb. 159-3: Tuffstein, Kassel. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den horizontalen Trennflächen (Profilrichtung z, n = 12).

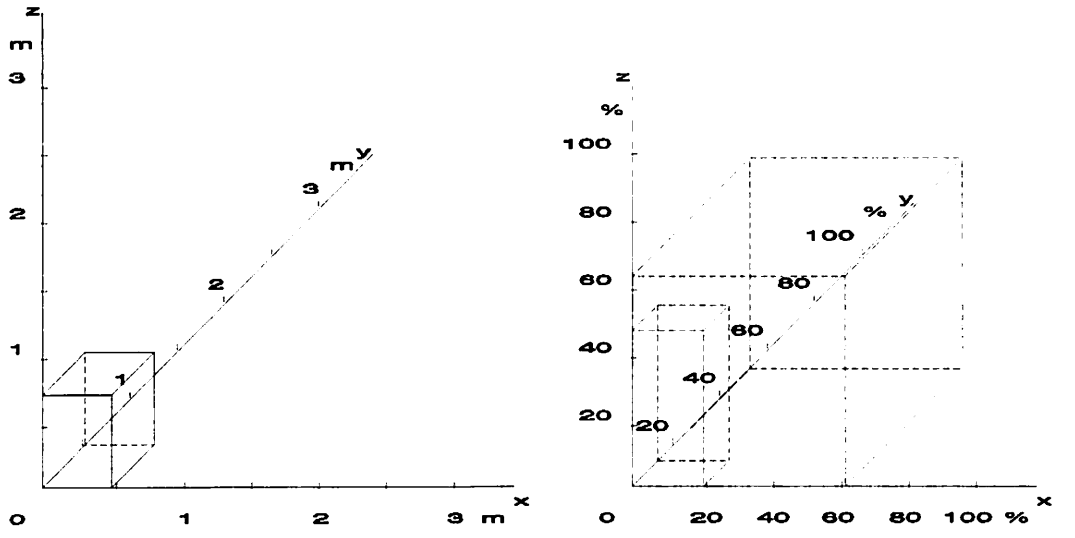


Abb. 160: Tuffsteinbruch Kassel/Druseltal. Links: Durchschnittsblock = 0,16 m^3. Rechts: Anteile ≥ 0,4 m sowie ≥ 1,0 m für die einzelnen Profilrichtungen (die Rohblockhöffigkeit liegt bei 28 %).

Beim Vergleich der Tuffstein-Lagerstätte zeigt die Erfassung der Trennflächen, daß die Rohblockdimension in Ettringen höher ist als die in Weibern. Ein Vergleich mit dem Tuffstein in Kassel läßt hier erhebliche Unterschiede in der Blockgröße deutlich werden. Dieser Vergleich weist bereits darauf hin, daß hier nicht die gleichen Gewinnungsverfahren anwendbar sind (siehe Kapitel 9.4.2).

6.7 Auswertung der Meßergebnisse

Für eine Vielzahl von Steinbrüchen wurden geologische Beschreibungen gegeben und die Trennflächen eingemessen für:

Plutonite: Granit bzw. Granodiorit (Oberfrauenwald, Tittling) und Diorit (Herchenrode);
Sandsteine: Cornberger-, Eifel-, Weser-, Roter Main-, Udelfanger- bzw. Kerscher-, Werk-, Schilf-, Coburger-, Rhätolias-, Obernkirchener Sandstein;
Kalksteine: Muschel-/Quader-, Jura-, Thüster-, Anröchter Kalkstein;
Dolomitst.: Kleinziegenfelder-, Nüxeier Dolomitstein;
Tuffsteine: Ettringer-, Weiberner-, Kasseler Tuffstein.

Damit wurden alle für die Bundesrepublik als Naturwerkstein relevanten Gesteinsarten und ihre wesentlichsten Gebiete erfaßt.
Basaltlagerstätten wurden auf Grund ihrer unregelmäßigen säuligen Absonderung ausgelassen.

Auszuwerten sind nun die
- Trennflächen-Meßwerte (ihre Histogramme und die entlog. Werte),
- die einzelnen Zahlen für die Durchschnittsblöcke und
- die errechneten Werte für die Rohblockhöffigkeit.

6.7.1 Trennflächen und Histogramme

Versucht man, die Vielzahl der Histogramme insgesamt zu sichten, so fällt im allgemeinen auf:
- in x-Richtung (abgesehen von einigen Ausnahmen) vielfach Normal- bzw. typische lognormale Verteilung vorliegt;
- in y-Richtung ein Wechsel von idealer Normal- über rechtsschiefer Verteilung bis zu extremer Heterogenität;
- daß die z-Richtung (horizontale Schicht- und Bankabstände) mehr oder minder heterogen ist.

Stark heterogen sind insbesondere Tittling und Oberfrauenwald (Granit), Neubrunn (Coburger Sandstein) und Ettringen (Tuffstein).

Umgekehrt fällt auf, daß vorwiegend bei den Wesersandsteinbrüchen x und y gute Normalverteilungen haben. In einigen Fällen gilt das offensichtlich sogar in allen 3 Richtungen; so bei den Lagerstätten Eckberg, Eschershausen und Bad Karlshafen 4.
Ähnliches trifft auch für Eifelsandstein/Neuheilenbach und einige Jura-Kalksteine, insbesondere Treuchtlingen 1 zu.

Im späten Verlauf sollen die speziellen Befunde zu gesonderten Modellrechnungen genutzt werden; vorerst werden die ausgewählten Steinbrüche regional ausgewertet.

6.7.2 Messungen in benachbarten Aufschlüssen bzw. Regionen

Bereits bei der zahlenmäßigen Wiedergabe der durch Logarithmen-Transformation gewonnenen Werte für die vertikalen Trennflächen (x_G, y_G, $\tilde{x}$ bzw. $\tilde{y}$) wurden diese für gewisse Regionen (Tab. 14/Tab. 15, Tab. 24 - Tab. 27) sowie auch die Histogramme (Abb. 113/Abb. 114, Abb. 63/Abb. 64, Abb. 142/Abb. 143) ausgewählter Regionen zusammengefaßt.

6.7.2.1 **Quaderkalk** (vgl. Kapitel 6.4.1)

Für die südlich Würzburg abgebauten Quaderkalk-Steinbrüche ergaben einzelne Histogramme (insbesondere Kirchheim 2, Eibistadt) keine "geschlossene" Verteilung über die x- und y-Achsen.
In der Zusammenfassung aller 5 relativ nahe zueinander liegenden Steinbrüche stellen sich in Abb. 113 und Abb. 114 beinahe ideal log-normale Histogramme dar, bestätigt durch Tab. 25 mit nahezu identischen geometrischen Mitteln und Medianwerten.
Man könnte nun versucht sein, die daraus ableitbaren Ergebnisse auf die relativ kleine Region dieser Quaderkalke anzuwenden. Das träfe auch für Eibistadt im Osten (0,64 m^3, $\eta = 60$ %) zu, das mit diesen Werten genau dem Durchschnitt der beiden 15 km westlich gelegenen Abbaue in Kirchheim entspricht. Aber die beiden von der Lagerstätte Eibistadt durch den Main getrennten Steinbrüche von Winterhausen fallen sowohl in den Durchschnittsblöcken (0,09 bzw. 0,14 m^3) als auch in den Rohblockhöffigkeiten (22 u. 25 %) ab.
Jeglicher Verwendung von Werten aus der Nachbarschaft müßte daher eine detaillierte geologische Überprüfung vorangehen.

6.7.2.2 **Wesersandstein-Region** (vgl. Kapitel 6.3.3)

Für die Abbaue des mittleren Buntsandsteins im Naturpark Solling/Niedersachsen ergeben die zusammengefaßten Histogramme (Abb. 63/Abb. 64, Tab. 15) mit $n_x = 662$ und $n_y = 307$ ideale rechtsschiefe Verteilung.

Es hat sich jedoch als notwendig erwiesen, dieses über 50 km reichende Gebiet in zwei Bereiche zu unterteilen in:
die nördliche Region etwa zwischen Holzminden und Bodenwerder und
die südliche Region von Bad Karlshafen.

Dann erhält man folgende Darstellungen:

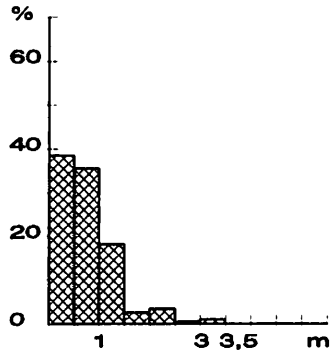


Abb. 161: Nord-Solling: alle Nord-Solling-Steinbrüche zusammengefaßt. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = ~090°, n = 197).

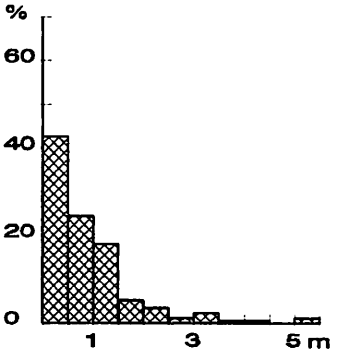


Abb. 162: Nord-Solling: alle Steinbrüche zusammen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = ~000°, n = 171).

Nord Solling - Gesamt Sandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Nord Solling $n_x = 197$ $n_y = 171$	0,54	0,58	0,60	0,60

Tab. 33: Lagerstätten im Nord-Solling zusammengefaßt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

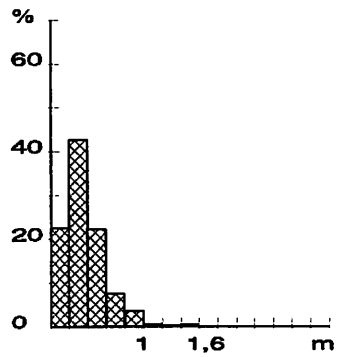


Abb. 163: Bad Karlshafen: alle Steinbrüche in der Umgebung von Bad Karlshafen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung x = ~090°, n = 465).

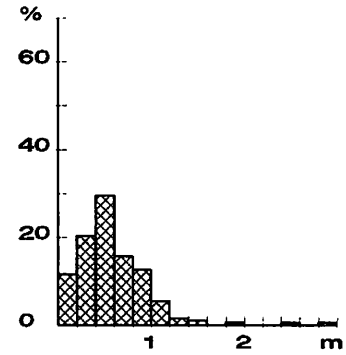


Abb. 164: Bad Karlshafen: alle Steinbrüche in der Umgebung von Bad Karlshafen. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = ~000°, n = 196).

Bad Karlshafen - Gesamt Sandstein				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Bad Karlshafen $n_x = 465$ $n_y = 196$	0,28	0,44	0,30	0,47

Tab. 34: Lagerstätten in der Umgebung von Bad Karlshafen zusammengefaßt, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Im Gebiet von Bad Karlshafen sind die Trennflächenabstände rechtsschief verteilt. Die Kluftabstände für x und y betragen selten > 1 m, die z-Werte liegen alle um 0,4 m. Demzufolge wurden für alle Steinbrüche Blöcke ähnlichen Durchschnittsvolumens (0,04 - 0,1 m^3) und ähnlicher Rohblockhöffigkeiten (ca. 11 - 13 %) erhalten.

Die im Nord-Solling gelegenen Lagerstätten haben Kluftflächenabstände, die bis zu 3,5 m (Abb. 161) bzw. 5,5 m (Abb. 162) erreichen, mit dementsprechenden großen Blöcken. Die Werte schwanken allerdings sowie auch die Rohblockhöffigkeiten und Größen des Durchschnittsblocks

für Amelungsborn (η = 1,5 %; 0,05 m^3) und
für Arholzen (η = 40 %; 0,94 m^3).

Hier ergibt sich für diese nur 4 km voneinander entfernten Steinbrüche im Nord-Solling, daß bei vergleichenden regionalen Betrachtungen benachbarter Lagerstätten in einer geologischen Formation sehr genau auf die spezifische örtliche Geologie zu achten ist - gerade wenn man bei Neuaufschlüssen von Lagerstätten Messungen aus der näheren Umgebung heranziehen möchte.

Die nördlichen Wesersandsteinbrüche bei Bodenwerder und Eschershausen, die Lagerstätten Eckberg, Eschershausen und Amelungsborn, haben geringere Durchschnittsblöcke und Rohblockhöffigkeiten, als die in der Nähe liegende Lagerstätte Arholzen. Die Unterschiede bei den Schichtflächenabständen sind hierbei unwesentlich (bis auf die in der Lagerstätte Amelungsborn, wo die Gewinnung in den über dem Bausandstein anstehenden Tonigen Grenzschichten, die zumeist plattig ausgebildet sind, erfolgt).

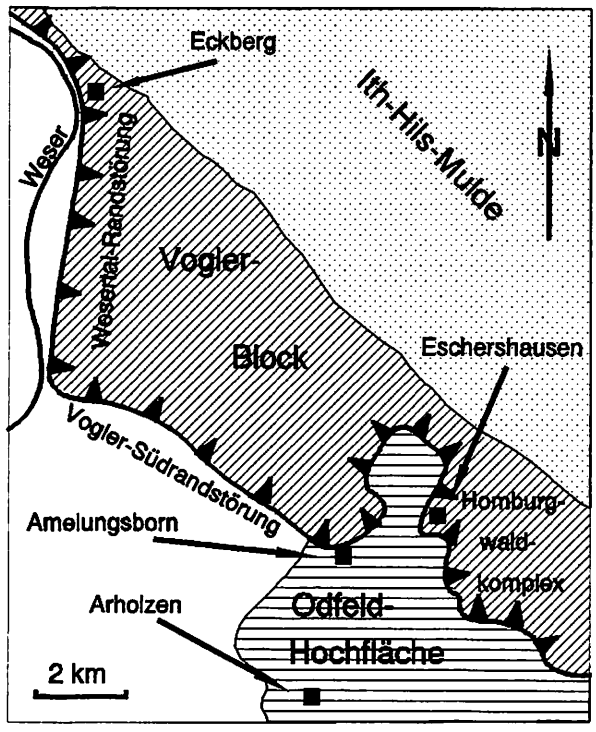


Abb. 165: Lagerstätten Eckberg, Eschershausen Amelungsborn (unmittelbare Nähe der Randstörungen des Vogler-Blocks bzw. Homburgwald-Komplexes), Lagerstätte Arholzen (Odfeld-Hochfläche) nach [175].

Bei Betrachtung der tektonischen Einheiten wird erkennbar, daß die Lagerstätten in unmittelbarer Nähe der Randstörungen zum Vogler Block und zum Homburgwald-Komplex (Eckberg, Eschershausen, Amelungsborn) deutlich geringere Kluftflächenabstände haben als die auf der wenig gestörten Odfeld-Hochfläche liegende Lagerstätte Arholzen (Abb. 165).

Gegenüber den stark zertalten Buntsandsteinblöcken von Vogler und Homburgwald ist das Gebiet der Odfeld-Hochfläche plateau-ähnlich ausgebildet. Das hier in Oberflächennähe ausstreichende Mesozoikum besteht fast ausschließlich aus Bausandstein und Tonigen Grenzschichten. Stärkere Unebenheiten sind lediglich auf zahlreiche Erdfälle und wohl auch auf flächenhafte Ablaugung des oberflächennahen Zechstein zurückzuführen [175].

Bei der Suche nach weiteren geeigneten Naturwerksteinlagerstätten sollte vorwiegend in der Gegend des Nord-Solling, bevorzugt auf der Odfeld-Hochfläche, gemutet werden. Aber auch hier wird, wie oben dargelegt, dringend geraten, vornehmlich die örtliche Tektonik zu beachten.

6.7.2.3 Jura-Kalksteine (vgl. Kapitel 6.4.2)

Die beiden Gruppen der eingemessenen Naturwerksteine der Frankenalb wurden schon gemeinsam in Abb. 142/Abb. 143 und Tab. 27 zusammengefaßt. Die Vielzahl der Werte (n_x = 303, n_y = 397) führt dabei zu sehr guter lognormaler Verteilung. Dies überdeckt wiederum all die Zufälligkeiten der Einzelmessungen, läßt aber auch für die in beiden Fällen sowohl für x als auch für y unter dem Durchschnitt liegenden Trennflächenabstände bei Grafenmühle und Sankt Egid nicht erkennen. Diese haben ⅓ bis ¼ an Durchschnittsblock-Volumen, und die Rohblockhöffigkeit liegt bis zu 18 % unter den sonst im Jura sehr hohen Werten.
Auch bei diesen beiden Ausnahmen ist die Regionalgeologie von Interesse:
Bei der Betrachtung der Streichlinienkarte von Blatt Treuchtlingen (vgl. [152]:81) fällt auf, daß südlich des großen, das ganze Gebiet querenden Schwäbisch-Fränkischen Lineamentes die tektonische Beanspruchung viel stärker ist als nördlich davon, wo die Streichlinien weiter auseinanderrücken. Die Lagerstätte an der Grafenmühle bei Pappenheim, mit der geringsten Rohblockhöffigkeit der südlichen Steinbrüche, liegt am Nordhang des Alte-Bürg-Sattel, wo dieser ca. 250 m entfernt von einer NNW-SSE streichenden Verwerfung in die nördlich gelegene Dietfurter Mulde übergeht.
Da Verwerfungen in unmittelbarer Nähe allgemein zu einer verstärkten Kluftbildung führen können, wäre durch eine detaillierte geologische Untersuchung zu prüfen, ob dies auch der Fall ist. Allerdings liegt auch die Lagerstätte Gundelsheim in unmittelbarer Nähe einer E-W gerichteten Verwerfung, obwohl sie hohes Blockvolumen und Rohblockhöffigkeit aufweist.

Innerhalb der nordöstlichen Steinbruchgruppe bei Eichstätt fällt nur Sankt Egid in bezug auf seinen Durchschnittsblock und der Rohblockhöffigkeit ab. Dies wird verständlich bei Betrachtung der Kluftverteilung und dem Vergleich der Isoliniendiagramme mit den Steinbrüchen Erkertshofen 1 und 2. Die Darstellung der Isoliniendiagramme in Abb. 7 und Abb. 8 zeigen für die Kluftverteilungsmuster zwischen Sankt Egid und Erkertshofen erhebliche Unterschiede. Das Kluftverteilungsmuster vom Steinbruch Erkertshofen hat eine stärkere Einregelung und die Maxima in NNE bzw. senkrecht dazu in SEE Richtung. Die Einregelung im Steinbruch Sankt Egid ist deutlich unschärfer als die im Steinbruch Erkertshofen. Hier ist ebenfalls das Maximum in Richtung NNE am stärksten, jedoch ist senkrecht dazu kein deutliches Maximum ausgeprägt.
Hier wäre also eine detaillierte geologische Kartierung zur tektonischen Aufnahme der Klüftigkeit im Vorfeld dienlich gewesen, insbesondere zur Prüfung, inwiefern die unmittelbare Nähe zum Albtrauf zu Auflockerungen führt.

Mit Ausnahmen solcher gelegentlichen Randlageneinflüsse ist ansonsten beim gesamten Jura-Kalkstein beeindruckend, wie die Schichtmächtigkeiten, die über 100 km nahezu konstant bleiben, fast eine "Normalverteilung" zeigen. Man hat es also mit einer so gleichförmigen Lagerung zu tun, daß es interessiert ein besonderes Experiment durchzuführen.

6.7.2.4 Trennflächen in anderen natürlichen Aufschlüssen

Wie soeben dargelegt, kann man (mit einiger Vorsicht) in vielen Fällen bei Neuerschließung eines Steinbruchs unter Beachtung der Regionalgeologie, Tektonik usw. auch Meßwerte einer benachbarten Lagerstätte zu Hilfe nehmen.
Alle Trennflächenmessungen erfolgten dabei in künstlichen Aufschlüssen von in Betrieb befindlichen bzw. stillgelegten Steinbrüchen. Um zu prüfen, inwieweit auch Trennflächenabstände in natürlichen und nicht dem gleichen stratigraphischen Niveau angehörenden Aufschlüssen Hinweis geben, wurden einige Messungen an Gesteinen aus dem Hangenden oder Liegenden durchgeführt.

In Altdorf, in der Nähe von Tittling in der Fränkischen Alb, wurden an einem Aufschluß von Bankkalken im Liegenden des Malm ß (Oxford-Schichten) Kluftmessungen durchgeführt, die mit denen in der Region verglichen werden sollen.

Der Aufschluß liegt 4,5 km Luftlinie von den nächsten Gewinnungsstätten bei Erkertshofen entfernt. Obwohl nur Klüfte entlang einer 016° streichenden Profilrichtung zu erfassen waren, ergaben sich Kluftabstände, deren geometrischer Mittelwert von 1,08 m mit dem aller Jura-Lagerstätten von 0,99 (bzw. dem geometrischen Mittel der am nächsten gelegenen Lagerstätte Erkertshofen y = 1,15 m) und auch dem Medianwert von 1,08 m (bzw. 1,25 m) vergleichbar ist. Auch das Histogramm zeigt gute Übereinstimmung mit dem Durchschnitt aller Jura-Lagerstätten entlang der Profilrichtung y (Abb. 143). Für den Aufschluß in Altdorf würde dies bedeuten, daß in der gemessenen Richtung (y) 70 % der Trennflächen dem Mindestmaß von ≥ 1,0 m entsprechen, ein Wert, der auch wiederum mit den Lagerstätten im Raum Erkertshofen vergleichbar ist.

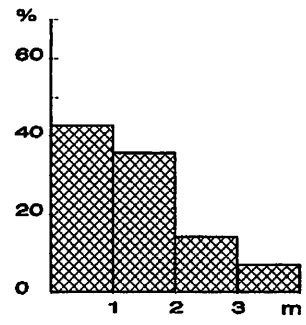


Abb. 166: Trennflächenmessung an einer Aufschlußwand in Altdorf/Altmühltal. Häufigkeiten (in %) der Abstände ≥ 0,1 (in m) zwischen den steil stehenden Trennflächen (Profilrichtung y = 016°, n = 14).

Altdorf Aufschluß				
Steinbruch	Geom. Mittel		Median	
	x_G	y_G	$\tilde{x}$	$\tilde{y}$
Altdorf n_y= 14	-,-	1,08	-,-	1,25

Tab. 35: Altdorf-Kluftmessungen, Trennflächengefüge (nur Kluftflächen mit einem Streichen von ca. 116°, Angabe in m, n = Anzahl der Meßwerte).

Damit wurde an mehreren Beispielen die in einem frühen Kapitel aufgeworfene Frage beantwortet, inwieweit bei der Exploration Ergebnisse von Messungen, die in anderen stratigraphischen Niveaus bzw. in nahe liegenden Steinbrüchen regionaler Lagerstätten gemacht wurden, brauchbare Anhaltspunkte geben können für das in einer neu zu erschließenden Lagerstätte zu erwartende Trennflächengefüge.

6.7.3 Durchschnittsblock-Volumen

Sämtliche ermittelten Durchschnittsblock-Größen sind in Abb. 167 zusammengestellt. Die Werte schwanken zwischen 0,02 und 25 m³. Die größten Blöcke ergeben sich für
Neubrunn (25 m³), Ettringen (14 m³), Tittling (6 m³) und Oberfrauenwald (5 m³); danach folgen vornehmlich Jura-Kalksteine.

Die kleinsten Blockvolumen sind anzutreffen im
Cornberger Sandstein, Freudental (Schilfsandstein), Thüster Kalkstein, Nüxeier Dolomitstein sowie bei mehreren Wesersandsteinen.

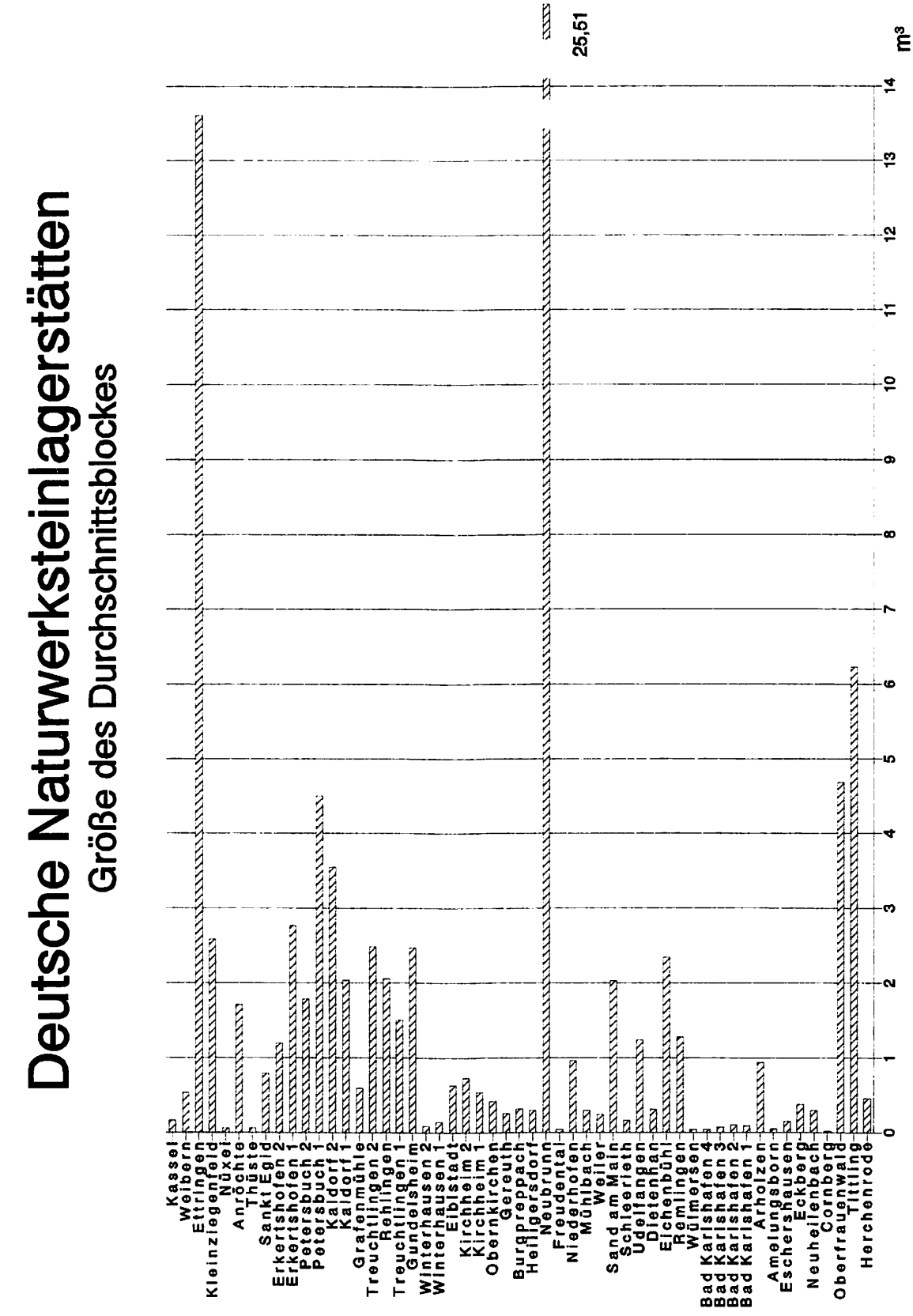


Abb. 167: Durchschnittsblock von 53 ausgesuchten Naturwerksteinbrüchen.

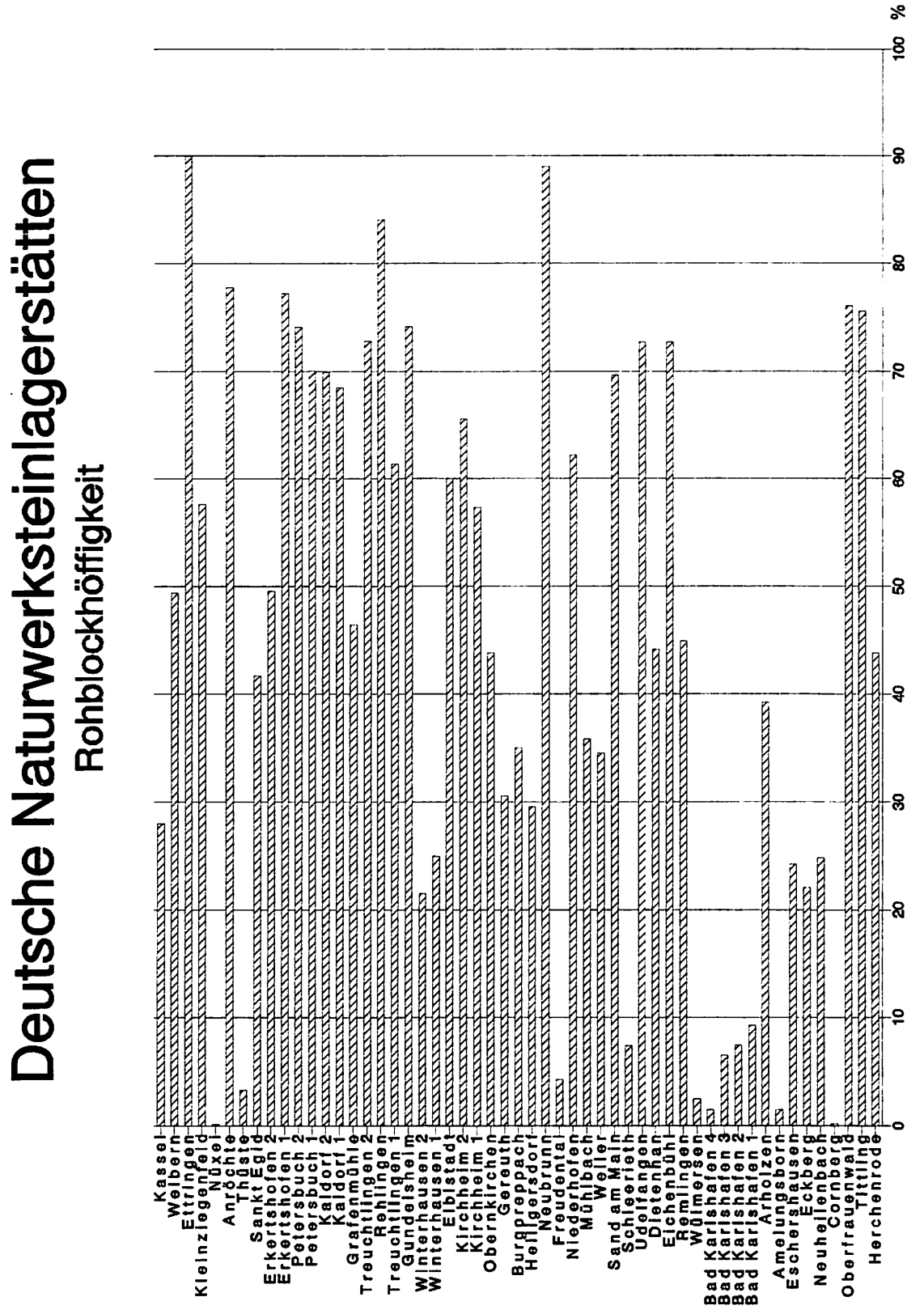


Abb. 168: Gegenüberstellung der Rohblockausbeute (Rohblöcke ≥ 0,4 m^3) von 53 gemessenen Naturwerksteinlagerstätten (berechnet nach Kapitel 5.6.1.4).

6.7.4 Rohblockhöffigkeit

Generell kann festgestellt werden, daß bei keinem der untersuchten Steinbrüchen eine Rohblockhöffigkeit von 100 % anzutreffen war. Bestenfalls ergeben sich Werte bis zu 90 %. Die für die einzelnen Lagerstätten jeweils ermittelten Rohblockhöffigkeiten gibt Abb. 168 wieder. Die geringsten Werte für η erwiesen sich beim

Cornberger Sandstein, Nüxeier Dolomitstein, Thüster Kalkstein, in Freudental (Schilfsandstein) und wiederum in den Wesersandsteinen.

Dies ist eine deutliche Parallele zu den Blockvolumina.

Gleichfalls ergaben sich die guten Rohblockhöffigkeiten auch für die Lagerstätten mit großen Durchschnittsblöcken, nämlich für Ettringen (η = 90), Neubrunn (η = 89), mehrere Jura-Kalksteine (besonders Rehlingen) und Anröchte.

6.8 Abhängigkeiten der Rohblockhöffigkeit

Nachdem sich somit ein Zusammenhang zwischen Durchschnittsblock-Größen und Rohblockhöffigkeiten (nach der Faustformel) andeutete, wurden die Werte je Lagerstätte jeweils gegeneinander aufgetragen; sie ordnen sich zu einem Kurvenzug (Abb. 169).

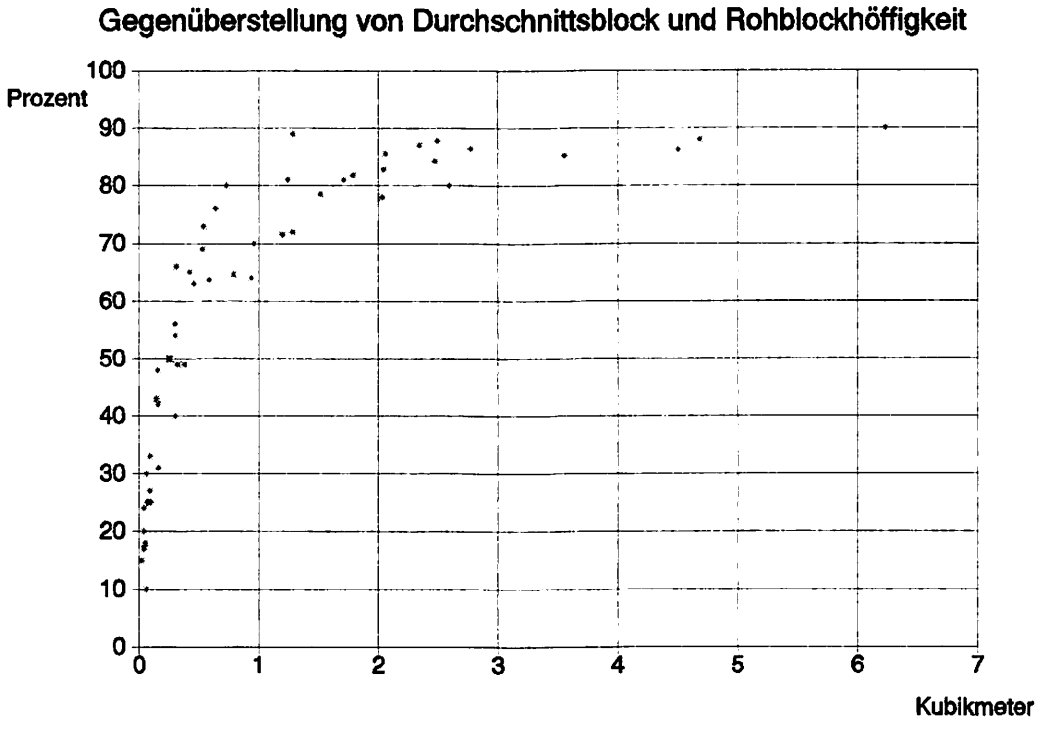


Abb. 169: Gegenüberstellung des Durchschnittsblocks (m^3) und der Rohblockhöffigkeit (%) in halblog. Darstellung. 2 Lagerstätten 13 u. 25 m^3 (90 %) sind nicht dargestellt.

6.8.1 Zusammenhang zwischen Blockgröße und Höffigkeit

Eindeutig erweist sich in Abb. 169 die in Kapitel 5.6.1.2 definierte Rohblockhöffigkeit von der Größe des Durchschnittsblocks abhängig.
Alle Lagerstätten mit großen Rohblockhöffigkeiten haben mehr als das 3 - 5 fache des Mindestblockvolumens (wobei für die Jura-Lagerstätten anzumerken ist, daß bei der Festlegung der Mindestblock-Maße ihre Bankmächtigkeiten von über 0,4 m berücksichtigt worden sind).
Lagerstätten unterhalb des Mindestblock-Volumens (< 0,4 m^3) zeigen zunehmend fallende Rohblockhöffigkeiten.
Zunächst wurden als Werte für die Höffigkeit diejenigen eingesetzt, die mit Hilfe der Faustformel ermittelt wurden. Bei Anwendung dieser Formel müssen (gemäß Kapitel 5.6.1.2) für die Erfüllung der Mindestblockbedingungen stets genügend Anteile > 1,0 m vorhanden sein. Bei Lagerstätten, in denen diese abnehmen und das Verhältnis von 2 · 1,0 m zu 1 · 0,4 m unterschritten wird, sind entsprechende Korrekturen bei der Berechnung vorzunehmen. Das gilt für viele der Lagerstätten mit kleinen Blockdimensionen.
Durch diese notwendigen Korrekturen werden die Werte der Rohblockhöffigkeit vor allem für die Lagerstätten im unteren Kurvenbereich noch geringer als in Abb. 169 - was später bei Abb. 170 (gestrichelt) berücksichtigt ist. Ehe darauf einzugehen ist, erschien es notwendig, die η-Werte auf ihre Abhängigkeit von den Blockvolumen kritisch zu überprüfen und damit die Gültigkeit des Kurvenverlaufs grundsätzlich abzusichern.

Kritische Überprüfung der η-Werte

Bereits im Zusammenhang mit den Histogrammen wurde erläutert, daß die arithmetischen Mittel der gemessenen Trennflächenabstände ($\bar{x}$, $\bar{y}$) unter Umständen im Falle lognormaler Verteilungen etwas größere Werte liefern könnten als die geometrischen Mittel- (x_G, y_G) oder die Median - Werte ($\tilde{x}$, $\tilde{y}$).
Weil das Durchschnittsblock-Volumen aus den $\bar{x}$, $\bar{y}$-Zahlen berechnet war, wurde geprüft, ob bei bestimmten Lagerstätten, insbesondere bei solchen mit rechtsschiefen Verteilungen in den Histogrammen, die arithmetischen Mitteln eventuell überhöhte Werte annehmen können.
Deshalb wurde eine Anzahl von Modellrechnungen durchgeführt:
Zunächst wurden die Lagerstätten mit den höchsten Rohblockhöffigkeiten in bezug auf x und y variiert (d. h. $\bar{x}$, $\bar{y}$ durch x_G, y_G oder $\tilde{x}$, $\tilde{y}$ ersetzt).

Gerade die Lagerstätten Neubrunn, Ettringen, Tittling und Oberfrauenwald kommen aber mit derart großen Durchschnittsblock-Volumen aus, daß sie selbst bei stark verminderten x- und/oder y-Beträgen noch immer das Vielfache des Mindestblock-Volumens (nämlich das 10- bis 40-fache) hätten.
Ihre Werte bleiben immer noch im asymptotischen Verlauf der Kurve, so daß die Veränderung eines Durchschnitt-Abszissenwertes die auf der Ordinate abzulesende Rohblockhöffigkeit praktisch nicht oder nur unwesentlich verändern würde.

Bei den hohen η-Werten (insbesondere über 75 %) liegt z. B. auch der Punkt für die gemittelten Jura-Lagerstätten recht gut im Kurvenverlauf. Weil auch diese Lagerstätten (insgesamt überlagert) rechtsschiefe Verteilung aufweisen (Abb. 142/Abb. 143), wurden hierfür ebenfalls die arithmetischen Mittel ($\bar{x}$, $\bar{y}$) durch Werte aus Tab. 27 variiert. Selbst wenn dadurch die Blockvolumina bis zu ⅓ heruntergerechnet werden, findet auf der Kurve nur eine Veränderung um ca. 5 % statt.
Man bleibt also durchaus in einem tragbaren Vertrauensbereich.

Die Werte $\eta \leq 30$ % fallen in den Auslaufbereich der Kurve. Dort liegen ausschließlich Steinbrüche, deren Durchschnittsblock-Volumina nur noch weniger als die Hälfte des Mindestblockvolumens ausmachen. Dadurch ist der Mindestblockanteil schon sehr gering. Er sinkt zusätzlich durch Ausbeuteverluste beim Abbauvorgang (die gemäß Abb. 11 gerade bei

Blöcken < 0, 2 m^3 extrem ansteigen) so weit ab, daß solchen Lagerstätten sowieso nur geringe Aussichten auf einige wenige Prozente an echt gewinnbaren Rohblöcken in Mindestblockgröße verbleiben.

Bei diesen Steinbrüchen mit < 0,2 m^3 Blockvolumen handelt es sich daher um Betriebe, die sich von der Plattenherstellung - und damit von der Werkstein-Bearbeitung im Sinne der auf S. 4 gegebenen Definition - abgewandt haben.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß
- Cornberger Sandstein vorwiegend nur noch als Mauer- und Verblendstein genutzt wird,
- die Bad Karlshafener Steinbrüche insbesondere Gartenplatten, Pflastersteine und Mauersteine herstellen,
- Freudental inzwischen nicht mehr der Naturwerkstein-Gewinnung dient,
- Thüste in einigen Jahren auslaufen wird,
- Nüxei eingestellt ist,
- Kassel nur vorübergehend in Betrieb ist.

Trotzdem wurden auch für diese Lagerstätten die Modellrechnungen nach dem oben geschilderten Verfahren angestellt. Diese führen z. B. für Bad Karlshafen 3 mit den Werten aus Tab. 14 gegenüber denjenigen aus Abb. 58 lediglich zu einer Verschiebung auf der Kurve um nur 0,03 m^3, d. h. der Wert von η = 9 % würde nur unwesentlich angehoben.

Damit mag die Berechnung der Rohblockhöffigkeit auch im Bereich der Werte unterhalb des Mindestblock-Volumens und damit bis zu η = 30 % ± 5 % als hinreichend abgesichert gelten. Daß außerdem im asymptotischen Verlauf der Kurve, also oberhalb η = 80 %, der systematische Fehler eine praktisch unbedeutende Größe hat, ist natürlich besonders günstig.

Für den mittleren Bereich (zwischen 30 und 70 %) wurden ähnliche rechnerische Überprüfungen zusätzlich für einige Quaderkalk - Lagerstätten durchgeführt (Kirchheim 1 und 2 sowie Eiblstadt, die sich bei hypothetischen Änderungen der Blockvolumina auf der Kurve um ca. 7 % verändern würden).
Man befindet sich jedoch dabei schon auf dem recht empfindlichen Teil des Kurvenzuges.
Um nicht der Versuchung zu erliegen, sich dabei in den Bereich von Spekulationen zu begeben, wurden alle Befunde generell in einem Computermodell überprüft.

6.8.1.1 Computersimulation

Die Faustformel verlangte zunächst die Berechnung der Prozentanteile in den für den Mindestblock festgesetzten Trennflächen-Klassen. Der Computer verwendet, wie schon auf S. 50 erläutert, jeden einzelnen der eingemessenen Werte ≥ 0,1 m Trennflächenabstand. Er berechnet alle "möglichen" Rohblöcke und addiert dann deren Volumen, die in ihren Maßen bzw. in ihrer Größe die Mindestblock-Bedingungen erfüllen. Das summierte Volumen solcher Blöcke im Verhältnis zum Lagerstättenvolumen ergibt dann die gesuchte maximale Rohblockhöffigkeit η, die für jede Lagerstätte bereits in Kapitel 6 angegeben wurde.
Als besonders anschaulich hat sich erwiesen, die % - Werte gegen die Durchschnittsblock-Volumen (m^3) in halblogarithmischer Form aufzutragen (Abb. 170).

Dabei zeigt sich ein beachtlicher Gleichlauf des aus diesen Meßpunkten ersichtlichen Zusammenhangs zwischen η und m^3, auch gegenüber derjenigen Kurve, die aus den in Abb. 169 aufgetragenen Punkten für die Faustformel ermittelt wurde.

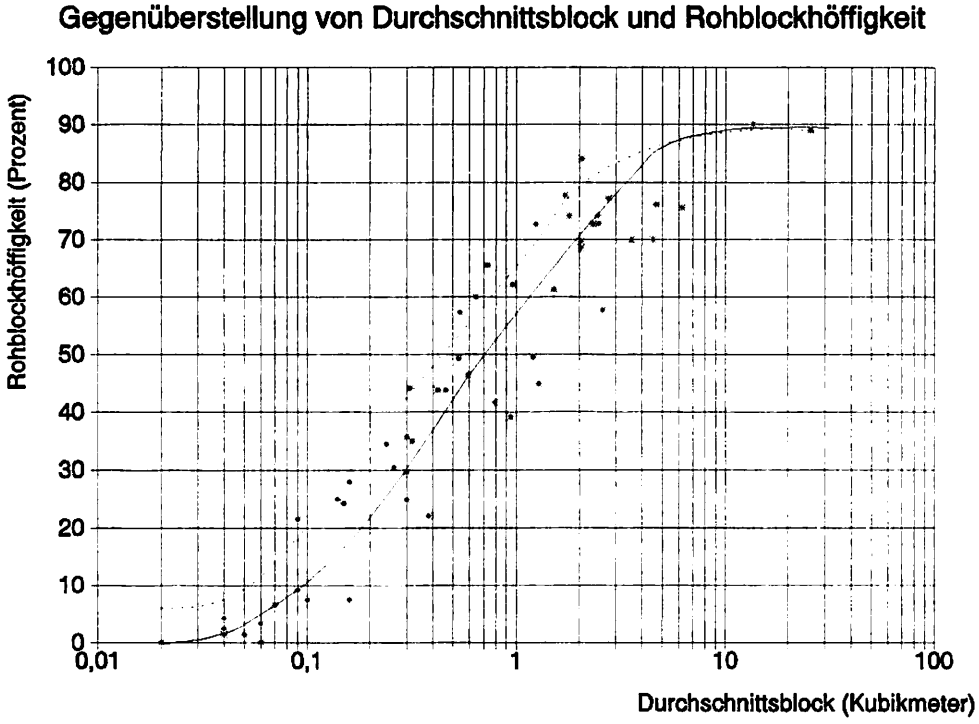


Abb. 170: Halblogarithmisch aufgetragene Meßpunkte der Computer-Simulation für die Rohblockhöffigkeit gegen das Durchschnittsblock-Volumen (gepunktet zum Vergleich Ergebnisse d. Faustformel S. 48).

6.8.1.2 Vergleich der Rechenmethoden

Die Abb. 170 erlaubt es, die Befunde, die zuvor mit der Faustformel ermittelt wurden, nun mit der Computerrechnung zu vergleichen.

Faustformel und Computermodell befinden sich in prinzipieller Übereinstimmung. Jedoch kommen die η-Werte der Faustformel gegenüber dem, was der Computer errechnet hat, deutlich zu hoch heraus.
Die Faustformel war der (wenn auch nicht ganz unbedenkliche) Versuch einer Mittelwertbildung aus den Anteilen von Trennflächenabständen, die für jede Lagerstätte in den einzelnen Profilen für $\geq$ 1,0 m bzw. 0,4 - 1,0 m errechnet wurden. Dementsprechend wurde die Abb. 28 (rechter Teil) geschaffen und dann jeder einzelnen Lagerstättenbeschreibung in Kapitel 6 beigefügt. Man kann sich daraus bereits eine qualitative Vorstellung machen und die für das Errechnen von η nach der Faustformel benötigten Werte abgreifen.
Diese hilfreiche Maßnahme war dienlich, um überhaupt zu einer einheitlichen Art von Lagerstättenbeurteilung zu kommen. Die Faustformel wurde durch die Computerrechnung weitgehend bestätigt. Vor allem ist es damit möglich, auf einfache Weise schnell ein Urteil über eine Lagerstätte zu bilden, d. h. abzuschätzen, was bestenfalls "maximal" an Rohblöcken zu erwarten ist (wenn man mit der Faustformel "rechnet", muß man gegebenfalls Abschläge machen).
In Kapitel 6 sind bei der Beschreibung der Lagerstätten jeweils die Computerwerte gemäß Kapitel 5.6.1.4 aufgeführt.

Näherungsformel für das Nutzvolumen

Der Computer ermittelt das über alle Blöcke summierte Volumen für all jene Rohblöcke, die nach dem Aufmessen der Profile die Mindestblockbedingungen erfüllen werden, wenn sie dementsprechend schonend abgebaut werden. Der Computer erfaßt somit ein "Nutz"-Volumen und setzt dieses ins Verhältnis zum Volumen des gemessenen Lagerstättenteils. Das ergibt den Wert η als den aus dieser Lagerstätte zu erwartenden % -Anteil in Form von Blöcken der geforderten Dimensionen.
Bei der abschließenden Auswertung zeigte sich, daß das "Nutz"-Volumen überschlagmäßig auch ganz einfach errechnet werden kann: man erhält völlig übereinstimmende %-Werte, wenn man das Produkt aus allen Trennflächenabständen ≥ 0,4 m für x, y und z bildet.
Bzw. die Rohblockhöffigkeit ergibt sich ganz simpel aus

$$(\%\ x) \geq 0{,}4\ m \cdot (\%\ y) \geq 0{,}4\ m \cdot (\%\ z) \geq 0{,}4\ m = \eta_{0{,}4}$$

Diese Näherungsformel zeigt in einem weiten Bereich einer Darstellung gemäß Abb. 170 solche Übereinstimmung mit den Computerwerten, daß es interessant ist, dafür einige Zahlenbeispiele anzugeben:

	Comp.	Nähergsf.		Comp.	Nähergsf.
Rehlingen	84	85	Obernkirchen	44	49
Anröchte	78	78	Dietenhan	44	46
Erkertshofen	77	78	Mühlbach	36	38
Petersbuch	70	70	Heiligersd.	30	31
Niederhofen	62	66	Kassel	28	30
Eiblstadt	60	60	Karlshafen 2	7	24

Offenbar stehen in dem durch diese Formel erfaßten Volumenanteil ≥ 0,4 m immer genügend Anteile an Trennflächenabständen ≥ 1,0 m mit zur Verfügung, um weitgehend dem geforderten Verhältnis von $(x \cdot y)_{\geq 1{,}0\ m}$ zu $z_{\geq 0{,}4\ m}$ bei den Mindestblöcken zu entsprechen.

Erst unterhalb des Durchschnittsvolumens von 0,1 m^3 (z. B. Bad Karlshafen 2) nimmt die Zuverlässigkeit dieser Näherungsformel ab. Für die praktische Anwendung ist das aber nahezu unbedeutend, weil es sowieso kaum noch lohnt, bei jenen Lagerstätten genaue Werte für die extrem kleinen Rohblockhöffigkeiten errechnen zu wollen.

Generell kann festgestellt werden, daß durch die mit Abschluß der Arbeit gefundene Näherungsformel (ohne mathematische Bedenken) recht einfach aus dem Volumen aller Anteile x, y, z ≥ 0,4 m innerhalb einer Lagerstätte die Rohblockhöffigkeit abgeschätzt werden kann. Ergänzend bzw. sogar verbessernd zu der vorab genutzten Faustformel steht damit eine weitere praktisch zu handhabende Möglichkeit zur Verfügung: ohne große Hilfsmittel, wie dies die Computerrechnung erfordert, können schnell und zuverlässig Aussagen über die zu erwartende Ergiebigkeit getroffen und so Naturwerkstein-Lagerstätten bewertet werden.

6.8.2 Lagerstättentypische Einflüsse

Aus dem logischen Verlauf der Kurve in Abb. 170 fallen ganz offensichtlich einzelne Meßpunkte mit recht großen Abweichungen heraus. Obwohl dies für die einzelnen Typen von Lagerstätten durchaus möglich sein kann, wurde überprüft, ob es sich um Fehler in den Messungen handelt. Es stellte sich heraus, daß die allgemein eindeutige Abhängigkeit der Rohblockhöffigkeit von der Durchschnittsblock-Größe durch zwei lagerstättentypische Einflüsse gesteuert wird: sowohl

von den Bruchanteilen als auch von der Menge an kleineren, nicht plattenschneidfähigen Blöcken. Diese beiden Größen schwanken, und wenn sie kumulieren, kann das zu Extremen bei den η-Werten führen.

Aus den Achsenprofilen resultieren drei Klassen:

< 0,1 m	≥ 0,1-0,4/1,0 m	0,4/1,0 m bis zu Extremwerten
(Bruch)	("Mittelgut")	(Rohblöcke)

Grundsätzliche Voraussetzung für die Gewinnung von plattenfähigen Rohblöcken sind weitständige Trennflächenabstände. Je weiter die Abstände sind, um so größer fallen die Blockvolumina aus und damit die Chance, möglichst viele geeignete Blöcke aus der Lagerstätte zu erhalten. Je geringer sie sind, um so mehr wachsen die anderen beiden Klassen an.
Alle Trennflächenabstände < 0,1 m führen zu "Bruch"; das ist praktisch Verlust, sofern nicht Schotter daraus gewonnen wird (mit allerdings geringstem Erlös je m^3). Die Klasse oberhalb 0,1 m bis zu plattenfähigen Rohblockgrößen kann nur noch für Mittel-Produkte (wie Verblendsteine, Mauersteine, Pflastersteine und ähnliches) genutzt werden, und dann nur mit kleinerem Erlös als für große Rohblöcke.
Die meisten aufgenommenen Lagerstätten zeigen in den Schicht- bzw. Bankprofilen z nur relativ wenige Anteile < 0,1 m; sie sind eben schon von den Steinbruchbetreibern danach ausgesucht (generelle Ausnahme sind Wesersandsteinbrüche).
In den beiden anderen Profilrichtungen sind mehr oder minder große Anteile < 0,1 m festzustellen. Bei großen Durchschnittsblock-Dimensionen fallen diese prozentual relativ wenig ins Gewicht; dort ist auch der Anteil der Mittelfraktion gering.
Je mehr eine Lagerstätte durch engständige Trennflächen zerteilt wird, um so stärker wachsen die prozentualen Anteile an "Klein-Blöcken" der Mittelfraktion und die Anteile < 0,1 m. Folglich nimmt die Höffigkeit an schneidfähigen Blöcken aus beiden eben genannten Gründen mit fallendem Blockvolumen ab (Abb. 171).

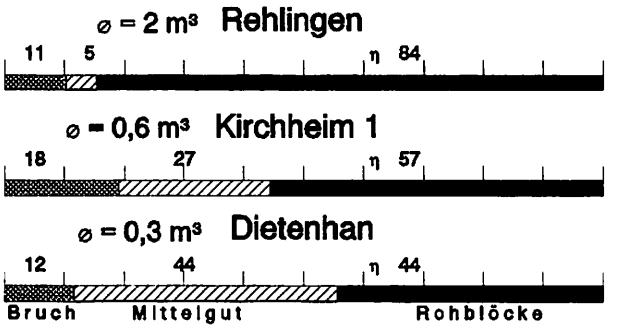


Abb. 171: Anteil an Kleinmaterial bei 3 verschiedenen Lagerstätten mit unterschiedlicher Rohblockhöffigkeit η in %.

Aber das muß nicht immer gleichmäßig erfolgen, beide Einflüsse können sich kompensieren oder auch kumulieren - und dann kann der Wert der Rohblockhöffigkeit η stark aus der Kurve herausfallen (vor allem dann, wenn in zwei Profilen hohe Anteile < 0,1 m vorliegen, auch zugleich in z-Richtung die Kluftabstände kaum 0,4 m überschreiten).
Erfreulicherweise gibt es eine Anzahl von Lagerstätten, die in allen drei Profilen nur relativ wenig gestört sind, dadurch nur recht geringe Anteile < 0,1 m aufweisen. Dies gilt außer den oben genannten auch für Eichenbühl, Eiblstadt, Kirchheim 1, Sand usw.).

6.8.3 Nutzbares Kleinmaterial

Wie schon im letzten Kapitel aufgezeigt, steigt mit abnehmender Blockgröße der Mittelgutanteil an. Vereinfacht ergibt sich folgender Zusammenhang (Tab. 36):

Größe der Durchschnittsblöcke (in m^3)	Mittelfraktion (in Prozent der Lagerstätte)
> 0,6	5 - 15
0,3 - 0,6	- 33
~ 0,3	überwiegend
0,1 - 0,3	zunehmend Bruch

Tab. 36: Abhängigkeit der Mittelfraktion (in %) einer Lagerstätte von der Größe des Durchschnittsblocks.

Das bestimmt dann im wesentlichen auch die Produktpalette des jeweiligen Betriebes: bei den hohen Blockgrößen lohnt kaum eine andere Gewinnung als die von Gatterblöcken. Bei niedrigen Blockgrößen werden in den Steinbrüchen nur gelegentlich einige solcher Blöcke mitgewonnen (manchmal aber auch verschnitten), denn diese Betriebe sind auf andere Produkte wie Mauersteine, Verblendsteine, Gartenplatten etc. eingestellt. Diese bringen zwar nur einen Teil der Rohblock-Erlöse, dies kann aber durchaus rentabel sein, wenn die Betriebe darauf ausgerichtet sind (besonders gilt dies für Wesersandsteinbrüche).

In dieser Arbeit wird jedoch die Gewinnung und Verwendung von Rohblöcken, die ein gatterfähiges Format haben, behandelt.

6.9 Vergleiche eigener Ergebnisse mit Befunden aus den Lagerstätten

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Berechnungsmethode, für den Wert der Rohblockhöffigkeit η soll mit den Angaben der Praxis verglichen werden.
Allerdings sind die Aussagen der Betriebe hierzu recht problematisch: es ist schwierig, einigermaßen gesicherte Auskünfte zu erhalten, zumal diese oft nur ungern von den Betreibern preisgegeben werden.
Nur in wenigen Fällen waren die Rohblockhöffigkeit und die Durchschnittsgröße der Blöcke für einzelne Tuff-, Kalk- und Sandsteine direkt zu erhalten. Für andere Lagerstätten konnten lediglich die Ausbeuten insgesamt in Erfahrung gebracht werden. Für solche Lagerstätten sind die Abbau- und Gewinnungsverluste zu berücksichtigen, um daraus im Rückschluß den Wert der Rohblockhöffigkeit in der Praxis zu erhalten.

Sandstein

Lagerstätte Neuheilenbach (Kapitel 6.3.2) η = 25 %

Hier hatte ein Gutachter einfach das Problem der Rohblockhöffigkeit nicht berücksichtigt, also durchweg 100 % von Fläche und Mächtigkeit als nutzbaren Lagerstätteninhalt angesetzt, was natürlich bei Verwendung eines Steinbruchs zur Werksteingewinnung nicht erlaubt ist. Neuheilenbach soll deshalb als Beispiel für die im Verlauf der Arbeit durchgeführten Berechnungen dienen:

Das aufgeschlossene und gemessene Lagerstättenvolumen beträgt 9.200 m^3. Die Lagerstätte ist stark zerklüftet und derart von Trennflächenabständen < 0,1 m durchzogen, daß über die Hälfte des Steinbruchs nur als "Bruch" anfällt.
Die Computerberechnung führt zu einer Rohblockhöffigkeit von 25 % (knapp 2.300 m^3 Nutzvolumen); die auf S. 144 abgeleitete Näherungsformel liegt in derselben Größenordnung und kommt auf 28 %.

Was dies für die vom Gutachter vorgenommene Kapitalisierung des Lagerstätteninhalts bedeutet, wird in Kapitel 9.4.1 aufgezeigt.
Leider liegen keine Zahlen vor, die Auskunft über die Ausbeute vor der Stillegung des Steinbruchs Neuheilenbach geben können.

Lagerstätte Udelfangen (Kapitel 6.3.5) η = 73 %

Wie auf S. 79 dargelegt, erfolgte die Vermessung in einem Bereich, in dem im Unteren Muschelkalk bis zu 2 m mächtige Sandsteinbänke eingeschaltet sind. Für diesen Teil der Lagerstätte ergab sich eine Rohblockhöffigkeit von 73 %, die auch von dem Steinbruchbesitzer bestätigt wurde.

Lagerstätte Bad Karlshafen 2 (Kapitel 6.3.3.6) η = 7 %

Als Bruchanteil < 0,1 m konnten für die Lagerstätte 36 % ermittelt werden.
Der nutzbare Anteil kann demnach nur höchstens ⅔ (64 %) der Lagerstätte ausmachen. Diese Wesersandstein-Lagerstätte produziert vornehmlich Pflastersteine. Pro Arbeitstag werden durchschnittlich 13 m^3 Pflastersteine und daneben noch 3 m^3 Rohblöcke erzeugt, das entspricht 52 % an Pflastersteinen und maximal 12 % Blockware.

Die Gewinnung erfolgt auf Grund der gut geöffneten Trennflächen lediglich durch Reißen, so daß nur geringe Gewinnungsverluste entstehen. Folglich scheint die berechnete Rohblockhöffigkeit mit 7 % Blockware etwas niedrig, aber doch in der Größenordnung zu liegen.

Lagerstätte Neubrunn (Kapitel 6.3.8) η = 89 %

Der für den Coburger Sandstein errechnete Wert der Rohblockhöffigkeit sowie die außergewöhnlich hohen Ausmaße des Durchschnittsblock wurden von der Betreiberfirma voll bestätigt.

Lagerstätte Obernkirchen (Kapitel 6.3.10) η = 44 %

Nach früheren Angaben der Betreiber der Obernkirchener Sandsteinbrüche soll das Rohblock-Ausbringen bei 50 - 60 % liegen ([90]:73). Damit wären diese Zahlen höher als in einem ausführlichen und an die Bedürfnisse der Naturwerksteinbearbeitung angepaßten Gutachten [90] über die Lagerstätte, in dem es heißt, daß Schollen der Stärke von mindestens ≥ 0,3 m nur ca. 50 % des anstehenden bauwürdigen Sandsteins überhaupt darstellen.
Folglich müßten die in dieser Arbeit erfaßten Anteile an Schollen ≥ 0,4 m noch unter diesen 50 % liegen und damit dem hier ermittelten Wert der Rohblockhöffigkeit von 44 % nahe kommen.

Die eigenen Angaben werden zusätzlich noch durch Messungen von GUNDLACH (erhalten von den Obernkirchener Sandsteinbrüchen) an 283 bereits hereingewonnenen Rohschollen bestätigt, wonach die gewogene Durchschnittsstärke bei 0,54 m liegt.

Dieser Wert stimmt gut mit den Untersuchungen der Lagerstätte Obernkirchen im Rahmen dieser Arbeit überein, wobei für die horizontal lagernden Trennflächenabstände ein Mittelwert von 0,5 m festgestellt wurde (dabei gehen aber zusätzlich noch die auf Grund ihrer geringen Trennflächenabstände nicht verwertbaren Schollen mit ein, die bei der von GUNDLACH aufgeführter Messung nicht berücksichtigt wurden).

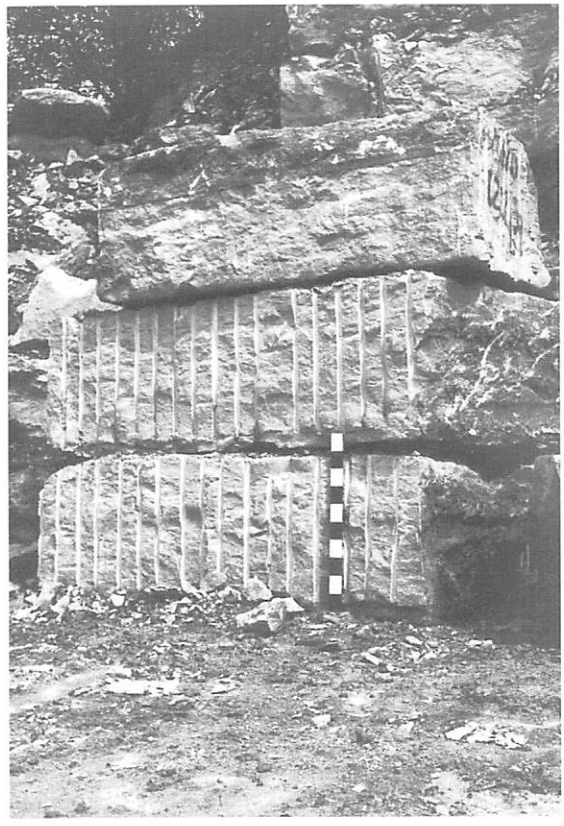


Abb. 172: Die Abbildung zeigt hereingewonnene Blöcke in Rehlingen mit den Maßen von 2,55 · 1,45 · 0,8 m.

Kalkstein

Lagerstätte Rehlingen (Kapitel 6.4.2.3)
η = 84 %

Die Rohblockhöffigkeit, die unter Zugrundelegung des für diese Arbeit allgemein mit 0,4 m^3 festgesetzten Mindestblocks berechnet wurde, schätzen zuständige Personen des Abbaubetriebes als zutreffend und eher als etwas zu niedrig ein. Es wird angegeben, Rohblöcke mit 0,5 m^3 zu 85 % gewinnen zu können (wobei davon die Abbauverluste noch nicht abgesetzt sind).

Der Betrieb liefert Blöcke in den Größen ab 2 m · 1 m · Schichtdicke zur Weiterverarbeitung. Kleinere Maße werden nicht verarbeitet (die Abb. 172 zeigt hereingewonnene Blöcke in diesen Dimensionen). Die Höffigkeit für Blöcke dieser Größe liegt nach Angaben des Betriebes in guten Lagerstättenpartien bis zu 70 %. Die hier erstellte Computersimulation würde anhand der eingemessenen Trennflächen für Blöcke in diesen Betriebsmaßen (2 m · 1 m · Schichtdicke) den Wert von η = 70,4 % ergeben.

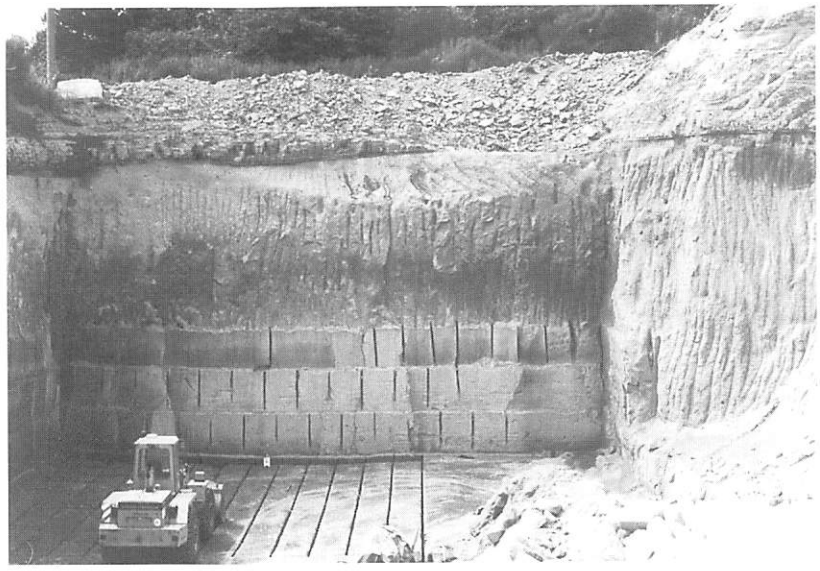


Abb. 173: Tuffsteinbruch Ettringen. Die Abbildung zeigt die durch die Schrämmaschine erzeugten parallelen Schnittbahnen in Abständen von 1 m (Tiefe 1,7 m).

Lagerstätte Anröchte (Kapitel 6.4.4) η = 78 %

Auf die Frage, ob die hier ermittelten Maße des Durchschnittsblock mit denen in der Praxis übereinstimmen, gab die Betreiberfirma an, daß dieser Wert gut geschätzt sei. Die Höffigkeit an Blöcken, die über dem Mindestblock liegen, sei nach Angaben der Firma sogar noch einige Prozente höher als der hier ermittelte Wert.

Dolomit

Lagerstätte Kleinziegenfeld (Kapitel 6.5.2) η = 58 %

Aus dieser Dolomitlagerstätte, die große Blöcke liefert, konnte nach Aussage des Betreibers die in dieser Arbeit ermittelte geologische Rohblockhöffigkeit von ca. 60 % bestätigt werden. Der Rest der Lagerstätte wird überwiegend zu Mauersteinen und auch zu Schotter weiterverarbeitet verwendet.

Tuffstein

Lagerstätte Ettringen (Kapitel 6.6.1.1) η = 90 %

In dieser Tuffstein-Lagerstätte sind die Trennflächenabstände so groß, daß die gewählte Blockgröße nahezu nur von der Dichte der parallelen Schnittbahnen der eingesetzten Schrämmaschine bestimmt wird (Abb. 173).
Die hier errechneten Durchschnittsblöcke von 13,6 m^3 entsprechen nach Aussage des Betreibers den Gegebenheiten, und die tatsächliche Rohblockhöffigkeit sei durchaus bei dem hier errechneten Wert von 90 % anzusetzen.

Lagerstätte Kassel (Kapitel 6.6.2) η = 28 %

Wie schon erwähnt, ist dieser Tuffsteinbruch im Habichtswald ausschließlich für die Restaurierung der historischen Löwenburg in Kassel in Betrieb genommen worden. Zuvor hatte eine auf Bohrungen basierende Exploration einen nur geringen geologisch nicht verwertbaren Anteil des Gesteins (15 - 20 %) ergeben, d. h. eine Höffigkeit an Werksteinen von 80 %.

Noch vor Aufnahme der Gewinnung wurden die Aufschlußwände gemäß der Methode dieser Arbeit eingemessen. Die Untersuchungen ergaben eine Rohblockhöffigkeit von 28 % (Kapitel 6.6.2), so daß sofort die obigen hohen Erwartungen angezweifelt wurden (siehe auch Kapitel 9.4.2). Obwohl die zur Erfassung der Trennflächen ausgewählten Meßstrecken aufschlußbedingt nur sehr kurz waren, mußte ein entsprechender Fehler in Kauf genommen werden. Inzwischen gewinnt der Betrieb und soll nach Aussagen des Betreibers eine Höffigkeit von 30 % bringen.

6.10 Eignung der Methode zur Beurteilung von Naturwerksteinlagerstätten

In dem hiermit abzuschließenden Kapitel 6 sind
- alle für Deutschland relevanten Naturwerkstein-Gesteinsarten, bzw.
- alle für die (alte) Bundesrepublik wesentlichen Abbaugebiete beschrieben und eingemessen,
- ihre Trennflächenabstands-Häufigkeiten in Histogrammen ausgewertet,
- Darstellungen für das Durchschnittsblock-Volumen und die Rohblockhöffigkeit auf der Grundlage des Mindestblocks erstellt worden, weiterhin sind diese nach regionalgeologischen Übereinstimmungen als auch nach örtlichen geologischen Sonderheiten überprüft und diskutiert worden.

Das führte schließlich zur Darstellung der Abhängigkeit zwischen Blockgröße und Rohblockhöffigkeit, die kritisch überprüft und mit den Befunden der Praxis verglichen wurde.

Dabei ergibt sich eine Übereinstimmung der Erfahrungswerte aus den Steinbruch-Betrieben mit den Rohblockhöffigkeiten, wie sie über die für diese Arbeit entwickelte Näherungsformel bzw. über das Computermodell erhalten wurden.
Sicherlich besteht bei der ja willkürlichen rechnerischen Summierung von Ausbeuten in bestimmten Profilrichtungen die Gefahr, daß der η-Wert abweichend ausfällt. Eine gewisse Eigenkorrektur ergibt sich aber dadurch, daß in den Steinbrüchen keine exakte Maßbegrenzung erfolgt und daß auch kleinere Blöcke Verwendung finden. Diese können gelegentlich in einer oder auch zwei Richtungen nicht in den geforderten Mindestmaßen liegen. Hierdurch wird auch ein Teil der rechnerisch relevanten, technischen Abbauverluste kompensiert - so wie viele Betriebe wirtschaftlich bemüht sind, aus den Bruchanteilen noch Einnahmen durch Pflastersteine etc. bis hin zu Schotter zu erzielen.
Die zur Vorsicht aus statistischen Gründen diskutierte Transformation der einfachen arithmetischen Werte durch entsprechende geometrische Mittelwerte zum Errechnen der Durchschnittsblockgröße erwies sich im nachhinein als nicht notwendig.
Auf dem dargestellten Kurvenzug (Abb. 170), der den Zusammenhang zwischen Durchschnittsblock und Höffigkeit charakterisiert, bewegt man sich mit so hinreichender Genauigkeit, daß daraus beachtlich sichere Aussagen über die Ergiebigkeit eines Naturwerksteinvorkommens gemacht werden können.

Für praxisnahe Zwecke hat es sich daher als vorteilhaft erwiesen, aus den Mittelwerten der Trennflächenabstände das Durchschnittsblock-Volumen (ø) zu ermitteln, um dann aus einer halblogarithmischen Darstellung die entsprechende Höffigkeit einer Lagerstätte an Mindestblöcken in Prozent abzugreifen.

Bei Durchschnittsblöcken über 4 m^3, also dem 10 fachen des Mindestblock-Volumens, liegt die Rohblockhöffigkeit in Bereichen um 90 %, was aber auch das Maximum ist. Unterschreiten die Durchschnittsblöcke etwa die Größe des halben Mindestblocks, also 0,2 m^3, ist die Gewinnung als plattenschneidfähiges Blockmaterial nicht mehr lohnend.

Mit der Rohblockhöffigkeit $\geq$ 0,4 m^3 wird ein Wert angegeben, der bei optimaler und verlustfreier Gewinnung erzielt werden könnte. Das ist aber technisch nicht realisierbar. Daher müssen von den angegebenen Rohblockhöffigkeiten gewisse Abzüge gemacht werden. Solche notwendigen Abschläge sind abhängig von den Lagerungsverhältnissen, den Gewinnungsverfahren und den jeweiligen Verlusten beim Zuschnitt der Blöcke - was in dem nachfolgenden tagebautechnischen Teil der Arbeit eingehend zu betrachten ist.

7 Gewinnungsverfahren

7.1 Einführung

Die Naturwerkstein-Gewinnung unterscheidet sich von den anderen Zweigen des Steine- und Erden-Bergbaus durch den möglichst schonenden Abbau des Gesteins. Wichtig hierbei ist nicht nur die Schonung des gerade zu gewinnenden, sondern auch des noch zum Abbau anstehenden Gesteins.

Die Gewinnung umfaßt das Lösen der Blöcke aus dem Anstehendem, das anschließende Laden und Transportieren. Unter Ausnutzung der natürlichen Trennflächen sollen möglichst rechteckig geformte Rohblöcke, in einer dem Transport und Sägegatter angepaßten Größe, abgebaut werden.

Der Rohblock ist, wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt - vielfach durch die Anordnung der Trennflächen (Klüftigkeit) vorgegeben. Gelegentlich ist die Rohblockhöffigkeit einer geforderten Dimension so begrenzt, daß die zusätzlich durch das Gewinnungsverfahren notwendigerweise bedingten und die vom sonstigen technischen und bergmännischen Verhalten abhängigen Verluste auf jeden Fall minimal gehalten werden müssen.

Die vielfältigen Arten der Gewinnung in den zahlreichen Naturwerksteinbrüchen sind abhängig von der Gesteinsart, der jeweiligen Lagerstättenanordnung, der angewandten Technologie - aber oft auch historisch bedingt, worüber ausführlich in den Kapiteln 1.2 und 7.2 berichtet wird.
Zunächst war es notwendig, durch Befahren von über 130 Naturwerksteinbrüchen in der (alten) Bundesrepublik und dem benachbarten Ausland, eine Bestandsaufnahme vorzunehmen. Hierbei waren alle zur Anwendung kommenden Gewinnungsarten zu erfassen, aufzulisten und nach Eigenschaften zu ordnen, womit sich zunächst dieses Kapitel befaßt. In diesem Zusammenhang wurden zusätzliche Untersuchungen vor Ort durchgeführt, um die dort eingesetzten Betriebsmittel für die Gewinnung zu prüfen bzw. deren Leistungen zu erfassen. Weitergehende Versuche galten dem Erkunden von neuartigen Möglichkeiten, die zumeist gleich mit in die Darstellungen eingepaßt wurden.

Zur Auswertung all dieses Materials werden entsprechende Kriterien geschaffen und damit Leistungen, Kosten und Ausbeuten verglichen (Kapitel 8). Danach gilt es (Kapitel 9), für laufende oder neu anzulegende Steinbrüche Empfehlungen, zusätzlich auch anhand exemplarischer Beispiele, herauszuarbeiten, um so die Effizienz der Gewinnung von Naturwerksteinen zu optimieren.

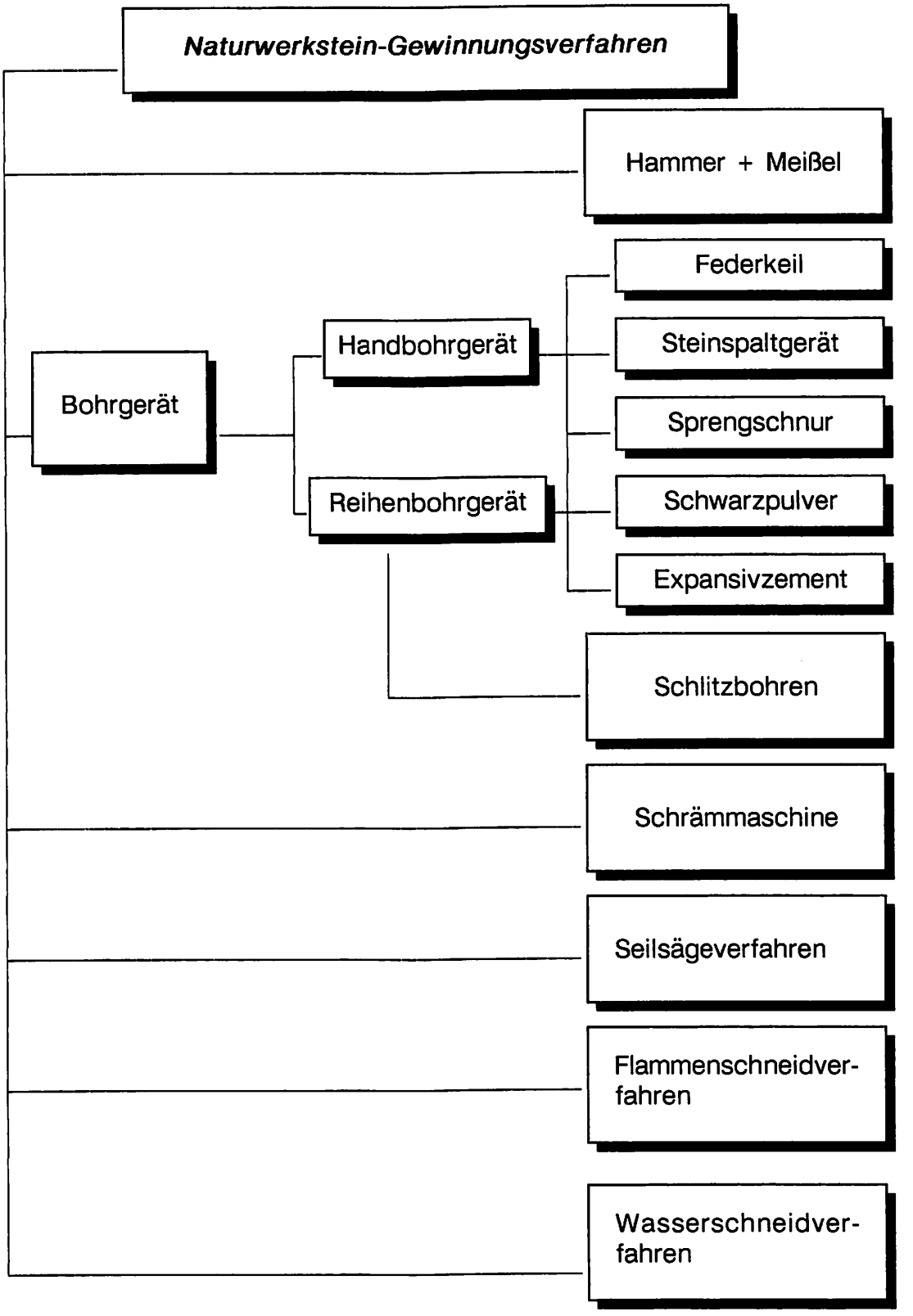


Abb. 174: Übersicht über die Naturwerkstein-Gewinnungsverfahren. Die kleineren Felder in der rechten Spalte stellen die nachgeschalteten Gewinnungsverfahren dar.

7.2 Alte Techniken der Gesteinsgewinnung

Lösen, Laden, Transportieren - stellen die uralte Verfahrenskette dar, wie sie schon aus der Blütezeit der römischen Kultur über die Carraramarmor-Gewinnung in den apuanischen Alpen geschildert wird. Die unter den Römern in Carrara zumeist als Sklaven tätigen Steinbrucharbeiter waren eingeteilt in die Gruppen [158]:

- Marmoraii: das waren die eigentlichen Steinbrecher. Sie trieben Eisenkeile in die natürlichen Trennflächen bzw. in gehauene Kerben ein und trennten so das Gestein in Blöcke. Zur Anwendung kamen auch Holzkeile, die in die Kerben oder Trennflächen eingesetzt wurden, durch Annässen aufquollen und dadurch die Blöcke auseinanderdrückten.
- Quadratarii: ihnen oblag die Aufgabe, die Rohblöcke in eine möglichst rechteckige Form zu hauen. Anschließend mußten die Blöcke mühsam ins Tal geschafft werden. Hierzu wurden sie entweder die Hänge heruntergerollt oder aber über zwei parallele Holzschienen, die "lizza", mit Hilfe von dicken Hanfseilen nach unten geführt und gebremst. Später wurde diese Methode verbessert, indem man die Blöcke auf einer Art Schlitten auf den Holzschienen nach unten ins Tal führte.
- Sectores serrarii: sie hatten die Aufgabe, die Blöcke in Platten zu spalten. Hierbei bedienten sie sich einer Säge, die wie beim Holzsägen von zwei Arbeitern rechts und links geführt werden mußte.

Der weitere Transport erfolgte mit Ochsenkarren zumeist zum Hafen (Abb. 175).

Nach Einführung des Sprengpulvers übernahm man von den französischen Minen eine Sprengmethode, die "varata", die sehr wirkungsvoll war [158]. Man bohrte mit einer Eisenstange ein tiefes Loch in das Gestein und füllte in dieses Salzsäure, die durch Lösen des Marmors einen kleinen Hohlraum erzeugte, der als Sprengkammer diente. Auf diese Art und Weise war es zwar möglich, eine große Menge an Gestein zu lösen, der Anteil an Gesteinsbruch war aber außerordentlich hoch.



Abb. 175: Transport von Blöcken mit Gespannen zum Hafen und Verladung auf Schiffe. Gemälde von Josef Wilhelm Melchior, München 1842 (Ausschnitt).

Erst zu Beginn dieses Jahrhunderts kam die Mechanisierung durch Preßlufthämmer bzw. die schonende Seilsäge.

7.3 Erfassen und Beschreiben der Gewinnungsverfahren

Nachstehend werden alle derzeit in Anwendung oder Erprobung befindlichen Gewinnungsverfahren geschildert. Ein geordnetes Schema ist in Abb. 174 zusammengestellt.
Generell ist zu unterscheiden zwischen Verfahren:

1) die gleich eine durchgehende Lösefläche schaffen und solchen,
2) die ein nachgeschaltetes Trennen erfordern.

Zur ersten Gruppe zählt vornehmlich die schneidende Gewinnung (Schrämen, Seilsägen, Flammen- und Wasserschneiden).
Zur zweiten Gruppe gehören diejenigen Gewinnungsverfahren, die nur "perforierend" wirken, aber noch keine freie Lösefläche schaffen (vornehmlich das Bohren). Somit ist ein nachgeschaltetes Lösen notwendig (Keile, Spaltgeräte, Explosiv- oder Expansivstoffe).
Wenn in manchen Fällen schon hinreichend natürliche Fugen den vorgegebenen Blöcken entsprechen, können die sogenannten "nachgeschalteten" Verfahren auch direkt zum Herstellen durchgehender Löseflächen zum Einsatz kommen.

7.3.1 Hammer und Meißel

Das von den Römern angewandte Kerben des Gesteins mit Hammer und Meißel in Verbindung mit nachgeschaltetem Lösen durch Holzkeile, die bei Benässen durch den Quelldruck das Gestein auseinandertrieben, wurde schon erwähnt. In Gebrauch war auch das Keillochspalten durch Eintiefen einer Reihe von keilförmigen Spalten und anschließendem Auseinanderdrücken durch gleichmäßiges Eintreiben von Eisenkeilen.
Bei den Ägyptern wurden Sandsteinblöcke entlang der tonigen Zwischenlagen und Trennfugen mit Meißel und Schlegel an den natürlichen Löseflächen herausgearbeitet. Bei Hartgesteinen konnten die relativ weichen Bronzemeißel nicht eingesetzt werden. Daher schlug man mit scharfkantigen Steinhämmern aus Dolerit Stück um Stück des Gesteins, eine breite Rille bildend, heraus [104]. Erst die Feinbearbeitung der pharaonischen Hartgesteinsblöcke erfolgte mit Metallmeißeln und schmirgelndem Wüstensand.

Auch heute noch bedient man sich in einigen Steinbrüchen des Hammers und Meißels, wie z. B. in den Solnhofener Steinbrüchen und einigen Wesersandsteinbrüchen (z. B. Sommerberg, Abb. 44), vorwiegend um das Gestein entlang vorhandener Foliationsflächen (Schichtung) zu spalten. Aber auch hier kommen verstärkt pneumatische Meißelhämmer mit Flachmeißel oder Breitmeißel zum Einsatz.

7.3.2 Bohrgeräte

Heute werden keine Kerben mehr in das Gestein gehauen, vielmehr stehen Bohrhämmer zur Verfügung, um das Gestein zu perforieren. Sie sind bei der Gewinnung von Naturwerksteinen weit verbreitet.
Zur Anwendung kommen sowohl pneumatische als auch hydraulische Bohrhämmer. Obwohl der hydraulische Bohrhammer deutliche Vorteile gegenüber dem pneumatischen Bohrhammer hat (erheblich größere Leistungsfähigkeit, geringerer Energieverbrauch), konnte er bisher den pneumatischen Bohrhammer in der Naturwerkstein-Industrie nur teilweise verdrängen, da er als robuster und weniger reparaturanfällig gilt.

An Bohrkronen kommen bei der Naturwerkstein-Gewinnung vorwiegend Kreuz- und Meißelschneiden zum Einsatz. Die Meißelschneide wird vorwiegend für relativ weiche Gesteine wie für Kalkstein verwendet. Für härtere Gesteine wie für Sandstein, aber auch im Muschelkalk, werden Kreuzschneiden verwendet. Stiftbohrkronen werden bei der Werksteingewinnung selten benutzt, gelegentlich in Graniten.

Die Bohrkronen haben durchweg kleine Durchmesser zwischen 34 mm bis 42 mm. Die Bohrstangen sind entweder Konusstangen mit separaten Bohrkronen oder Monoblocstangen mit 7/8 und 1 Zoll Durchmesser. Die Länge der Stangen richtet sich nach den jeweiligen Bankmächtigkeiten. So wird in den Jura-Kalksteinbrüchen meist eine Länge von 1,60 m und

in einigen Steinbrüchen im Roten Mainsandstein von 4 m verwendet. Selten werden bei der Naturwerksteingewinnung Bohrlöcher von über 6 m Länge abgebohrt.
Allgemein werden für alle Gesteine die gleichen Bohrhämmer eingesetzt.

Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz von Bohrgeräten in der Naturwerksteinindustrie sind:

- hoher Bohrfortschritt,
- die Möglichkeit, mehrere Bohrlöcher in einer Linie gleichzeitig niederzubringen,
- kurze Umsetzzeiten,
- einfaches Einstellen der Lafetten,
- Anpassung an das Gelände (Geländegängigkeit),
- eine flexible Reichweite,
- wenig Bedienungspersonal,
- hohe Lebensdauer des Bohrgerätes und Bohrwerkzeuges sowie
- geringe Ausfallzeiten (Reparaturen, Wartungen etc.).

Ziel bei der Naturwerkstein-Gewinnung mit Bohrhämmern ist es, durch die parallele Anordnung von Bohrlöchern in einer bestimmten Richtung eine gezielte Schwächezone zu schaffen, die dann durch nachgeschaltete Spaltverfahren zu einer durchgehenden Lösefläche geöffnet wird.

Bei der Gewinnung selbst, je nach Gesteinsart, Lagerung und Sägegatter sind Vorgabe, Bohrlochteufe sowie Seitenabstand unterschiedlich zu wählen.
Mit Handbohrhämmern werden die zu gewinnenden Blöcke abgebohrt, indem je nach Gesteinsart auf einen laufenden Meter circa 7 - 8 Löcher nebeneinander mit einem Seitenabstand von 15 - 30 cm gesetzt werden. Die Abb. 176 zeigt schematisch einen herausgelösten Block, der an einer langen Seite mit 7 Bohrlöchern und anschließendem Spalten abgetrennt wurde. Zumeist können natürliche Trennflächen insbesondere im Liegenden (Lager) mit genutzt werden. Um dann ein Ausbrechen des Gesteins zu vermeiden, sollten die Bohrlöcher höchstens bis ca. 10 - 15 cm über eine natürliche Trennfläche im Liegenden niedergebracht werden. Sind aber die Abstände zwischen den Lagern sehr weit, so müssen auch die horizontalen Schnitte abgebohrt und gelöst werden.

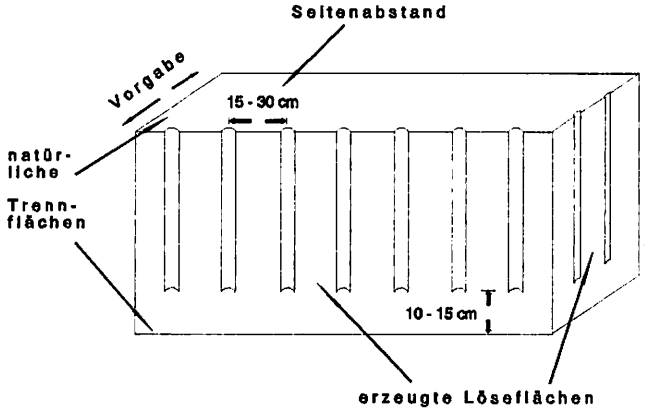


Abb. 176: Vertikale Bohrlöcher mit einem Seitenabstand von 15 - 30 cm - oder je nach Gesteinsart auch mehr - werden bis zu 10 - 15 cm über eine natürliche Trennfläche niedergebracht.

Bohrmeter können eingespart werden, wenn die Gefügerichtungen bzw. vorhandene Spaltbarkeit ausgenutzt werden. Oft sind nur wenige Löcher und damit Bohrmeter notwendig, wenn untergeordnete Trennflächen bereits vorhanden sind. Dann können schon 1 oder 2 Bohrungen pro laufendem Meter unter Zuhilfenahme nachgeschalteter Löseverfahren zum Trennen des Gesteins führen (Quaderkalkstein).
Der geringste Bohrlochabstand von ca. 15 cm sollte bei weichen Gesteinen oder Marmor liegen, besonders wenn diese eine grobe Körnung aufweisen. Bei quarzitischen Sandsteinen und Graniten ist ein Abstand von über 20 cm ausreichend. In einigen Steinbrüchen werden sogar Abstände von 30 - 40 cm mit gutem Ergebnis gewählt.
Immer wieder zeigt sich, daß der Seitenabstand eher zu dicht als zu weit ist. Hier sollte in einigen Betrieben eine kritische Analyse hinsichtlich der gewählten Bohrlochabstände erfolgen.

In vielen Fällen kann eine Verminderung der Bohrlochanzahl und damit der Kostenbelastung erreicht werden.

7.3.2.1 Handbohrgerät

Leichte handgeführte Bohrhämmer sind in vielen Steinbrüchen im Einsatz, insbesondere in Wesersandsteinbrüchen, aber auch noch in einigen Jura-Kalksteinbrüchen, wo sie in naher Zukunft durch Reihenbohrgeräte ersetzt werden. Das Gewicht der Handbohrhämmer liegt zwischen 25 bis 35 kg. Sie dienen auch zur Formatierung der herausgewonnenen großen Blöcke in kleinere Formate und zum Kantenabtrennen.
Verwendet werden Bohrstangen mit ¾" und ⅞". Der Vorschub erfolgt bei den Handbohrhämmern per Hand oder aber mit leichten Vorschublafetten, die die Arbeit vereinfachen und von denen es unterschiedliche Ausführungen gibt.
Die hydraulischen Handbohrhämmer benötigen ein fahrbares Hydraulikaggregat, der Öldurchfluß liegt bei 38 l/min bei ca. 120 bar. Die Ausgangsleistung der Bohrhämmer liegt bei 2 - 5 kW.
Ein Handbohrhammer mit eigenem Kompressor - auch zusätzlich zu einem Reihenbohrgerät - sollte in keinem Betrieb fehlen. Insbesondere für den Fall, daß das Reihenbohrgerät durch Wartung oder Reparatur ausfallen sollte. Weiterhin gibt es immer wieder Bereiche in Steinbrüchen, in denen der Einsatz eines Reihenbohrgerätes unmöglich ist.

7.3.2.2 Reihenbohrgerät

Um das nachgeschaltete Lösen zu erleichtern sowie den Rauhabfall so gering wie möglich zu halten, ist es wichtig, die Bohrlöcher in einer geraden Reihe anzuordnen.

Bei einem Reihenbohrgerät sind bis zu vier Bohrhämmer auf Kettenvorschublafetten mit einem Schlitten an einem Rahmen angebracht. Die Konstruktion ermöglicht es, Bohrungen parallel nebeneinander in einen Block zu setzen. Die Lafetten können in Abständen von ca. 15 - 30 cm versetzt werden.
Für die pneumatischen Reihenbohrgeräte werden meist 26 - 31 kg - Handbohrhämmer eingesetzt, die einen Druckluftbedarf von 4 - 7 m^3 haben und einen 40 kW - Druckluftkompressor mit einer Liefermenge von 7 m^3 bei einem Druck von 7 bar erfordern.



Abb. 177: Reihenbohrgerät mit einem Bohrhammer in einem italienischen Gneis-Steinbruch (Serizzo), an einer senkrechten Bruchwand befestigt.

Für die hydraulischen Reihenbohrgeräte werden meist 40 kg - Schlagbohrhämmer mit einem Ölstrom von 60 - 70 l/min bei einem Druck von 120 - 150 bar verwendet. Der Luftstrom für die Luftspülung liegt bei 650 - 950 l/min bei einem Druck von 3 - 5 bar.

Die Reihenbohrgeräte sind mit einem Steuerpult sowie einem Staubabscheider und einem Spülluftkompressor ausgerüstet, der einen Druckluftbedarf von 0,8 m^3/min - 3 m^3/min bei 7 bar hat.

Hinsichtlich der Konstruktion gibt es im wesentlichen zwei verschiedene Modifikationen:
a) Reihenbohrgerät (ohne Trägerfahrzeug),
b) fahrbares Reihenbohrgerät (mit Trägerfahrzeug).

zu a) Reihenbohrgerät ohne Trägerfahrzeug

Die Anordnung besteht aus einem oder mehreren Bohrhämmern bzw. Lafetten auf einem Rahmen mit Schlitten, der auf der Steinbruchsohle oder aber an der Steinbruchwand verankert werden kann.

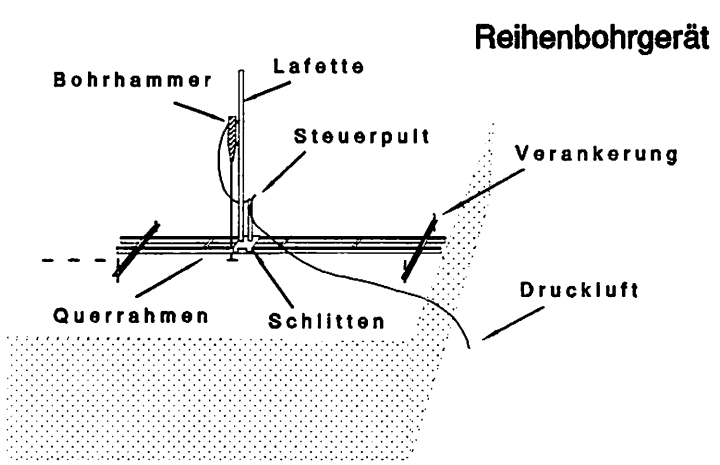


Abb. 178: Schematische Darstellung eines Reihenbohrgerätes.

Hier gibt es Bohrgeräte, die es ermöglichen, bis zu 25 m (bei Verwendung eines 31 kg - Bohrhammers) abzubohren. Die Abb. 178 zeigt eine schematische Darstellung des Reihenbohrgerätes. Der Querrahmen wird mit mindestens 4 Ankern an der Steinbruchsohle oder der Steinbruchwand befestigt. Das Bohrgerät kann daher auch bei sehr steilen oder senkrechten Wänden eingesetzt werden, wie in Abb. 177. Da die Stellung der Bohrlafette zudem noch veränderbar ist, sind Bohrungen in alle Richtungen möglich. Die Ankerlöcher benötigen einen Durchmesser von 38 mm bei einer Bohrlochtiefe von 200 mm. Das Ausrichten des Rahmens erfolgt über 4 verstellbare Gewindespindeln.
Das Gewicht der Querrahmen liegt je nach Ausführung bei 160 kg - 250 kg. Ein 4 m langer Querrahmen ermöglicht es, Löcher auf einer Strecke bis zu 4 m abzubohren. Dieser kann noch mit 3 m oder auch 4 m langen Elementen verlängert werden. Meist setzt man aber nach Abbohren einer Reihe das Reihenbohrgerät um.
Der Vorschub erfolgt mit Druckluftzylinder. Das Verstellen des Schlittens erfolgt entweder per Hand oder aber mit einem pneumatischen Motor.

zu b) Fahrbares Reihenbohrgerät

Der Querrahmen mit aufmontiertem Querschlitten, auf dem sich die Bohrlafetten befinden, also das Reihenbohrgerät, wird an ein Trägerfahrzeug montiert. Der Vorteil liegt darin, daß der Hydraulikkreislauf des Trägergerätes bei hydraulischen Bohrhämmern mitverwendet werden kann. So ist keine zusätzliche Ausrüstung für den Hydraulikkreislauf des Bohrgerätes notwendig. Bei den pneumatischen Reihenbohrgeräten mit Trägerfahrzeug ist ein gesonderter Druckluftkompressor notwendig.
Die Geräte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konstruktion zunächst durch das jeweilige Trägerfahrzeug sowie die Konstruktion des Querrahmens.

Trägerfahrzeug

Als Trägerfahrzeug kommen zur Anwendung:

Karrette: dies ist ein einfacher Rahmen, an dem die Lafette befestigt und verschoben werden kann. Der Rahmen ist so leicht gebaut und auf Rädern verschiebbar, daß er ohne große Schwierigkeiten versetzt werden kann.

Traktor: das Reihenbohrgerät wird an ein Traktor montiert.

Hydraulikbagger: als Trägerfahrzeuge, bei denen das Reihenbohrgerät an den Ausleger montiert wird, kommen Hydraulikbagger mit Ketten- oder Radantrieb zum Einsatz, die ein Dienstgewicht von ca. 15 - 17 t haben.

Raupe: auch ein Raupenfahrwerk kann als Trägerfahrzeug eingesetzt werden.

Vorteil der Reihenbohrgeräte ist, daß diese mit einer Antifestbohrautomatik ausgerüstet sind, so daß bei Aussetzen der Drehung das Schlagwerk ausgeschaltet wird.

Wichtig ist die einzuhaltende Bohrgenauigkeit. Die Seitenabstände werden durch Umstellen leicht ungleich. Viele Reihenbohrgeräte haben eine Abstandsautomatik zur Einhaltung der Seitenabstände zwischen den Bohrlöchern, wobei auf deren Genauigkeit in einem späterem Kapitel eingegangen wird. Zum Einhalten der Bohrlochlänge und des Bohrlochabstandes werden heute auch rechnergesteuerte Reihenbohrgeräte verwendet, die mit einer Bohrlochtiefen- und Abstandsautomatik ausgerüstet sind. Hierdurch wird neben den gleichmäßigen Seitenabständen auch eine geringere Lochanzahl erreicht. Die Optimierung der Bohrfolge erbringt gleichzeitig eine Zeitersparnis, denn die Umsetzdauer wird geringer.

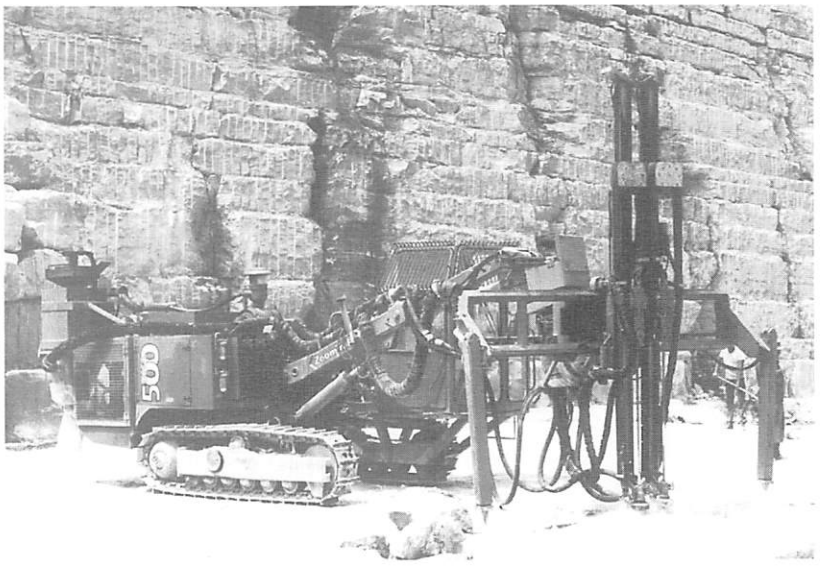


Abb. 179: Fahrbares hydraulisches Reihenbohrgerät mit 2 Bohrlafetten an einem Trägerfahrzeug mit Teleskoparm.

Auf Grund des höheren Andrucks ist bei Reihenbohrgeräten die Zahl der Stangenbrüche höher als bei Handbohrhämmern. Sie können aber durch Verwendung von 1" statt 7/8" Bohrstangen reduziert werden.

Das Reihenbohren mit einem Bohrhammer läuft folgendermaßen ab:

Das Trägerfahrzeug fährt an die abzubohrende Reihe heran, und der Querrahmen wird mit den Stützen auf einer Linie ausgerichtet. Die Lafette wird über das erste anzufertigende Loch gesetzt, dann kann der Bohrvorgang durch Absenken mit Hilfe des Kettenvorschubs erfolgen. Ist die Bohrung abgeteuft, wird der Hammer gehoben. Der Schlitten, auf dem sich die Lafette befindet, versetzt diese auf dem Querrahmen um den Seitenabstand weiter, und die nächste Bohrung kann abgebohrt werden.

Mit zwei oder mehr Bohrlafetten, die in einem festen Abstand zueinander angebracht sind, können gleichzeitig mehrere Bohrungen niedergebracht werden. Hier muß dann nach einigen Bohrungen in Abhängigkeit vom Abstand und der Anzahl der Lafetten ein größerer Seitenversatz erfolgen, damit nicht wieder in oder in unmittelbarer Nähe eines mit einem anderen Bohrhammer niedergebrachtes Loches gebohrt wird.
Je nach Gesteinsart, Lagerung und Sägegatter ist eine unterschiedliche Vorgabe, Bohrlochteufe sowie ein Seitenabstand (Abb. 176) zwischen den Bohrlöchern zu wählen. Der Abstand zwischen den beiden Bohrhämmern ist bei den Geräten nicht variabel. Sinnvoll wäre hier eine Vorrichtung, um diesen bei Reihenbohrgeräten variieren zu können.

Reihenbohrgeräte bieten je nach Ausführung den Vorteil, den Querrahmen zu schwenken und auch Horizontalbohrungen durchzuführen.
Hinsichtlich der Länge des Querrahmens gibt es unterschiedliche Auffassungen, die durchaus beide ihre Berechtigung haben:

- lange Querrahmen von über 3 m Länge haben den Vorteil, daß lange Bohrreihen angefertigt werden können, ohne das Bohrgerät umzustellen.
- kurze Querrahmen haben zwar den Nachteil, daß sie schnell umgesetzt werden müssen, sie sind aber zum Zurichten von Rohblöcken besser geeignet. Auch das Anfertigen von horizontalen oder schrägen Bohrungen sowie über Kopf ist einfacher mit kürzeren Rahmen zu bewerkstelligen.

Ein Nachteil der Reihenbohrgeräte ist, daß sie bei kleineren Blöcken bzw. beim Zurichten der Blöcke schlecht einzusetzen sind, insbesondere wenn seitliche Stützen fehlen.
Sind Stützen vorhanden, so sind diese starr, d. h. sie sind weder nach rechts oder links noch "einfach" in der Höhe verstellbar. Es wäre sicher leicht möglich, hier hydraulisch verstellbare Stützen zu montieren. Gelegentlich werden kleine flache Stützen verwendet, spitze Stützen hingegen sorgen auf den unebenen Steinbruchsohlen für bessere Stabilität in horizontaler Richtung.
Beim Zurichten von Blöcken treten insbesondere mit langen Querrahmen Schwierigkeiten auf, da die Stützen zumeist an den Außenkanten des Rahmens angebracht sind und diese häufig nicht enger zueinander verstellt werden können. Die Hydraulik alleine hält, insbesondere wenn die Geräte schon etwas älter sind, den Querrahmen nicht ohne fremde Hilfe, so daß man sich dann der Hilfe eines Radladers zum Abstützen bedienen muß (Abb. 205).

Eine weitere Einschränkung bei den fahrbaren Reihenbohrgeräten ergibt sich durch die Konstruktion des Querrahmens mit den seitlich montierten Stützen. Dadurch reichen die Bohrlafetten nicht nahe genug an eine Steinbruchwand bzw. auch Sohlenkante, so daß hierfür oft der Handbohrhammer zur Hilfe genommen werden muß. So reduziert sich bei einer Schildlänge von 4,5 m die maximale Reihenbohrlänge auf knapp 4 m, bei einer Länge von 3,5 m auf 3,1 m und von 3 m auf 2,2 m.
Bei den Reihenbohrgeräten ohne Trägerfahrzeug ist diese Einschränkung unwesentlich, da hier die Bohrhämmer oft seitlich an der Lafette befestigt sind. An sich sollten keine Schwierigkeiten bestehen, diese Randbereiche auch bei fahrbaren Reihenbohrgeräten zu verringern.

Schlitzbohren

Um mit Bohrgeräten sofort eine durchgehende Lösefläche herzustellen und somit das nachgeschaltete Lösen zu ersparen, versucht man, mit unmittelbar nebeneinander angeordneten Bohrlöchern einen kontinuierlichen Schlitz herzustellen.
Schwierigkeiten treten bei der Herstellung eines durchgehenden Schlitzes durch Bohren dann auf, wenn direkt neben ein gebohrtes Loch ein weiteres gesetzt werden soll, - das Bohrgestänge wird unweigerlich abdriften.
Bei längerem Bohrgestänge ist der Andruck zu reduzieren, um die Gefahr der Auslenkung des Gestänges zu verringern. Aus diesem Grunde muß der Kronendurchmesser größer sein, als bei herkömmlichen Bohrern, da hier die Belastung für die Bohrstangen geringer bleibt [8]. Zu-

nächst werden Pilotbohrlöcher mit einer Kreuzschneide mit Kronendurchmesser von 63 mm und einem Seitenabstand von 114 mm abgebohrt. Das Erweitern der Bohrlochreihe zu einem Schlitz erfolgt durch Aufbohren der Brücken zwischen den Bohrungen. Dabei sorgt eine Führungsstange, die in das bereits abgebohrte Nachbarloch eingeführt wird, mit einem etwas kleineren Durchmesser(61 mm) als das Bohrloch dafür, daß das Gestänge nicht von der Vertikalen abweicht.

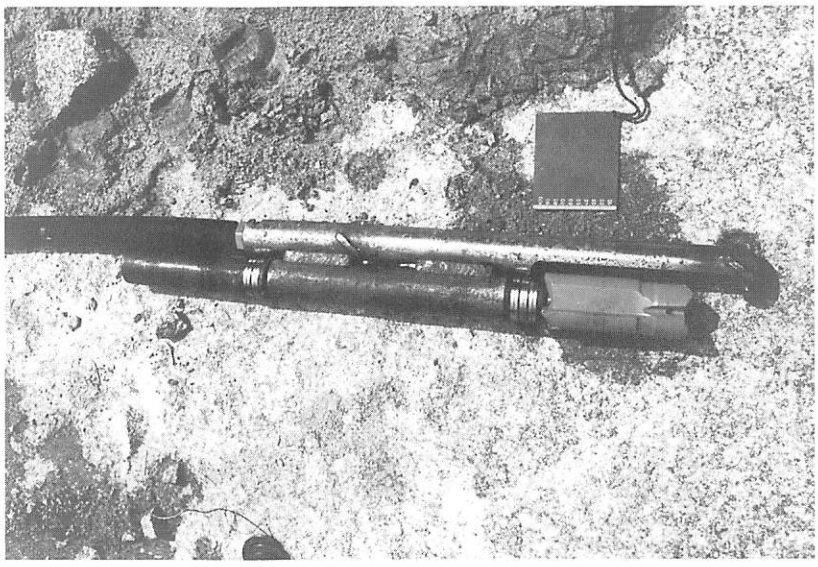


Abb. 180: Bohrkopf und Führungsstange für das Schlitzbohren (Meßplatte = 10 cm breit).

Als Endergebnis bleibt ein Spalt, der auf beiden Seiten eine schwach rippelförmige Oberfläche bildet (Abb. 219).
Auch das Schlitzbohren kann mit Reihenbohrgeräten ohne bzw. mit Trägerfahrzeug durchgeführt werden.
Die Lebensdauer der Bohrkrone im Granit beträgt ca. 200 Bohrmeter. Auf die Schneidleistung wird in Kapitel 8.4 eingegangen.

7.3.2.3 Nachgeschaltetes Lösen

Nach der Herstellung in einer Profillinie verlaufender Bohrlöcher ist zum Trennen des zunächst nur perforierten Blockes das "nachgeschaltete Lösen" erforderlich. Die zwischen den Bohrlöchern stehen gebliebenen Brücken werden durch Spalten zerstört. Durch den Abstand und die Anordnung der Bohrungen ist die Zerstörungsrichtung vorgegeben. Der Lochabstand ist je nach Gesteinseigenschaft zu wählen.
Für den erforderlichen Spaltvorgang kommen Federkeile, Explosivstoffe (Schwarzpulver und Sprengschnur), Expansivzement oder hydraulische Steinspaltgeräte in Frage. Die Eignung von Expansivzement für den Spaltvorgang in Naturwerksteinbrüchen sollte in diesem Zusammenhang speziell überprüft werden.

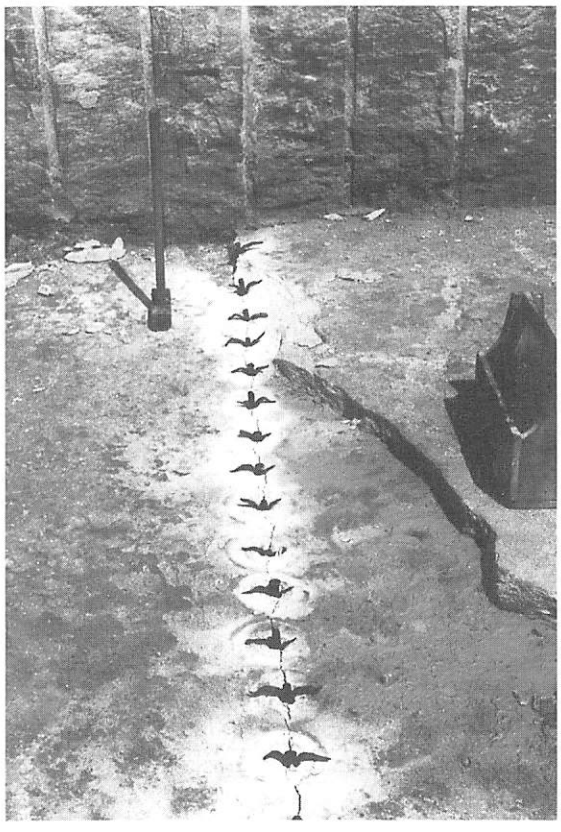


Abb. 181: Eine mit Handbohrhammer abgebohrte Reihe, die anschließend durch Federkeile, die mit einem Vorschlaghammer eingetrieben werden, manuell gespalten wurde.

7.3.2.3.1 Federkeil

Diese rein manuelle Arbeit mit einem Stahlkeil-Treibsatz (2 Federn + 1 Keil) (Abb. 182) ist sicher das derzeit älteste Verfahren, das immer noch sehr häufig angewandt wird. Früher wurde eine ausreichende Sprengkraft bewirkt durch Eintreiben trockener Holzkeile, die anschließend angefeuchtet wurden. Bei Quellen des Holzes entstand ein Druck, der ausreichte, die Blöcke zu trennen. Dieses Verfahren war erheblich zeitraubend.

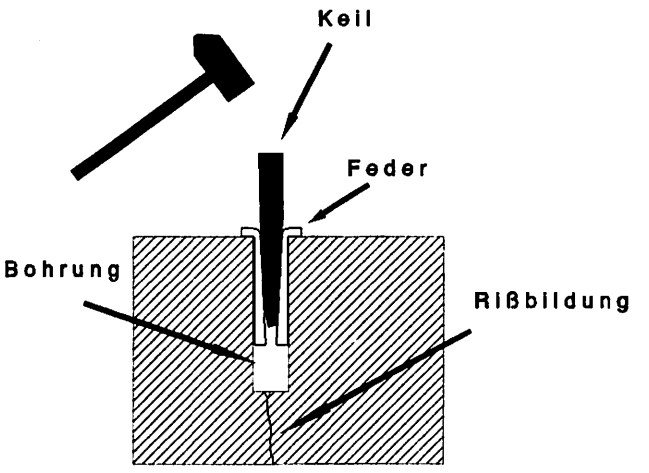


Abb. 182: Schematische Darstellung der Wirkung eines Federkeils mit eintretender Rißbildung, die sich dann durch die parallele Wirkung mehrerer Federkeile in einer Reihe zur Lösefläche ausweitet.

Besonders Granite und verwandte Gesteinsarten weisen eine latente Teilbarkeit auf und lassen sich bevorzugt entlang bestimmter Ebenen spalten. Erfahrene Steinbrucharbeiter haben ein geschultes Auge für solche bevorzugten Richtungen, die nicht immer mit der Gefügeregelung übereinstimmen. Ausführlich wird hierauf in Kapitel 9.3 eingegangen. Sie nutzen diese Flächen aus, indem sie entlang ihrer Linien in mindestens 20 cm tief vorgebohrte Löcher, deren Bohrlochachsen Abstände von 20 - 30 cm aufweisen, Keile hineintreiben. Der Bohrlochabstand ist von der Gesteinsart abhängig. Bei Gesteinen mit bevorzugten Spaltrichtungen reichen kurze Löcher und weite Abstände aus. Hierbei werden die Keile je nach Gesteinsart enger oder weiter gesetzt. Beim Einbringen der Keile ist das möglichst gleichmäßige Antreiben der Keile in allen Bohrlöchern wichtiger als die Anwendung roher Gewalt, damit kontinuierlich eine gleichmäßige Spannung im Gestein erzeugt wird.

Eine Vorrichtung zum automatischen Einschlagen der Keile wäre durchaus denkbar. Hinsichtlich der Durchmesser und Längen der Federkeile gibt es verschiedene Ausführungen (Durchmesser von 22 mm, bei einer Keillänge von 130 mm; bis zu 34 mm bei Keillängen von 350 - 700 mm).
Die Abb. 181 zeigt eine mit Handbohrhammer abgebohrte Reihe im Granit, mit Bohrlochabständen von ca. 25 cm, die anschließend mit Federkeilen per Hand gespalten wurde.

7.3.2.3.2 Hydraulisches Steinspaltgerät

Um das manuelle Eintreiben von Federkeilen zu ersparen, werden hydraulische Steinspaltgeräte benutzt. Vom Prinzip her arbeiten sie ähnlich wie die Federkeile. Das mit einem Hydraulikaggregat verbundene Spaltgerät wird in die Bohrung eingeführt, eine Keillanze wird hydraulisch zwischen die Keilbacken getrieben (wie in Abb. 183 dargestellt) und so der Spaltvorgang entlang der perforierten Profillinie bewirkt.
Die Spaltgeräte arbeiten nicht nur hydraulisch, sondern z. T. auch pneumatisch. Als Antriebsaggregate für die Hochdruckkolbenpumpe dienen Diesel-, Benzin- oder Elektromotoren.
Es wird eine Spaltkraft von ca. 2.000 kN (200 t) erzeugt. Bei Überschreitung der Zugfestigkeit spaltet sich das Gestein.
Der Betrieb mit Druckluft benötigt 2,2 m^3/min Luft bei einem Druck von 6,2 bar.
Der Betriebsdruck von Hydraulikaggregaten beträgt 600 bar und der Spitzendruck für maximal 2 Minuten (was für den Spaltvorgang ausreichend ist) 700 bar (Leistung von 2.000 W und eine Fördermenge von 1,3 - 2,2 l/min).

Die Hydraulikaggregate selbst haben ein Gewicht von nur 30 kg und geringe Abmessungen, so daß diese gut im Steinbruch zu handhaben sind.

Hinsichtlich der Länge der Spaltzylinder gibt es verschiedene Ausführungen. Angeboten werden die Spaltgeräte von der Fa. DARDA und der Fa. BIERI.

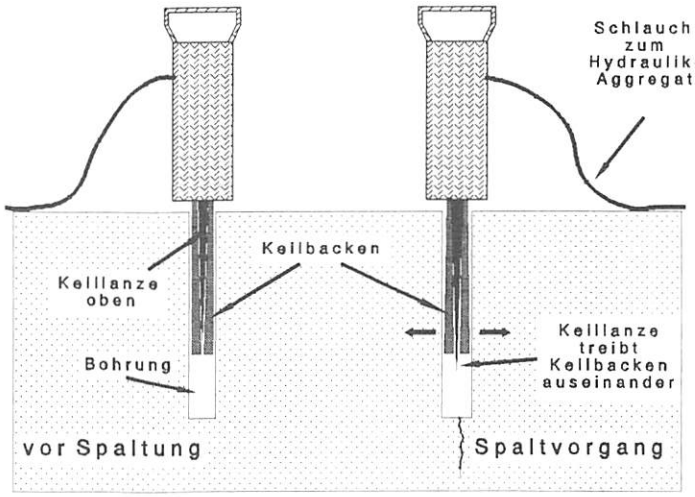


Abb. 183: Arbeitsweise eines hydraulischen Steinspaltgeräts. Die Keilbacken werden in ein Bohrloch eingeführt. Die Spaltung erfolgt, indem eine Keillanze zwischen die Keilbacken getrieben wird und diese auseinanderdrückt.

Während zum nachgeschalteten Lösen mit Explosivstoffen eine hohe Lochtiefe erforderlich ist, kommt man bei Spaltgeräten mit kurzen Keilbacken und bei Federkeilen mit Löchern von 340 mm Tiefe aus. Es wird allerdings ein erweiterter Bohrlochdurchmesser von 45 mm benötigt. Für die dazwischen liegenden, nicht besetzten Bohrungen ist der übliche Durchmesser von 36 - 38 mm ausreichend.

Einige Geräte haben zudem den Vorteil, daß die Keilbacken nicht starr montiert sind, sondern sehr einfach seitlich aus der Führung geschlagen werden können. Dies ermöglicht es, die Keilbakken gegen Erweiterungsbacken auszuwechseln, um die Spaltbreite noch weiter zu erhöhen.



Abb. 184: Links: zwei Arbeiter, die mit Handbohrhämmern Löcher niederbringen. Rechts: 5 in einer Reihe aufgestellte hydraulische Steinspaltgeräte.

Das Gewicht der Spaltgeräte liegt bei 22 kg bei einem ca. 40 cm langen Spaltzylinder. Inzwischen werden verschiedene, meist kleinere und leichter zu handhabende Geräte angeboten, die zum Einsatz in Naturwerksteinbrüchen geeignet sind.

Die Anzahl der einzusetzenden Spaltgeräte ist abhängig von der Gesteinsart. Für die Spaltung von Granitblöcken können zwei pro Meter ausreichen, wobei für weiche Gesteine wie Kalksteine 3 bzw. 5 Spaltgeräte auf ca. 1 m benötigt werden, wie in Abb. 184 dargestellt.

7.3.2.3.3 Explosivstoffe

Beim "Spaltsprengen" zum Trennen einer Profillinie von Bohrlöchern mit Explosivstoff tritt ein Spalteffekt auf, wenn die Vorgabe im Verhältnis zum Seitenabstand (Abb. 176) groß ist und keine Zündverzögerung erfolgt.
In diesem Fall treffen die Wellenfronten der benachbarten Sprenglöcher aufeinander, nachdem sie nur einen Teil der Vorgabe durchlaufen haben.
Die Druckspannungen addieren sich in der axialen Ebene, wodurch eine starke Kompression entsteht. Senkrecht dazu treten durch Addition der beiden Spannungskomponenten starke Zugspannungen auf [171]. Wenn diese die Zugfestigkeit des Gesteins überschreiten, die meist nur $^{1}/_{10}$ der Druckfestigkeit beträgt, dann führt dies zur Spaltbildung in der Ebene der Bohrlöcher. In diesem Moment können die Sprengschwaden entweichen und damit auch keine Auswirkung auf eine weitere Gesteinszerstörung haben.

- Schwarzpulver

In der Naturwerksteingewinnung gibt es den Begriff "Lassensprengen": das Ausnutzen beim Sprengen von mit Lehm gefüllten natürlichen Klüften. Diese werden ausgeräumt und anschließend die Hohlräume mit Sprengstoff (Schwarzpulver) geladen. Jedoch findet dieses Verfahren kaum noch Anwendung.
Die Verwendung von Schwarzpulver birgt gewisse Nachteile. Es ist, da es sich um einen deflagrierenden Sprengstoff handelt, weniger handhabungssicher und nicht in nassen Bohrlöchern einsetzbar. Das erfordert entweder ein zeitraubendes Verschließen unmittelbar nach dem Bohren oder aber Ausblasen der Bohrlöcher vor dem Besatz.

Schwarzpulver wird daher in Naturwerkstein-Steinbruchbetrieben nur noch sehr wenig verwendet, wie beispielsweise in einigen Granitlagerstätten im Bayerischen Wald.
Erfahrene Steinbrucharbeiter sagen, "ein Naturwerksteinblock soll kein Pulver abbekommen, es langt schon, wenn er mal bloß einen Schlag abkriegt".



Abb. 185: Laden der im Abstand von 20 cm gebohrten Sprenglöcher mit 40 g-Sprengschnur im Granit. Die einzelnen Sprengschnüre werden mit einer 12 g-Sprengschnur verbunden.

- Sprengschnur

Die Verwendung von Schwarzpulver geht zu Gunsten von Sprengschnüren zurück. Diese sind gut geeignete Sprengmittel im Naturwerksteinbereich. Die Sprengschnüre haben eine Seele aus Nitropenta, die von einer Kunststoffolie umgeben und mit thermoplastischem Kunststoff ummantelt ist.

Die Sprengschnüre ergeben eine gleichmäßige Verteilung des Sprengstoffes im Bohrloch, sind gut zu handhaben und auch bei nassen Bohrlöchern zu verwenden. Sie haben eine hohe Detonationsgeschwindigkeit (bis zu 6.800 m/sec) und Brisanz (kein Schwadenvolumen), um das Gestein zwischen den zueinander parallel stehenden Bohrlöchern trennen zu können. Wichtig ist auch hier der Bohrlochabstand und der Bohrlochdurchmesser.

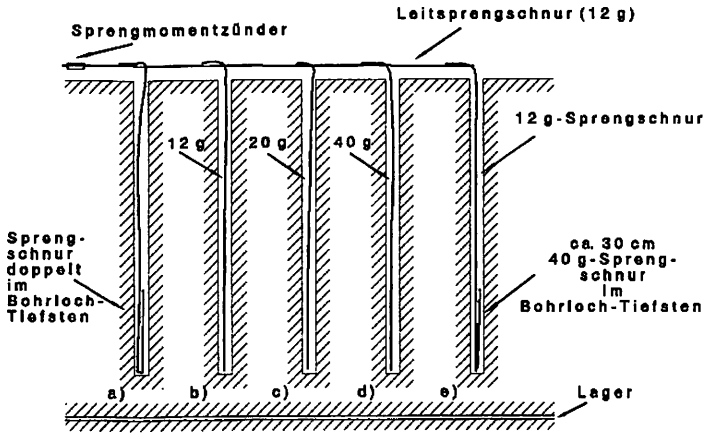


Abb. 186: Ladeschema von Sprengschnüren. Entweder alle Bohrlöcher: a) im Bohrlochtiefsten doppelt; oder b), c), d) Sprengschnur einer Füllmenge; oder e) zusätzl. mit 40 g Schnur (30 cm im Bohrlochtiefsten).

Zum Einsatz kommen je nach Gesteinsart Sprengschnüre mit diversen Füllgewichten (12 g PTN/m, 20 g u. 40 g) und Durchmessern von 5,2 mm, 6,3 mm und 9 mm. Die Ladedichte, das Verhältnis von Bohrlochdurchmesser zu Ladungsdurchmesser, soll klein sein.

Angeliefert werden die Sprengschnüre aufgerollt in Längen von 250 m bzw. 75 m. Dadurch können die Längen je nach Bohrloch und Gestein, aber auch verschiedene Sprengschnüre, frei miteinander kombiniert werden.
Wichtig ist, daß die Zündung in allen Bohrlöchern gleichzeitig stattfindet. Daher erfolgt sie mit einem Sprengmomentzünder (Abb. 186).
Beim Laden der Bohrlöcher ist es wichtig zu beachten, daß der beim Sprengen entstehende Spalt an Leerbohrlöchern vorbeiführen kann. Daher sollten eher etwas weitere Seitenabstände verwendet werden und alle Bohrungen mit Sprengschnüren besetzt werden. Inzwischen wurden für ein optimales Sprengergebnis auch Abstandshalter für Sprengschnüre entwickelt, die ein Anliegen der Schnüre an der Bohrlochwand und damit unkontrollierte Zerstörungen bei der Sprengung vermeiden.

Als Leitsprengschnur wird generell die 12 g-Sprengschnur verwendet. Folgende Ladeschemata sind möglich:

- in weichen Gesteinen, z. B. Kalksteinen, kann die Verwendung von nur 12 g-Sprengschnur durchaus ausreichend sein (Abb. 186, b); evtl. muß diese im Bohrlochtiefsten doppelt gelegt werden (Abb. 186, a).
- Im Sandstein werden im Tiefsten des Bohrloches ca. 30 cm der 40 g-Sprengschnur und der Rest mit 12 g-Sprengschnur geladen (Abb. 186, e).
- Im Granit wird zum Laden der Bohrlöcher Sprengschnur mit 20 g und auch 40 g eingesetzt und 12 g-Sprengschnur als Leitsprengschnur verwendet (Abb. 186, c u. d). Gelegentlich werden die Ladungen im Bohrlochtiefsten verstärkt, entweder durch doppeltes Legen der Sprengschnur oder mit einer Schnur höheren Füllgewichtes.

Der geringste Bohrlochabstand von ca. 15 cm sollte bei Gesteinen wie Marmor liegen, besonders, wenn diese eine grobe Körnung aufweisen. Bei quarzitischen Sandsteinen und Graniten reicht ein Abstand von über 20 cm vollkommen aus. In einigen Steinbrüchen werden sogar Abstände von 30 - 40 cm mit gutem Ergebnis gewählt. Wie schon gesagt, sollte der Abstand

nicht zu gering gewählt werden, um zugleich auch Bohrmeter zu sparen.
Die Abb. 185 zeigt das Laden von Bohrungen im Granit, mit einem Seitenabstand von 20 cm mit 40 g-Sprengschnur. In Abb. 187 ist der abgelöste Block nach dem Sprengen mit Schnur zu sehen.



Abb. 187: Abgelöster Block, der mit einem Reihenbohrgerät perforiert und anschließend mit Schnur gesprengt wurde.

7.3.2.3.4 Expansivzement

Der herkömmliche Expansivzement besteht aus einer Zementmischung, die bei Anrühren mit Wasser und Abbinden stark expandiert und dabei einen Druck von maximal 6.000 t/m^2 auf das Gestein ausüben soll.
Der Bohrlochdurchmesser soll 30 - 55 mm betragen. Für waagerechte Löcher kann Expansivzement in patronierter Form (38 - 44 mm) verwendet werden.
Expansivzement ist ungefährlicher zu handhaben als explosive Sprengmittel. Eine Sprengberechtigung ist nicht notwendig. Vorsicht ist aber vor Verätzungen geboten; daher ist das Tragen von Sicherheitsbrille und Handschuhen erforderlich.
In deutschen Naturwerksteinbrüchen kam Expansivzement bisher nicht zum Einsatz. In Italien wurde er bereits vor einigen Jahren verwendet, hat sich aber nicht durchsetzen können, denn die bisher zur Anwendung kommenden Zemente hatten den Nachteil einer sehr langen Reaktionsdauer von 24 bis zu 36 Stunden [9].
Seit einigen Monaten gibt es ein neues Produkt. Noch vor dessen Erscheinen gab der Hersteller an, daß dieser Typ Super-Bristar 2.000 innerhalb von 10 min wirken solle. Nunmehr nennt man aber eine Verweildauer von 40 min bis 3 Stunden als Reaktionszeit.

Im Rahmen der Untersuchungen zu dieser Arbeit wurde der Expansivzement in einem Wesersandstein-Steinbruch der Fa. Bunk/Bad Karlshafen als Ersatz für Explosivstoffe, Federkeile oder Steinspaltgeräte getestet.
Die Firma E. Dimmler, Sprengstoff-Großhandel, stellte freundlicherweise 10 kg des neuen Expansivzementes SUPER BRISTAR 2.000 M der Onoda Cement Co., Ltd. Japan zur Verfügung. Dieser soll laut Hersteller einen größeren Druck und eine schnellere Reaktionszeit aufweisen, wie in Abb. 188 ersichtlich. Die Reaktionszeit des Expansivzementes ist abhängig von der Außentemperatur und der Materialtemperatur. Der zur Verfügung gestellte Expansivzement war für Temperaturbereiche von 15° C bis 30° C geeignet. Einschränkungen sind daher im Sommer sowie in Ländern mit hohen Temperaturen gegeben.

Das Bohrloch muß wasserfrei gemacht oder ein unten geschlossener Polyethylenschlauch verwendet werden. Die Durchmesser der Bohrungen sollte zwischen 42 - 44 mm liegen bei einer Tiefe von mindestens 70 % des Blockes.

Um die Tauglichkeit für den Einsatz in der Werksteingewinnung zu erproben, wurden Bedingungen angesetzt, wie sie auch für andere nachgeschaltete Gewinnungsverfahren üblich sind. Der

Versuch erfolgte bei einer Außentemperatur von 18° C. Die Wassertemperatur für das Zementgemisch lag bei 15° C.
Der Sandsteinblock (Druckfestigkeit ca. 150 N/mm^2), der für den Versuch ausgewählt wurde, sollte senkrecht zum Lager getrennt werden, so wie es auch bei der Gewinnung aus dem Gesteinsverband unerläßlich ist. Ein Lösen mit dem Lager wäre sicherlich einfacher, würde aber den tatsächlichen Verhältnissen nicht gerecht werden. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Sandsteins liegt nur bei ca. 4 %.
In der Mitte des 2 m^3 großen (1,65 · 1,1 · 1,1 m) Blocks wurden vier 50 cm tiefe Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 35 mm gebohrt (Abb. 189). Der Abstand der Bohrlochachsen betrug 24 - 25 cm. Angesetzt wurden 5 kg Expansivzement mit 1 l Wasser, wobei die vorgeschriebene Zeit zum Mixen von 20 sec kaum eingehalten werden konnte. Diese Mischung muß innerhalb 2 min in alle Bohrlöcher eingefüllt werden, was nicht einfach war, da die entstehende Paste bei dem vorgeschriebenen Mischverhältnis nicht gießbar ist.

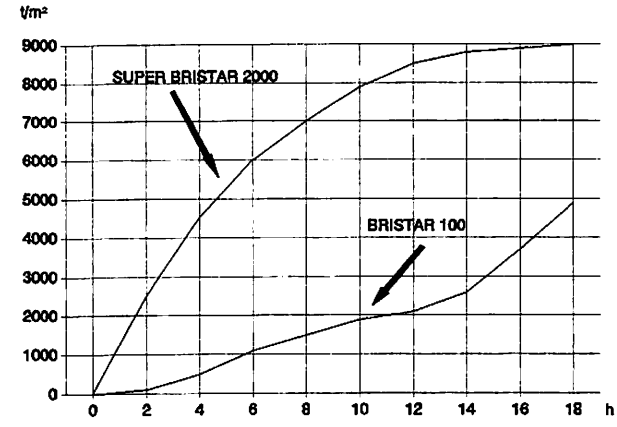


Abb. 188: Druckänderung (in t/m^2) in Abhängigkeit der Zeit (h) beim herkömmlichen Expansivzement 100 und vergleichsweise beim SUPER BRISTAR 2000 (20° C; umgezeichnet nach [33].

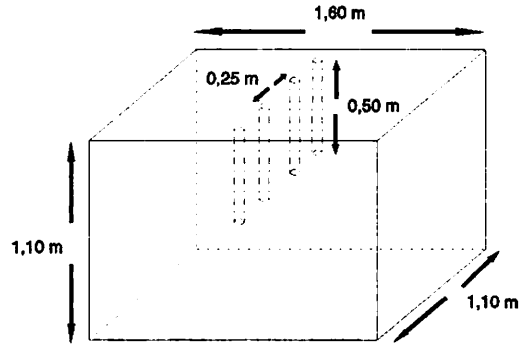


Abb. 189: Darstellung des Rohblocks und der Lage der Bohrlöcher (35 mm ⌀) zur Erprobung des Expansivzementes. Blockober- und Blockunterseite entsprechen den Lagern.

Nach über 6 Stunden traten noch keine Risse auf, daher wurde der Block von der Seite mit Federkeilen gespalten, so daß die mit Expansivzement versetzten Bohrungen sichtbar wurden. Sie waren komplett gefüllt, jedoch konnten noch keinerlei von den Bohrungen ausgehende Risse gesichtet werden.
Mit anderen Sandsteinen, die eine meist höhere Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, wird keine verbesserte Wirkung auftreten können.
Selbst wenn der Versuch erfolgreich gewesen wäre, so würde sich, von der Reaktionsdauer abgesehen, der Zeitaufwand zum Mischen und Einfüllen des Expansivzementes weitaus intensiver gestalten als das Eintreiben von Federkeilen.

Ein weiterer Versuch wurde mit den vorgeschriebenen Bohrungs-Durchmessern (43 mm) und -Tiefen (70 % der Blockdicke von 43 cm) durchgeführt. Die 4 Bohrungen hatten einen Seitenabstand von 17 - 18 cm (Blockbreite 95 cm). Aber auch bei diesem Versuch trat innerhalb von 3 Stunden keinerlei Rißbildung ein. Der Block wurde nach 3 h 35 min nicht mehr weiter beobachtet. Die irgendwann später eintretende Rißbildung verlief aber durch alle 4 Bohrungsachsen, in der gewünschten Spaltebene.

7.3.3 Schrämmaschine

Grundlegende Experimente mit Schrämmaschinen in Hartgesteinen (hier vorwiegend Karbonatgesteine) führte anfänglich die Firma Perrier (Frankreich) durch. Diese Kettensägen wurden dann in Kalksteinbrüchen in Belgien und Frankreich eingesetzt. In italienischen Kalkstein- und Travertinsteinbrüchen traten Schwierigkeiten durch das ständige Nachschärfen der Schneidelemente auf. Auch die Kühlung bereitete einige Probleme, da damals hierfür noch eine Öl-Wasser-Emulsion verwendet wurde, die sich negativ auf die Qualität des Gesteins auswirkte und die Kosten in die Höhe trieb. Auch die erheblichen Instandsetzungs- und Wartungszeiten machten die Maschine für einen sinnvollen Einsatz im Steinbruch nicht attraktiv.
Erst ab 1970 konnten mit Schrämmaschinen (Fa. Korfmann) in Italien zufriedenstellendere Ergebnisse erzielt werden, und somit erstmals eine Alternative bzw. Ergänzung für die Seilsägen, Sprengstoff und andere Gewinnungsverfahren bilden.
Später baute auch die italienische Firma Fantini (Tivoli-Rom) ähnliche Maschinen. Heute stellen außerdem die Firmen Bisso (Italien), Meyers Co. (USA) und Perrier (Frankreich) Schrämmaschinen her.

Das Schneiden erfolgt durch eine mit Hartmetall besetzte umlaufende Kette, die aus einer Serie von modularen Gliedern besteht. Die quadratischen Schneidelemente sind aus Wolframkarbid, welche gleichzeitig zum Abtransport des Geschnittenen dienen. Sie sind mit normalen Sechskantschrauben auf dem Träger montiert. Man geht davon aus, daß die mittlere Abnutzungsrate bei 112 Schneidelementen bei ca. 0,3 g Widia pro Quadratmeter liegt [24]. Verschleiß tritt nur an einer Ecke der Plakette auf. Diese wird bei Abnutzung einer Kante um 90 Grad versetzt und braucht erst bei Abnutzung aller vier Schneidkanten erneuert zu werden.
Jeweils sechs Schneidelemente mit z. T. 1 oder 2 Schneidplaketten bilden eine Serie, wobei vom Beginn einer Serie mit schmalen Schnitt dieser zum 6. Schneidelement immer breiter wird. Hier beträgt die Schnittbreite dann ca. 4 cm. Für das Kühlen der Schneidplaketten werden pro Tag mindestens 5 m^3 Wasser benötigt. Die Lebensdauer der Schneidelemente ist abhängig von der Gesteinsart, der Geschwindigkeit sowie dem Maschinenvortrieb. Die Kettengeschwindigkeit liegt zwischen 0,4 - 1,4 m/sec. Die Vorschubgeschwindigkeit der Schrämmaschine ist hydraulisch stufenlos von 2 - 10 cm/min regulierbar.

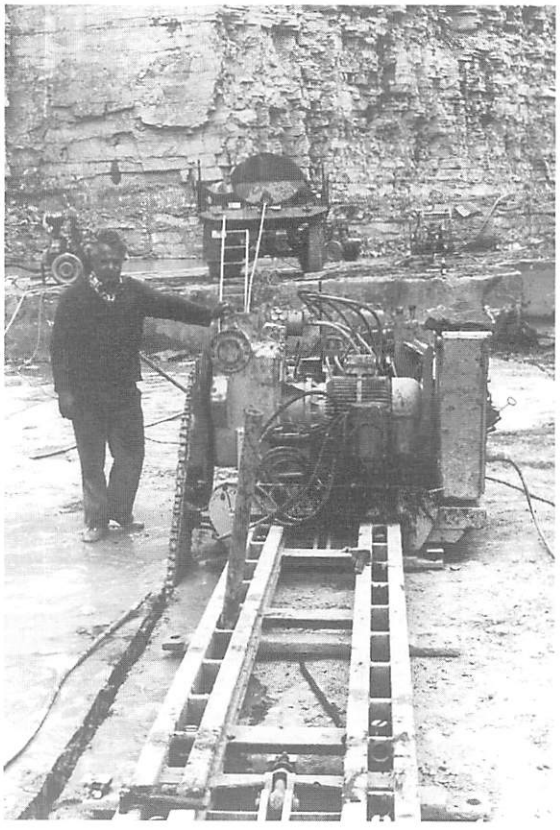


Abb. 190: Schrämmaschine in einem Kalksteinbruch.

Auf dem Maschinenrahmen montiert sind eine elektro-hydraulische Ausrüstung für den Kettenantrieb, eine für den Kolbenmotor, der den Arm schwenkt sowie eine für den Kolbenmotor, der den Wagen bewegt. Weiterhin ist eine Schmierfettpumpe vorhanden.
Der Arbeitsablauf ist folgender: Zunächst werden die jeweils 3 m langen Schienenelemente hintereinander ausgelegt und miteinander verbunden. Für die Verankerung sind Ankerlöcher mit 38 mm Durchmesser erforderlich. Anschließend muß die Maschine auf die Schienen gehoben werden. Das Senken des Schwertes erfolgt bei den großen Maschinen hydraulisch, bei den kleinen mit Flaschenzug per Hand. In Abb. 191 wird ersichtlich, wie die Schrämmaschi-

ne an der Sohlenkante mit dem Schrämen beginnt. Der Maschinenrahmen wird langsam in die mit dem Pfeil angezeigte Richtung mit Kufen auf dem Strebfördermittel geführt.

Die Leistungsdaten sind je nach Modell unterschiedlich. Die Schneidarmlängen der in Europa hergestellten Schrämmaschinen betragen zumeist 2,5 m bis 4 m (Fa. Fantini). Die Firma Korfmann bietet im wesentlichen folgende Schrämmaschinen an:

1) Modell "ST 30 VH" Antriebsleistung 22 kW, max. Schnittiefe 2,0 m;
2) Modell "ST 50" Antriebsleistung 45 kW, max. Schnittiefe 3,0 m;
3) Modell für Tuffstein mit speziellen Schneidelementen.

Für das Schneiden von "schwierigeren" Marmorsorten soll derzeit von den italienischen Diamantwerkzeugherstellern eine Schrämmaschine mit diamantbesetzten Schneidelementen entwickelt werden, die die herkömmliche Kettenmaschine (mit Auflagen in Widiametall oder Wolframkarbid) ersetzen soll [185]. Vorteile der neuen Kette mit Diamanteinsätzen sollen sein:
- größere Schneidgeschwindigkeiten aller Materialien sowie
- Wegfall des Nachschleifens.

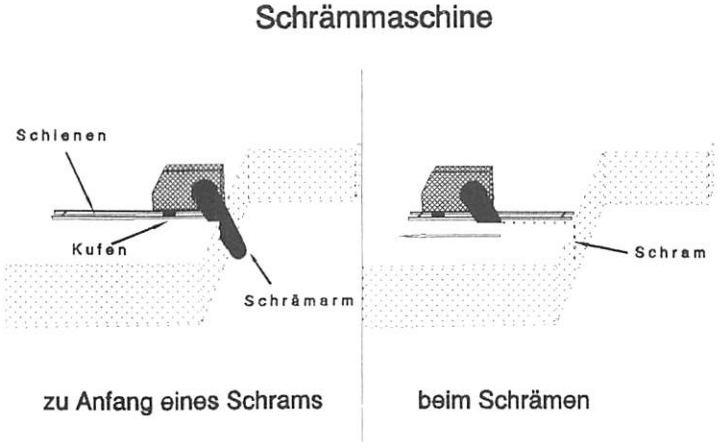


Abb. 191: Arbeitsweise einer Schrämmaschine.

In den USA werden derzeit schon Schrämmaschinen mit einem diamantbesetzten Gurt von der Firma MEYERS hergestellt. Die Maschinen haben eine Leistung von
37 kW bei Schrämarmlängen von 1,8 - 4 m bzw.
52 kW bei 3 - 4,8 m Schrämarmlänge (vgl. a.[124]).

Für den Einsatz einer Schrämmaschine sollte eine große Arbeitsfläche von mindestens 15 m · 6 m zur Verfügung stehen, so daß nach einmaligem Einrichten der Maschine ca. 30 m^2 Lösefläche geschnitten werden können. Um das Auslegen und Ausrichten der Schienen zu erleichtern, sollte die Sohle eine möglichst glatte Oberfläche aufweisen.
Die Mobilität der Schrämmaschine ist von der Bauart bedingt eingeschränkt. Die kleine Maschine für das Schrämen im Tuffstein wiegt 1,8 t. Andere Typen haben ein Gewicht zwischen 2,5 und 5,3 t.
Für das Umsetzen der Maschine und der Schienenelemente sind ein Kran oder ein Radlader notwendig. Schwierigkeiten mit der Handhabung ergeben sich vornehmlich bei steilen morphologischen Verhältnissen in einem Steinbruch mit mehreren Abbausohlen, zumal wenn kein Kran zur Verfügung steht.
Aus Stabilitätsgründen und zum geeigneten Führungslauf der Maschine auf den Schienen müssen diese entsprechend verankert werden. Sinnvoll wäre es, wenn die Maschine selbst mobil wäre. Sie müßte mit einem Fahrgestell ausgerüstet sein, sollte die Schienen auslegen, die Räder hochfahren und sich in Betrieb setzen können. Hierdurch würde aber der maschinelle Aufwand noch komplizierter.
Bei Marmorarten mit unterschiedlichen Farbnuancen ist es wichtig, Blöcke gleichen Dekors zu gewinnen. Durch die baubedingte Schnittiefe kann die Blockauswahl nicht genügend variiert werden. Bei in bezug auf Farbe und Klüftung homogenen Lagerstätten ist der Einsatz von Schrämmaschinen in Kalksteinen, Tuffsteinen und Travertinen auf alle Fälle sinnvoll. Zumal sich

die Maschinen durch hohe Lebensdauer (z. T. über 20 Jahre) und Zuverlässigkeit auszeichnet und die Hersteller einen zuverlässigen und schnellen Wartungs- und Reparaturservice bieten.

Eine wichtige Voraussetzung jedes Gewinnungsverfahrens im Naturwerksteinbereich sollte die Anpassung an die jeweiligen Raumlagen der Klüfte sein. Da diese nicht immer nur horizontal oder vertikal liegen, wäre es vorteilhaft, wenn eine Schrämmaschine auch schräge Schnitte ausführen könnte.

7.3.4 Seilsägeverfahren

Schon in der Antike wurde für das Trennen von Blöcken das Sägeverfahren verwendet, wobei Sägeblätter die Funktion der heutigen Drahtseile übernahmen. Mit dem Aufkommen der Seilsägen verringerte sich der in den letzten Jahrhunderten übliche Sprengstoffeinsatz - und damit die anfallende Menge an Bruchmaterial ganz erheblich.
Das Drahtseilsägeverfahren beruht auf einem belgischen Patent von 1854. Diese ersten Seilsägen wurden noch von Dampfmaschinen angetrieben, die später durch Verbrennungs- und Elektromotoren ersetzt wurden.
Das zunächst verwendete Seil bestand aus drei verdrillten Drähten mit einem Durchmesser von 4 - 6 mm. Zum Schneiden wurde Abrasivmittel an mehreren Stellen von oben in den Schnitt zugegeben. In den Furchen zwischen den Drähten konnte sich dann die auf das Seil rieselnde Wasser-Quarz-Mischung ansammeln. Der Quarzsand wurde anschließend wieder gewaschen, so daß ca. die Hälfte des aufgegebenen Sandes wieder zurückgewonnen werden konnte. Der Reibungskoeffizient des Quarz-Wasser-Gemisches wurde durch die mineralogische Eigenschaft der Quarzsandkörner und der Kornfraktion beeinflußt. Zu kleine Körner sowie zu große beeinflußten das Schneidergebnis negativ. Die maximal erreichbare Netto-Schneidleistung lag bei 2,65 m^2/h.

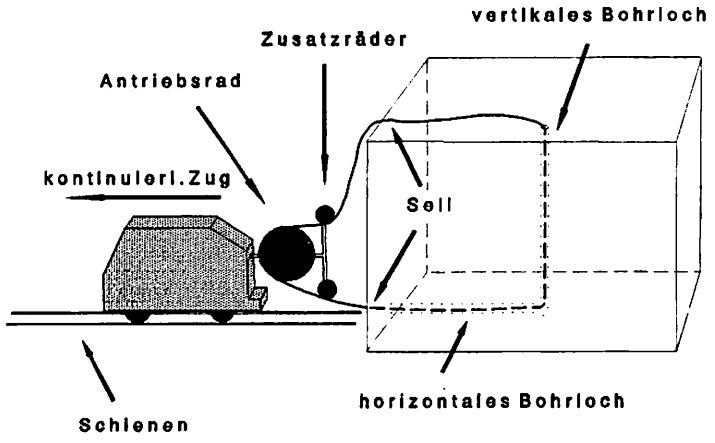


Abb. 192: Schematische Darstellung der Arbeitsweise beim Seilsägeverfahren.

Bei Verwendung von Karborundum als Abrasivmittel traten Schwierigkeiten bei der Rückgewinnung auf. In einigen Granitsteinbrüchen (USA) konnten dennoch mit 15 kg/m^2 Karborundum Netto-Schneidleistungen bis maximal 3 m^2/h erzielt werden [1].
Die Länge des Seiles betrug etliche hundert, gegebenfalls auch bis zu zweitausend Meter, um eine komplette Abkühlung zu gewährleisten. Damit war der Steinbruch über mehrere Umlenkrollen quasi "verdrahtet". Die Unfallgefahr war folglich, insbesondere bei Seilbruch, ausgesprochen hoch.

Der Aufwand für das alte Verfahren war enorm, da etliche Rollen, auf verschieden orientierten Achsen montiert, im Fels zu verankern waren. In den letzten 10 Jahren kommt zunehmend das Diamantseilverfahren zum Einsatz, besonders in Marmor und Travertin.
Die Seilsägen werden folgendermaßen eingesetzt:



Abb. 193: Seilsäge beim Zurichten eines großen Dolomitmarmorblocks.

Zunächst wird die horizontal Bohrung angefertigt. Anschließend kann über das eingerichtete Bohrgerät mit einer langen Schnur und Senkeln die Richtung für die Vertikalbohrung gepeilt werden. Die Bohrungen werden meist mit einem Druckluftbohrgerät bis zu maximal 20 m Tiefe abgeteuft. Bei Längen über 12 Meter treten Probleme durch die mögliche Deviation des Bohrloches auf.
Nachdem die Bohrlöcher sich gekreuzt haben, ist das Seil durchzuziehen. Dies erfolgt, indem das Seil durch das vertikale Bohrloch heruntergelassen wird und man durch die horizontale Bohrung mit einer langen, vorne mit einer Klemme besetzten Stange das Seil greift und durchzieht. Eine andere Möglichkeit ist die, daß in die Vertikalbohrung eine Schnur mit einem festgebundenen Plastikstück eingelassen wird und dieses dann mit Druckluft durch die Bohrungen gepreßt wird, bis es aus der Horizontalbohrung austritt. Mit der so durchgezogenen Schnur ist es nun möglich, das 50 - 60 m lange Sägeseil durch die Bohrungen zu ziehen. Anschließend muß das Seil mit Verbindungselementen zu einem geschlossenen Kreislauf verbunden werden.

Wichtig beim Anlauf des Seiles ist, daß dieser kontinuierlich sowie ruckfrei vor sich geht. Die heutigen elektrischen Anlagen haben 29 - 40 kW Motoren; die Dieselversion arbeitet mit einem 59 kW Motor, der mit einem Drehmomentwandler ausgerüstet ist. Während des Schneidens wird die Schneidmaschine graduell versetzt, um einen beständigen Zug auf das Seil und damit konstante Reibung zu gewährleisten. Der Zug zum Straffhalten des Seiles variiert zwischen 0 - 250 kg, was durch einen 0,4 - 1,5 kW Motor mit einstellbarer Geschwindigkeit geschieht. Die Vorschubbewegung wird über Zahnstangentrieb auf die Schienen übertragen. Die Antriebsrolle wird beim Anfahren sanft beschleunigt, um die dynamische Beanspruchung des Seiles gering zu halten. Hier hat sich gezeigt, daß elektrische im Gegensatz zu dieselangetriebenen Seilsägen ein ruckfreies Umschalten in höhere Umdrehungen ermöglichen. Die Zusatzräder vorne an der Seilsäge dienen als Führungsrollen, um die Schwingungen des Seiles zu minimieren und gleichzeitig für guten Kontakt auf dem Antriebsrad zu sorgen (Abb. 192). Der Durchmesser des Antriebrades liegt bei ca. 1.200 mm, bei den Zusatzrädern bei 400 mm. Die Stellung des Antriebrades kann um 360° rotiert werden, so daß auch schräge oder horizontale Schnitte angelegt werden können.

Die Seilgeschwindigkeit elektrisch angetriebener Seilsägen kann bei den derzeit angebotenen Modellen zwischen 15 - 40 m/sec stufenlos geregelt werden. Der Regelbereich von Seilsägen mit Dieselantrieb liegt hingegen nur zwischen 20 - 30 m/sec [46]. Bei elektrischer Energieversorgung und zur leichteren Handhabung beim Umsetzen der Maschine sollten elektrisch angetriebene Maschinen bevorzugt werden, zumal diese um ca. eine halbe Tonne leichter sind und geringere Ausmaße haben.
Bei den ersten Seilsägen lag die lineare Geschwindigkeit des Seiles noch bei 5 m/sec, heute bei den modernen Anlagen bis zu 45 m/sec. Die Schnittgeschwindigkeiten liegen zwischen

8 - 16 m^2/h ohne Nebenzeiten. Bei Drahtbruch und Einklemmen des Seiles werden Vorschub und Seilantrieb automatisch gestoppt.
Die Seilsäge ist nicht für kleine Schnitte geeignet, da das Umsetzen und Einrichten der Maschine mit den Schienen und das Anfertigen der Bohrungen sehr zeitaufwendig ist. Für große Schnittflächen ist die Seilsäge hingegen gut geeignet. Der Vorteil der Seilsäge gegenüber allen anderen Gewinnungsverfahren ist, anschließend eine große glatte Fläche zu haben, die in Augenschein genommen werden kann und es ermöglicht, das anstehende Gestein intensiv hinsichtlich auftretender Stiche zu mustern oder aber um Bereiche unterschiedlicher Farbvarietäten auszumachen.
In Deutschland sind Seilsägen im Granit (Bayerischer Wald), im Trachyt, im Schilfsandstein in Maulbronn sowie im Kalkstein in Gauingen (Handelsname: Gauinger Travertin) im Einsatz.

Seilkonstruktion

Die ersten diamantbestückten Stahlseile wurden 1965 hergestellt (Fa. Diamant Boart). Das Seil war aber nur von geringer Lebensdauer und zerriß oft. Die Firma W. F. MEYERS, Bedford/USA patentierte 1976 ein Verfahren mit auf dem Seil aufgefädelten Schneidelementen. Diese Manschetten mit einem Durchmesser von 12 - 14 mm bei einer Länge von 8 mm waren die Träger aufgesinterter Diamanten. Auf dem Seil werden sie durch feste Manschetten aus eingespritzter Polyurethanplastik voneinander getrennt. Die diamantbesetzten Elemente wurden nach dem Aufziehen auf das Stahlseil mit einem Spleiß gesichert [4].

Seit Beginn der 80 er Jahre gibt es zwei technisch bedeutende Neuerungen: die Diamanten werden galvanisch aufgetragen, und es wird mit wesentlich kürzerem Seil als Schlinge geschnitten (s. Abb. 192) [4].

Das **Stahlkabel**, auf dem die zylindrischen Trägerhülsen mit Schneidbelag aufgebracht sind, hat einen Durchmesser von 4 - 5 mm. Generell besteht das Seil aus sieben verdrillten Litzen, die ihrerseits aus sieben verdrillten Drähten bestehen. Das Inox-Kabel hält einer Zugkraft von ca. 18 MN stand. Gewöhnlich wird ein Seil mit einer Länge von 50 - 60 m eingesetzt.

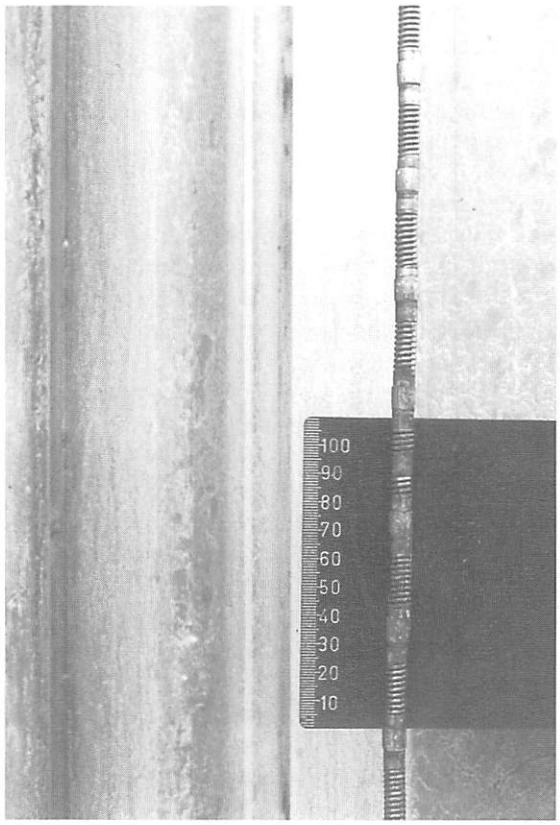


Abb. 194: Diamantseil, wie es für Marmor und Kalksteine zum Einsatz kommt. Die Abbildung zeigt die Schneidstücke und die Stahlfedern. 2 cm unterhalb der oberen Meßplattenkante (Maßstab in mm) ist ein Verbindungsstück zu sehen.

Die **Schneidelemente** bestehen aus Stahlzylindern, die außen mit Diamanten besetzt sind (Außendurchmesser 9 - 12 mm). Die Zylinderlänge beträgt 8 - 10 mm. Davon sind 6,5 mm mit Diamanten besetzt.
Es gibt zwei Arten von "Diamantperlchen", die auf Draht angebracht werden können: die mit galvanisiertem Diamanten und die gesinterten. Letztere haben normalerweise eine größere Lebensdauer und ermöglichen gleichbleibende Schneidgeschwindigkeiten für die gesamte Laufzeit [185]. Für den Einsatz in Gneisen und Graniten kommen gesinterte Diamanten mit ca.

32 - 37 Schneidelementen/m zum Einsatz. In leicht sägbarem Gestein werden weniger Schneidelemente auf dem laufenden Meter benötigt. So verwendet man beispielsweise im Diorit 33 pro Seilmeter.



Abb. 195: Verbindung zweier Seilenden mit Hilfe einer hydraulischen Presse.

Die zwischen den Schneidelementen angebrachten **Distanzstücke** sitzen fest oder beweglich auf dem Trägerseil. Ihre Aufgabe ist es, das axiale Verschieben zu verhindern, jedoch die Rotation der Schneidelemente um ihre Achse zu erlauben, die eine gleichmäßige Abnutzung gewährleistet. Feste Distanzstücke verhindern das Gleiten der Schneidelemente vom Seil bei Seilbruch. Die Zwischenräume der Schneidelemente werden für weiche Gesteine mit Federn, für abrasive Gesteine wie Granit, Gneis und Sandstein auch mit dazwischenliegenden Kunststoffstücken besetzt, die den Verschleiß am Seil reduzieren.
Um einen einwandfreien gleichmäßigen Verschleiß der Diamanten zu gewährleisten, wird das Seil mit einem Vordrall versehen.

Das Seil wird bei einem Seilriß, nach Aussortieren abgenutzter Schneidelemente oder noch Ziehen des Seiles durch die Führungsbohrungen mit **Verbindungsstücken** zusammengefügt. Meist werden die Drahtenden mittels Hülsen verbunden, die durch hydraulische Pressen festgeklemmt werden (Abb. 195).

Die Abb. 194 zeigt die Konfiguration eines Diamantseiles, wie es im Marmor zum Schneiden verwendet wird:

- feststehendes Schneidstück, Durchmesser 10 mm, Länge 8,5 mm, diamantbesetzte Länge 6,5 mm;
- Stahlfeder, Durchmesser 7 mm, Länge 38 mm;
- Verbindungsstück (ca. 2 cm unter Oberkante der Meßplatte).

Beim Seilsägen ist es üblich, die Standzeit des Seiles auf seine Schneidleistung im Gestein (pro m^2) und zugleich auf seine Länge (m) zu beziehen. Die Lebensdauer der Seile liegt bei maximal 20 m^2 pro Seilmeter, d. h. es können 1.000 - 1.200 m^2 mit einem 50 - 60 m langem Seil geschnitten werden. Problematisch sind die Seilrisse von durchschnittlich 1 - 2 mal pro 100 m^2 Schnittfläche [40]. Hier sind also dringend Verbesserungen notwendig.
Inhomogenitäten sowie in den Schneidschlitz einfallende Gesteinsstücke oder Gebirgsspannungen können rasch zum Reißen des Seiles führen. Horizontale Schnitte sollten immer vor Anlage der vertikalen Schnitte angesetzt werden, um ein Festklemmen des Seiles durch herunterbrechendes Gestein zu vermeiden.

7.3.4.1 Blockabschieber

Die Seilsäge erzeugt als schmalen Schlitz eine durchgehende "Lösefläche", die kein nachgeschaltetes Lösen erfordert. Um aber den so gelösten Block aus dem Verband herauszuschieben, damit er entweder weiterbearbeitet oder aber ein Seil um ihn gelegt werden kann, bereitet der schmale Schnitt Schwierigkeiten. In diesem Fall bedient man sich in einigen Steinbrüchen pneumatischer Blockabschieber. Das sind aus einer speziellen Kunststoffmischung angefertigte flache Kissen, die in die nur 12 - 15 mm schmale Lösefuge geschoben werden. Anschließend schiebt das Kissen, das mit Druckluft von 6 - 7 bar gefüllt wird, den Block ab (Abb. 196).

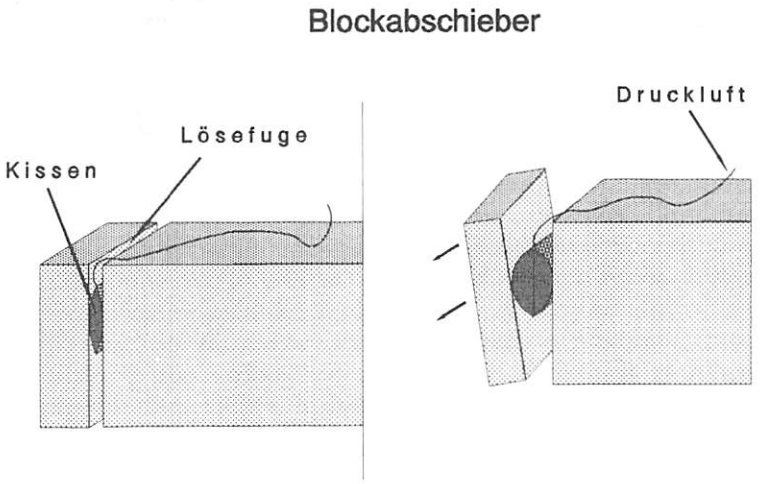


Abb. 196: Pneumatischer Blockabschieber zum Abschieben eines gesägten Blockes.

In Italien gibt es auch Blockabschieber mit nur 2 mm Stärke, die mit Wasser statt mit Druckluft arbeiten.

7.3.5 Flammenschneidverfahren

Nichtbrennende Gesteine durch einen Flammenstrahl zu schneiden, galt früher als Utopie. Die Wirkung des Flammenschneidverfahrens beruht auf der starken thermischen Ausdehnung bestimmter Minerale, insbesondere des Quarzes. Dieser dehnt sich viermal stärker aus als beispielsweise Feldspäte. Bei Hitze wechselt der Quarz von seiner Niedrigtemperaturmodifikation zu seiner Hochtemperaturmodifikation, so daß er bei ca. 500° C einen Druck von 1.000 bar bis 2.500 bar auf die umliegenden Minerale ausübt und damit das Gefüge zerstört.

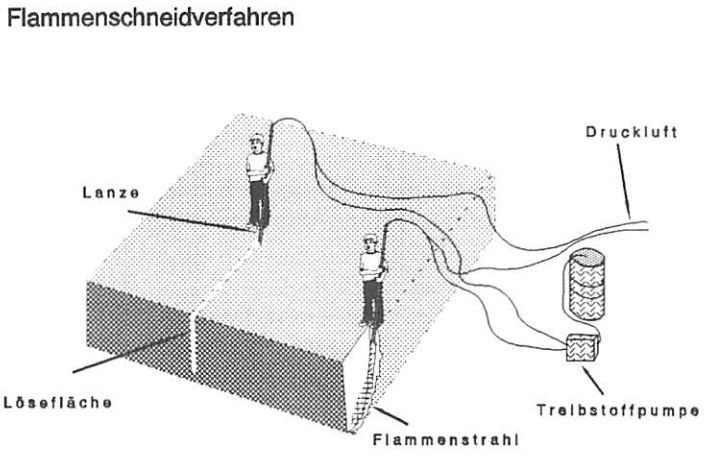


Abb. 197: Schematische Darstellung der Arbeitsweise mit dem Flammenschneidverfahren.

Dieses Verfahren eignet sich für Granite, da diese ca. 20 - 60 Vol. % Quarz enthalten. Die ersten Flammenschneidverfahren wurden zunächst in der UdSSR und in Frankreich 1960 experimentell eingesetzt, später vor allem in Skandinavien. Früher wurde mit Kerosin und Sauerstoff gearbeitet, heute mit Dieselkraftstoff und Druckluft.

Die Anlage besteht aus einem Lötrohr, d. h. einem Schweißbrenner mit Düse, um den Brennstoff zu zerstäuben und mit der Luft zu mischen, ferner einem Druckluftkompressor, flexiblen Schläuchen und einer zusätzlichen Sauerstoffflasche.
Die Flamme tritt mit 1.300 m/sec und einer maximalen Temperatur von 2.000° C aus [5]. Der Sauerstoff dient als Zündhilfe. Benötigt werden beim Schneiden 4 - 8 m^3/min Druckluft bei 7 bar. Dieseltreibstoff werden pro Stunde ca. 80 l benötigt. Die durchschnittliche Lebensdauer der Düse beträgt 700 - 1.000 Arbeitsstunden. Die Schnitte können gewöhnlich bis zu 5 m Tiefe reichen. Bei konstantem Druck und einem effizienten Kühlungssystem kann bis zu maximal 20 m tief in Granit geschnitten werden [5]. Der Brennerdurchmesser ist noch sehr groß (zumeist 77 mm), dadurch sind auch die Schnitte sehr breit. Andererseits ist es mit keiner anderen Gewinnungsmethode möglich, gezielt ca. 10 cm breite und bis zu 15 m tiefe Schnitte anzulegen, die zur Spannungsentlastung dienen oder die Gewinnung sehr groß dimensionierter Blöcke ermöglichen.



Abb. 198: Flammenschneidsystem im Einsatz. Zu sehen ist ein Arbeiter mit der Schneidlanze.

Die Arbeit mit der Schneidlanze ist anstrengend und es entsteht eine hohe akustische und thermische Belastung. Daher muß der Mann, der die Lanze bedient, nach jeweils 15 Minuten abgelöst werden, so daß mindestens 2 Mann Bedienungspersonal erforderlich sind. Hier könnte ein Trägergestell Verbesserung bringen. Dieses müßte so konstruiert sein, daß es über dem zu schneidenden Schlitz mobil ist und die Lanze dabei abgesenkt wird.

7.3.6 Wasserschneidverfahren

Wasser hat bereits allein (langfristig) eine erodierende Wirkung auf Gesteine. Diese verstärkt sich durch abrasiv-wirkende Feststoffteilchen, wie das z. B. bei Flüssen beobachtet werden kann. Unter hohem Druck und gebündelt kann das Wasser sogar eine gerichtete schneidende Wirkung haben.
Die ursprünglichen Ansätze amerikanischer Firmen, ein Abrasiv-Wasserschneidverfahren für die Naturwerksteinindustrie in Europa einzuführen, waren nicht erfolgreich. Dabei wurde mit geringer Wassermenge, sehr hohen Drücken (bis 4.000 bar) und mit Zusatz von Granat (2 kg/min = 120 kg/h) geschnitten. Bei der Bearbeitung von Naturwerksteinen werden zwar auch Abrasiv-Wasserschneidverfahren verwendet, hier werden aber nur Schnittflächen von Tiefen bis zu 5 cm hergestellt. Die Standzeiten der Schneiddüsen sind durch die Zusätze entsprechend niedrig.

Inzwischen beginnt sich eine Art des Wasserschneidens durchzusetzen, welche ohne Abrasiva auskommt, dafür aber mehr Wasser benötigt. Die Elberton Granite Association in Georgia, USA hat in Graniten bereits vor längerer Zeit ein derartiges Wasserschneidverfahren erprobt. Das Schneiden von Granit im Steinbruch war möglich, aber der experimentelle Prototyp erwies sich

als zu komplex für normale Steinbruchabläufe [64]. Das Projekt wurde daher wieder eingestellt.

In den Vogesen hat die Fa. LOEGEL zunächst für den eigenen Steinbruch zum Lösen von Buntsandstein ein Verfahren entwickelt, das zunehmend auch anderswo in Europa zum Einsatz kommt, so in der Bretagne für Granit und jüngst für Sandstein in der Pfalz. Auch in Colorado/USA wird im Granit seit einiger Zeit wieder mit Wasser geschnitten.

Das Wasser wird mit einem Druck von 800 - 2.000 bar durch feine Düsen am Schneidkopf gepreßt. Der Düsendurchmesser (0,25 - 0,40 mm) richtet sich nach dem Schneidkopf und dem zur Verfügung stehenden Druck. Das Profil der Düsen ist so angelegt, daß der Wasserstrahl rotierend die Düsen verläßt (Austrittsgeschwindigkeit 2.500 - 3.100 km/h, Austrittsdruck > 2.500 bar).
Die Leistung der Dieselaggregate beträgt bei der kleinen Maschine für den Sandstein 200 kW (ca. 35 - 40 l/h Treibstoff), bei der großen Maschine im Granit 330 kW.
Die große Anlage benötigt weniger Wasser (80 l/min), dafür mehr Druck (1.800 - 2.000 bar); die kleine 120 l/min mit 1.160 bar.

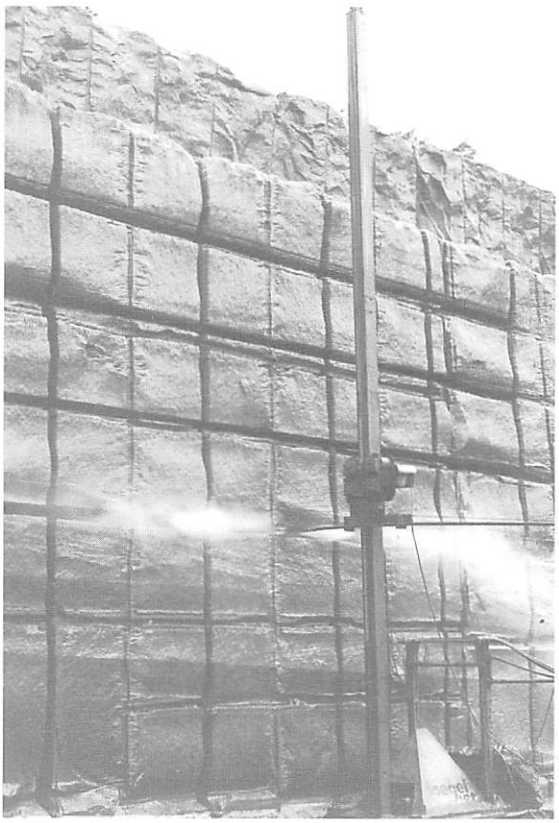


Abb. 199: Wasserschneidverfahren beim Einsatz im Sandstein.

Die Anlage ist zur Zeit noch die teuerste, die in Naturwerksteinbrüchen eingesetzt wird. Sie besteht aus einem Aggregat mit Motor, Pumpe und Treibstofftank, welches sehr voluminös ist und 6,5 t wiegt. Weiterhin aus einem Wassertank, einem Hochdruckschlauch sowie dem 1,5 t schweren Schneidgestell mit Schlitten, Mast und Schneidlanze. Das Aggregat kann bis zu 20 m von der Abbauwand entfernt stehen. Schwierig wird jedoch das Wasserschneiden in beengten räumlichen Verhältnissen. Der Einsatz des Schneidgerätes an Schrägen wäre auch möglich, wenn der Schlitten mit einer zusätzlichen Seilwinde ausgerüstet würde.

Die Arbeitsweise gestaltet sich wie folgt: Zunächst werden mehrere jeweils 6 m lange Schienenelemente vor der Steinbruchwand bis zu einer Länge von 24 m auf einer möglichst ebenen Sohle aufgebaut (Abb. 200). Die maximal erreichbare Höhe beträgt 10 m, die maximale Schnittiefe 3 m. Für Auf- und Umstellung der Maschine sind mindestens zwei Mann und zwei Stunden Arbeitszeit anzusetzen. Weiterhin wird dazu ein Radlader oder Hydraulikbagger benötigt. Das so eingerichtete Wasserschneidgerät kann für ca. 1 Woche arbeiten, bevor es wieder umgestellt werden muß.
Auf den Schienen ist mit einem Schlitten ein langer Mast montiert, an dem die Schneidlanze befestigt ist. Der Schlitten fährt bei jedem Durchgang die gesamte Schienenlänge in beiden Richtungen ab. Der Schneidkopf wird automatisch vor und zurück bewegt und schneidet bei jedem Durchgang 4 bis 5 cm ein. Dabei wird eine Blockgröße mit einer Höhe von 1,5 m und 2,3 m Breite angestrebt.
In die Tiefe wird bis maximal 2,5 - 2,7 m geschnitten. Bei zu weitem Schneiden besteht die Gefahr, daß der Block abbricht. Daher ist das Verfahren nur für bestimmte geologische Verhältnisse einzusetzen. Bei tiefen Schnitten muß gegebenfalls die Lanze verstärkt werden.

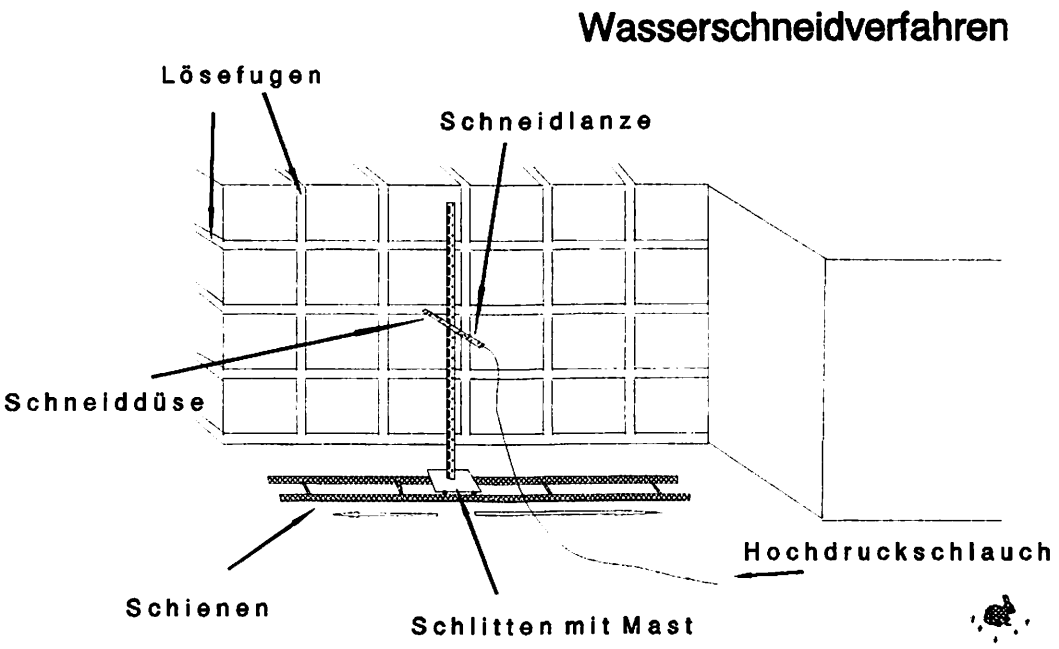


Abb. 200: Schematische Darstellung des Wasserschneidverfahrens.

Um die Blöcke hinten abzutrennen, wird in den Schnitt gefahren und ein Schneidkopf mit zwei (Abb. 201) seitlichen Düsen aufgesetzt. Es werden rechts und links Kerben in das Gestein geschnitten, und der bereits an 5 Seiten gelöste Block kann dann leicht mit einem Hydraulikbagger abgebrochen werden. Die Blöcke können auch durch Abbohren und anschließendes Spalten abgetrennt werden.

Das Schlagen der Schläuche (pulsieren) erhöht die Schneidleistung, und es bleibt kaum Schlamm in den Schnitten zurück. An den schlagenden Teilen, an denen Reibung entsteht, befindet sich ein Schutz, der nach 2 bis 3 Tagen erneuert werden muß. Der Schlauch selbst wird nach 100 - 200 Stunden ausgewechselt, der Düsenkopf (Metalldüse) nach ca. 20 - 30 Stunden.
Der unter hohem Druck stehende Schlauch ist zusätzlich mit einem Innenschlauch gesichert. Die Stoffilter müssen jeden Tag gereinigt werden. Sie halten 6 Monate bis ein Jahr, abhängig von der Wasserqualität. In dem Steinbruch wo das Gerät arbeitet (Vogesen) sind hervorragende geologische Verhältnisse für das Wasserschneiden vorhanden. Der relativ grobkörnige Sandstein hat einen Quarzanteil von ca. 70 %.

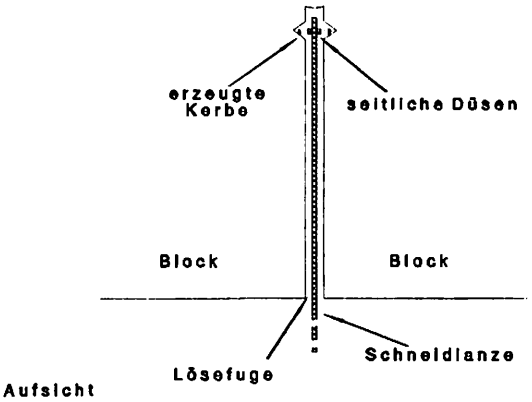


Abb. 201: Schematische Darstellung, wie mit seitlichen Düsen Kerben in den bereits an 5 Seiten gelösten Block geschnitten werden, damit dieser anschließend abgedrückt werden kann.

Von vornherein muß die Wasserentsorgung bedacht werden. Theoretisch wäre es möglich, das Wasser abzupumpen, zu filtern und wiederzuverwenden. Problematisch wird die Filterung durch die im Wasser befindlichen Mineralpartikel. Erforderlich ist daher eine Dauerwasserversorgung. Falls die permanente Wasserversorgung einmal ausfällt, steht durch den 6 m^3 fassenden Tank noch für gut eine Stunde Wasser zur Verfügung.

Das Schneiden mit größeren Wassermengen unter hohem Druck ist noch sehr neu. Hier wird es ganz gewiß noch weitere apparative Entwicklungen geben. Die Schneidleistungen könnten deutlich verbessert werden, sofern es gelingt, entsprechende Düsen mit hohen Standzeiten für den Einsatz billiger Abrasiva (Quarzsand) zu entwickeln.

Derzeit wird das Wasserschneidverfahren nur zum horizontalen und vertikalen Schneiden in eine Abbauwand hinein benutzt. Der Einsatz auf einer Steinbruchsohle und Schneiden in die Tiefe ist durchaus denkbar. Hier sollte dann aber Sorge dafür getragen werden, daß der erzeugte Schnitt an einer Seite offen ist, so daß das Wasser abfließen kann und der Schneidvorgang nicht durch wassergefüllte Löseflächen gehemmt wird. Ebenso sollte aber ein möglichst langer und gleichzeitig tiefer Schnitt angelegt werden, um den Zeitaufwand für das Umsetzen und Einrichten der Anlage durch hohe und lange Schneidleistungen zu kompensieren.
Die weitere Durchsetzung dieses aussichtsreichen Verfahrens wird zur Zeit noch durch die hohen Anschaffungskosten gehemmt.

7.3.7 Laserschneidverfahren

Das Schneiden mit Laser hat zwar noch keine Anwendung als Gewinnungsverfahren gefunden, gelegentlich taucht aber die Frage auf, ob es eine Möglichkeit zur Gewinnung von Naturwerksteinen wäre. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit der Frage nachgegangen, inwieweit das Laserschneidverfahren derzeit oder in naher Zukunft zum Trennen von Naturwerksteinen dienen kann. Freundlicherweise war die Fa. Gödeke in Lehrte bereit, Schneidversuche an Naturwerksteinproben durchzuführen. Zur Verfügung standen Platten aus Solnhofener Kalkstein, Botticino-Kalkstein, Carrara-Marmor und aus Epprechtstein-Granit. Die Plattenstärke lag bei jeweils 2 cm.

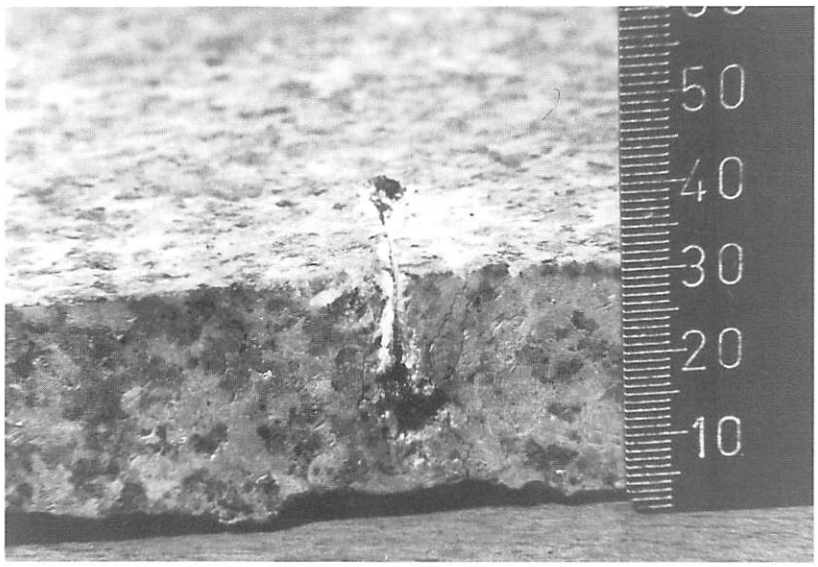


Abb. 202: Versuch eines Schnittes mit einem Laserschneidgerät in einem Granit (Maßstab der Meßplatte in mm).

Geschnitten wurde mit einem CO_2-Lasergerät, das mit einer Leistung von 1.750 W (bei einer Leistungsaufnahme von 20 kW) schneidet. Als Schneidgas wurde sowohl Sauerstoff als auch Luft bei 12 bar getestet.
Die Qualität der Schnitte war ausreichend, die Schnitte verliefen jedoch unkontrolliert. Das Schneiden von Solnhofener Plattenkalk, Botticino-Kalkstein und Marmor (Carrara) war möglich (Abb. 203). Die Schnittgeschwindigkeit der ca. 2 cm dicken Platten lag bei maximal nur 100 mm/min. Der Granit hingegen war kaum zu schneiden (Abb. 202). Hier machte sich die für das Flammen erwünschte Eigenschaft des Quarzes negativ bemerkbar, bei Hitze auseinanderzuspratzen. Die Temperatur war offenbar so hoch, daß er zum Teil regelrecht schmolz, und beim Abkühlen den schmalen Schnitt wieder verschloß.

Ein Laser muß frei schneiden können, denn der Strahl ist beim tiefen Schneiden nicht mehr genügend stark gebündelt. Daher ist es nicht möglich, Gesteine zu schneiden, die eine gewisse Mindestdicke überschreiten, es sei denn, man verwendet einen Hochleistungslaser, der jedoch noch unwirtschaftlicher ist.

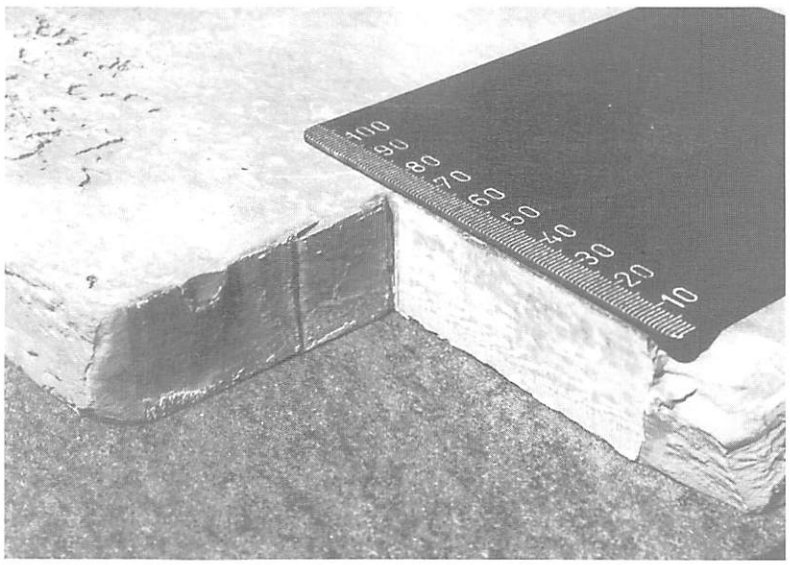


Abb. 203: Mit einem Lasergerät erzeugte Schnitte an einer Solnhofener Kalksteinplatte (Maßstab der Meßplatte in mm).

Die Versuche zeigen, daß das Schneiden mit Laser zwar für viel Materialien geeignet sein mag (z. B. Stahl und Holz), aber nicht für ein sauberes und wirtschaftliches Lösen von Gesteinen in Steinbrüchen bzw. für das Schneiden von Platten.

7.3.8 Hydraulikbagger

Hier geht es nicht um den Einsatz von Baggern etc. für allgemeine Aufgaben, sondern speziell um ihre Verwendung beim eigentlichen Gewinnen von Blöcken.
Sofern das Gestein gut abgesondert mit kleinen Durchschnittsblockgrößen ansteht, kann der Einsatz eines Hydraulikbaggers oder eines Radladers wirtschaftlich sein. In den meisten Fällen bedient man sich der Schaufel, um das Gestein aus dem Verband zu lösen. Die Ladeschaufeln haben zumeist einen Inhalt von 3 m^3. Zum Reißen ist der Einsatz von Baggern möglich, die ein Dienstgewicht von 75 - 140 t und eine Reißkraft von > 300 kN aufweisen. Hydraulikbagger werden vor allem für die Basaltgewinnung in der Eifel und am Vogelsberg sowie in Quarzitlagerstätten im Odenwald eingesetzt.
Im Fall von gut abgesonderten schmalen Basaltsäulen ist quasi nur noch ein Umlegen mit den Hydraulikbaggern notwendig. Bei großen und auch nicht sehr gerade verlaufenden Basaltsäulen werden diese mit einem Reißzahn am Bagger herausgelöst. Ist der Hydraulikbagger nicht in der Lage, die ineinander verzahnten Säulen herauszureißen, wird der Einsatz von Sprengstoff oder hydraulischen Pressen notwendig.

7.3.9 Einsatz von Transportgeräten

Die geschilderten Gewinnungsverfahren bzw. -geräte sind in der Lage - je nach geologischer Voraussetzung - großdimensionierte Blöcke aus dem Gesteinsverband zu trennen. Sehr oft wird aber die potentiell gewinnbare Blockgröße durch die Geräte zum Laden und Transportieren der Blöcke begrenzt. In vielen Steinbrüchen zeigt sich immer wieder, daß große (auch noch für das Sägegatter verwendbare) Blöcke zerkleinert werden müssen, da sie nicht zu handhaben sind.

Die Blöcke müssen im Steinbruch schon für das Sägegatter bzw. einen marktfertigen Zustand zugerichtet werden. Der Gewinnungsprozeß und die Ladearbeit sollten räumlich und zeitlich

miteinander verzahnt sein, damit das Nutzgestein möglichst wenig umgeladen wird. So sollte der sinnvollste Weg folgender sein:

Gewinnung (Blockzurichtung) ⇒ Radlader ⇒ (Blocklager ⇒) SKW ⇒ Verarbeitungsbetrieb
oder
Gewinnung (Blockzurichtung) ⇒ Derrick ⇒ (Radlader ⇒ Blocklager ⇒) SKW ⇒ Verarbeitungsbetrieb,

wobei der Weg vom Derrick zum Blocklager wiederum in den meisten Fällen das Zwischenschalten eines Radladers erfordert.
Die Bevorratung der Rohblöcke im Blocklager ist äußerst wichtig, um einer unvorhergesehenen größeren Nachfrage entgegenzukommen. Berücksichtigt werden muß, daß das Blocklager und auch der Werkplatz von vornherein mit eingeplant werden, und diese auch in ausreichender Entfernung von der Gewinnungsstätte liegen für den Fall, daß Sprengungen vorgenommen werden (Steinflug).



Abb. 204: Unterdimensionierte Raupe in einem Steinbruch im Wesersandstein. Große Blöcke können mit der Raupe nur aus dem Gesteinsverband geschoben werden, aber nicht geladen werden.

Als Transportmittel sollte ein Gerät zur Verfügung stehen, welches folgende Arbeitsgänge durchführen kann:

- Wegebau,
- Säubern und Glätten der Steinbruchsohle,
- Abtragen von Abraum,
- Anfertigen von einem aufgeschütteten Sand(erd)bett, auf welches große herausgelöste Blöcke gekippt werden können.

Zudem muß es vom Aufbau her

- auf engsten Raum wenden können,
- eine Mindesttransportkapazität von 20 t zum Laden der Blöcke haben,
- ausreichend schnell sein sowie
- eine gute Kippstabilität haben.

7.3.9.1 Laderaupe und Radlader

Für die Ladearbeit in Naturwerksteinbetrieben sind in der Regel Radschaufellader wegen ihrer höheren Transport- und Arbeitsgeschwindigkeit und ihrer Wendigkeit (Knicklenkung) zu bevorzugen. Nur dort, wo eine extreme Geländegängigkeit gefordert werden muß, sind Laderaupen vorteilhaft.
Die meisten der angebotenen Radlader-Modelle haben einen ausreichend großen Radabstand, um große Lasten ohne Probleme zu transportieren.

Raupe

Immer noch setzen einige Betriebe zu klein ausgelegte Raupen in Steinbrüchen ein. Oft müssen daher weitere Trennvorgänge zwischengeschaltet werden und gute Blöcke noch weiter geteilt werden, damit sie mit dem Lademittel zur weiteren Bearbeitung abtransportiert werden können.
Beim Säubern der Steinbruchsohle mit Kettenfahrzeugen muß darauf geachtet werden, nicht unnötig Gesteine zu beschädigen (z. B. wurde in einem beim Solnhofer Plattenkalksteinbruch die Sohle mit einer Raupe gereinigt und dadurch die Gesteinsoberfläche aufgerissen).

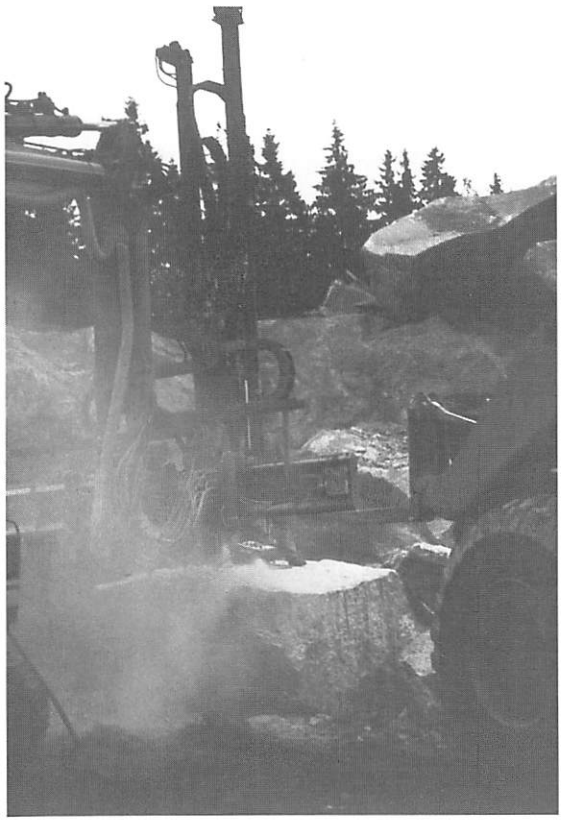


Abb. 205: Radlader als Hilfsgerät beim Einsatz eines fahrbaren Reihenbohrgerätes.

Radlader

Ein Lader kann zu vielen Zwecken im Naturwerksteinbruch eingesetzt werden, wie auch zum Glätten der Steinbruchsohle, Abtragen und Abtransportieren des Abraums; weiterhin zum Transport der Blöcke (Abb. 115), Lockern und Heben der Blöcke nach ihrer Trennung, Transport von sonstigen Abbaugeräten sowie zur Anlage von Rampen, damit die Reihenbohrgeräte oder sonstige Fahrzeuge auf die Abbausohlen gelangen können. Besonders für das Umstellen von Seilsägen oder Schrämmaschinen ist ein Radlader gut geeignet. Durch einen ohnehin benötigten Radlader kann sogar auf einen Derrick verzichtet werden, falls das Gelände nicht zu steil ist. Der Ladeschaufelinhalt sollte ca. 10 m^3 betragen.
Wichtig ist ein Gabelvorsatz zum Reißen und Bewegen der Blöcke mit einer Hubkapazität von 25 - 35 t.
Ein hoher Kostenfaktor sind bei den Radladern die Reifen, selbst wenn diese durch Reifenketten vierfache Lebensdauer und zugleich bessere Bodenhaftung erhalten.



Abb. 206: Ein kleiner Dreibein-Derrick in einem Granitsteinbruch im Fichtelgebirge. Das Schwenken des Auslegers erfolgt manuell durch Ziehen an einem Seil (links).

Zuweilen werden Radlader auch als Allzweckmittel verwendet, wie beispielsweise auch als Stütze für das Einrichten von Reihenbohrgeräten (Abb. 205). Eine zeitliche Inanspruchnahme hierfür ist unwirtschaftlich.
Sofern Radlader bei Nässe rutschen, ist der Steinbruch mit zu steilen Rampen ausgelegt bzw. das Gestein enthält zu viele Tonlagen.

7.3.9.2 Derrick

In Naturwerksteinbrüchen werden schwenkbare Kräne generell als Derrick bezeichnet.
Man unterscheidet zwischen folgenden Typen:

a) dreibeinige Derrick-Kräne,
b) windstabilisierte Derrick-Kräne und
c) Goliath-Kräne.

zu a) Die dreibeinigen Derrickkräne haben in der Mitte einen senkrecht stehenden Mast sowie zwei nach hinten reichende Stützen, die in einem rechten Winkel zueinander stehen. Der Aktionsradius ist daher begrenzt auf 220°. Die Reichweite beträgt - je nach Armlänge - 10 m bis 70 m. Die Tragkraft liegt zwischen 30 t und maximal 50 t.

zu b) Die windstabilisierten Derrick-Kräne haben gleiche Eigenschaften, aber einen Aktionsradius von 360°. Die Verankerungsseile benötigen spezielle morphologische Voraussetzungen.

zu c) Die Goliathkräne sind auf Schienen montiert und ermöglichen es dem Kranführer, direkt über den Block zu fahren.

Der Antrieb der Winde erfolgt durch Elektro- oder Dieselmotoren. Insbesondere bei extremen morphologischen Bedingungen oder Lagerungsverhältnissen gestaltet sich der Weg bis zum Bedienerpult eines Krans als sehr zeitintensiv, so daß die Bedienung per Fernsteuerung durchgeführt werden sollte.
Ein Kran einer Größe, wie er in Abb. 206 dargestellt ist, ist bestenfalls zum Beladen oder Umladen der Rohblöcke auf engem Raum geeignet.
In Deutschland sind hauptsächlich Kräne der Fa. HEROLD im Einsatz, die eine Tragkraft zwischen 15 t und 20 t (150 - 200 kN) haben. Eine Ausnahme bildete ein Steinbruch mit einem alten englischen Dodge-Kran. Derricks haben in Deutschland nur geringe Verbreitung, weil es für die sonst erprobten und in Italien weit verbreiteten italienischen Derricks schwierig ist, die notwendigen Schweißzertifikate für die Berufsgenossenschaft beizubringen.
Die Reichweite der Derricks kann aus rein statischen Gründen nicht verbessert werden. Folglich besteht die Gefahr, daß nur gerade im Umkreis eines festinstallierten Derricks abgebaut wird und lokal sehr tiefe Abbaustellen entstehen, was sich nach längerer Zeit negativ auf den Betriebsablauf auswirken kann.
Es gibt auf Schienen verschiebbare Derricks, deren schlechte Standfestigkeit jedoch Einschränkungen bei der Nutzung bringen. Eine derartige Anlage ist kostenintensiv und nur bei bestimmten geologischen und morphologischen Voraussetzungen erfolgreich einsetzbar.
Die heute konstruierten Derricks haben den Vorteil, daß sie nicht fest installiert sind und relativ unkompliziert umgesetzt werden können. Für extreme morphologische Verhältnisse sollte daher der Einsatz sogar mehrerer Derricks in Erwägung gezogen werden, da die Anschaffungskosten durchaus vertretbar und die Betriebskosten gering sind.

Transport:

Favorisiert werden SKW zum Transport der Rohblöcke zur Bearbeitung. Bandanlagen scheiden auf Grund der großen Blockdimensionen aus.
In einigen Naturwerksteinbrüchen wurden auf Grund schlechter morphologischer Gegebenheiten auch Seilbahnen montiert, wie beispielsweise in Steinbrüchen in den Hochlagen der Alpen, wie in Sankt Niklaus/Wallis in der Schweiz. Hier wird ein Quarzit unter Tage in einem Steilhang gewonnen.

Hiermit sind alle für den Naturwerksteinbergbau relevanten Gewinnungsverfahren und Maschinen behandelt. Bevor nun die technischen und geologischen Auswahlkriterien für Gewinnungsverfahren diskutiert werden, sollen zunächst einige Arbeits- bzw. Umweltschutzgesichtspunkte angesprochen werden.

7.4 Umweltschutz- und Arbeitsschutzgesichtspunkte

7.4.1 Allgemeines

Sicherheit sowie Umweltschutz- und Arbeitsschutz sollten in einem Bergbaubetrieb an erster Stelle stehen. Leider ist es erforderlich, an dieser Stelle Kritik an den Sicherheitsmaßnahmen bei der Sprengarbeit zu üben. So ist es bei den Geländearbeiten zu dieser Arbeit passiert, daß in einem Betrieb bei einer Sprengung keine akustische Warnung und Entwarnung gegeben wurde und in mehreren Betrieben Sprengungen durchgeführt wurden, ohne daß die Hauptzufahrtswege abgesperrt bzw. mit einem Sicherungsposten versehen wurden.

Bei der Auswahl der Gewinnungsverfahren sind unbedingt Umwelt- und Arbeitsschutz zu beachten. Hierbei sind zumeist, dank der Lage der Steinbrüche, weniger die Belästigungen von Anliegern problematisch als die Einwirkung auf die Gesundheit der Arbeiter.
Beeinträchtigungen für den Bediener der Geräte können entstehen durch Erschütterungen bei pneumatischen Bohrhämmern (Gelenkschäden) und durch freiwerdende Öl-Wasserdämpfe. Vor allem sind es aber Staub und Schallemissionen, die oft Gesundheitsschäden hervorrufen.

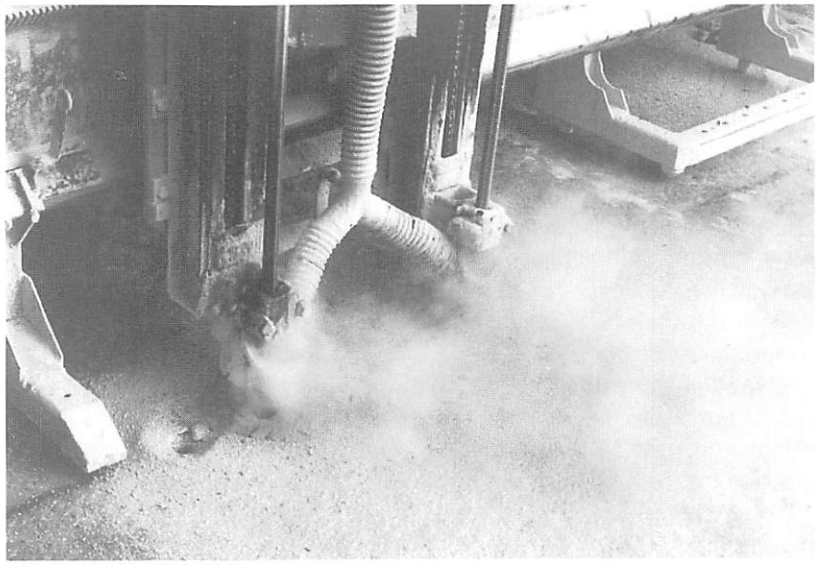


Abb. 207: Nicht einwandfrei arbeitende Staubabsaugung bei einem Reihenbohrgerät mit zwei Lafetten.

7.4.2 Entstaubungsverfahren

Bei den Gewinnungsverfahren wie dem Seilsägeverfahren, dem Schrämen und dem Wasserschneidverfahren tritt Staubentwicklung durch die permanent notwendige Spülung mit Wasser nicht auf. Der Staub wird sogleich durch das Spülwasser bzw. Schneidwasser (Wasserschneidverfahren) gebunden und weggespült.
Starke Staubentwicklung tritt hingegen beim Bohren auf. Deshalb sind die meisten der Reihenbohrgeräte mit Entstaubungsanlagen ausgerüstet (Absaugeluftmenge ca. 800 m^3/h).
Auch für einzelne Bohrhämmer gibt es entsprechende druckluftbetriebene Staubabsaugungsanlagen (0,6 m^3/min bei einem Druck von 6 bar). Die Staubabscheider sind so gestaltet, daß sie mit Hauben das Bohrklein direkt am Bohrlochmund absaugen sollen und dies über den Saugschlauch in eine Abscheidevorrichtung gelangt, wo es in auswechselbaren Plastiktüten gesammelt wird.
Abgesehen davon, daß eine Vielzahl der Entstaubungsanlagen nicht sehr effektiv arbeitet (Abb. 207), wird oft eine vorhandene Staubabsaugung nicht verwendet. Gerade in quarzhaltigen Gesteinen darf auf eine Absaugung nicht verzichtet werden. Natürlich ist es beim Zerteilen eines Blockes mit dem Handbohrhammer umständlich, die Saughaube von Bohrloch zu Bohrloch umzusetzen, es verhindert jedoch Silikoseerkrankungen.

Probleme bei den Staubabsaugungsanlagen entstehen leicht bei Nässe. Die Manschetten oder der Saugschlauch können verstopfen. Folglich muß die Maschine gestoppt und der Schlauch (mit Draht oder mittels Gegenschlagen) wieder frei gemacht werden. Bei den Schläuchen ist man recht sparsam. Es werden hier nur sehr einfache Kunststoffschläuche verwendet, die manchmal zu eng sind und denen eine Innenbeschichtung fehlt, die ein Anlagern von Staub erschwert oder gar verhindert.

Nachdem aber bei den Befahrungen der Steinbrüche beobachtet werden konnte, daß an Stelle von intakten Staubabsaugungen an einem Reihenbohrgerät der Granitstaub mit Druckluft vom Bohrloch geblasen und so erst richtig in der Atemluft verteilt wurde, sollten unbedingt Bemühungen angestellt werden, generell Staub mit Wasser zu binden (vgl. Methoden i. Salzbergbau). Dies wird auf Dauer die gesundheitsschonendere und effektivere Methode sein.

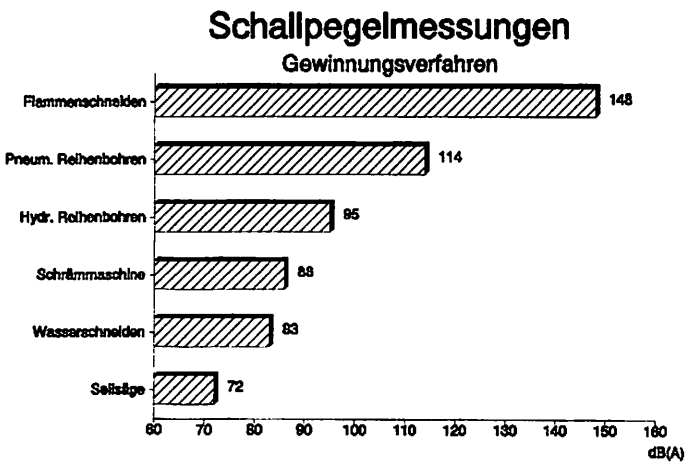


Abb. 208: Gegenüberstellung der gemessenen Schallpegel bei den Gewinnungsverfahren.

7.4.3 Schallemissionen

Nicht wenigen Arbeitern macht die Schwerhörigkeit zu schaffen. Sie fühlen sich auf diesem Gebiet auch etwas allein gelassen. Aussagen von Steinbrucharbeitern lauten folgendermaßen: "Die Maschinen können heißen wie sie wollen, der Lärm wird nicht weniger" sowie "ohne Gehörschutz kann man fast gar nichts mehr machen, und trotz Gehörschutz ist es auch noch zu laut".

Abgesehen davon, daß selten Automaten mit Lärmschutzwatte aufgestellt sind wie in anderen Bergbaubetrieben, ist die eigene Sorgfalt zum Tragen von Lärmschutzwatte oft nicht sehr ausgeprägt. Befragungen ergaben obendrein, daß leider immer noch die Meinung verbreitet ist, man könne sich gegen Lärm abhärten und daher ruhig auf den Einsatz von Gehörschutz verzichten. Dies zeigt, daß die Aufklärung seitens der Arbeitgeber und Aufsichtsorgane noch nicht wirkungsvoll genug ist.

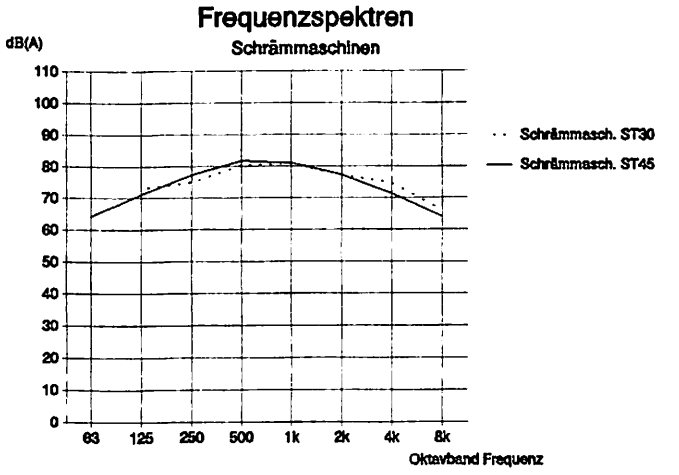


Abb. 209: Frequenzspektren von zwei gemessene Schrämmaschinen.

Der beste Gehörschutz ist natürlich die Vermeidung von Schallemissionen bzw. ihre Dämpfung. Die akzeptable Dosis für eine 8 Stunden-Schicht liegt bei 90 dB(A), bei einem Schallpegel von 93 dB(A) sind bereits 4 Stunden das Maximum [89]. Liegen die Schallpegel über 100 dB(A), bewegt sie sich dann nur noch im Bereich von Minuten und über 120 dB(A) von Sekunden, die zulässig sein sollten.

Daher wurden im Laufe dieser Arbeit verschiedene Gewinnungsverfahren und -geräte hinsichtlich ihrer Schallemissionen untersucht. Die Messung erfolgte mit einem Impulsschallpegelmesser mit Terz/Oktavfilter. Ermittelt wurde der Mittlungspegel (L_{afm}) sowie der maximale Schallpegel (L_{max}). Zusätzlich wurden für einige Gewinnungsverfahren Oktavanalysen durchgeführt, die Aufschluß über die Frequenzspektren geben. Damit könnten und sollten Herstellerfirmen auf die Geräteteile schließen, welche besonders schallgeschützt werden müssen.

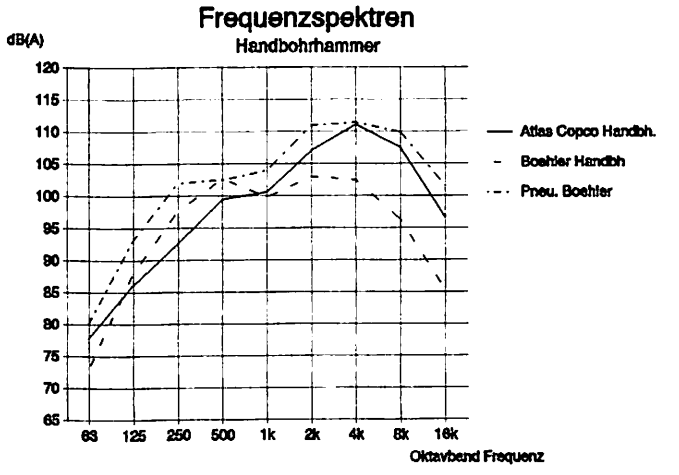


Abb. 210: Frequenzspektren von gemessenen Handbohrhämmern.

Die Messungen wurden mannbezogen (dB(A)) in Ohrhöhe an jenen Stellen durchgeführt, wo der Bediener sich während des Arbeitsvorgangs aufhalten muß. Eine Schwierigkeit beim Messen im Steinbruch liegt bei den Reflexionen des Schalls an den Bruchwänden.

Zwischen den einzelnen Gewinnungsverfahren gibt es generelle Schallpegel-Unterschiede, prinzipielle Schwankungen nach Art der Geräte und schließlich noch graduelle je nach Hersteller. In Abb. 208 sind zum Vergleich der Verfahren die jeweiligen gemittelten Werte wiedergegeben.

Das leiseste Verfahren ist das **Seilsägen** mit wenig lärmauslösenden Faktoren. Der Wert liegt bei nur 72 dB(A).

Die Lärmpegel beim **Wasserschneidverfahren** wurden in einer Entfernung von 15 m gemessen, in der sich der Bediener vornehmlich aufhält. Bei diesem Verfahren betrug der Schallpegel 83 dB(A).

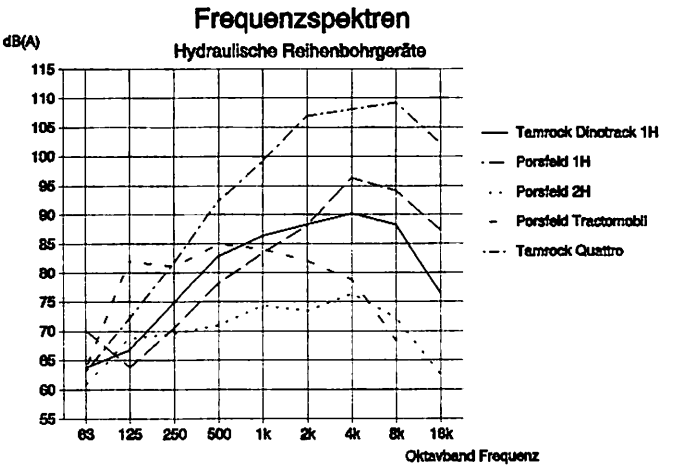


Abb. 211: Frequenzspektren einiger gemessener hydraulischer Reihenbohrgeräte.

Die Messungen der Schallpegel bei zwei **Schrämmaschinen** ergaben 85,5 dB(A) und 86,7 dB(A), wobei hier Maximalpegel von bis zu 92,0 dB(A) auftraten. Die Abb. 209 zeigt die Frequenzspektren von zwei gemessenen Schrämmaschinen.

Konstruktionsbedingt sind die pneumatische Bohrgeräte lauter als die hydraulischen. Den höchsten Meßwert bei **Handbohrhämmern** ergab ein pneumatischer BOEHLER-Bohrhammer mit einem Schallpegel von 116,5 dB(A) (L_{max} = 118,7 dB(A)), wobei aber auch ein hydraulischer Bohrhammer noch Werte von 107,5 dB(A) (L_{max} = 112,0 dB(A) aufwies. Die Abb. 210 gibt die Frequenzspektren einiger gemessener Handbohrhämmer wieder.
Eine Schallisolierung des Bohrhammers ist sicherlich schwierig. Jedoch wird von Herstellern bereits mit einem leisen pneumatischen Handbohrhammer geworben, der einen Schallpegel von "nur" 102 dB(A) aufweisen soll. Dies ist sicherlich mit 15 % eine Verbesserung, man kann sich hiermit aber noch lange nicht zufrieden geben.

Die Meßwerte der **Reihenbohrgeräte** wurden in 3 m Entfernung aufgenommen, da sich der Bediener bei der Blockzurichtung meist dort aufhält und nicht in der Kabine. Zudem haben oft andere Personen in der Nähe des Reihenbohrgerätes Arbeiten zum nachgeschalteten Lösen auszuführen.

Der Akustik entsprechend nimmt der Schallpegel bei Hinzukommen einer zweiten Lärmquelle mit dem selben Pegel logarithmisch zu. Das bedeutet, bei einer weiteren Lärmquelle erhöht sich der Schallpegel nur um 3 dB(A), bei einer dritten um weitere 1,8 dB(A).
Eine Zunahme oder Abnahme um 3 dB(A) nimmt das menschliche Ohr gerade als merkbare Veränderungen war (vgl. a. [89]), und erst ein Anstieg um 10 dB(A) wird als Verdoppelung der Lautstärke empfunden. Dies bedeutet, daß Bohrgeräte mit 3 Bohrhämmern kaum lauter empfunden werden als Geräte mit nur einem Bohrhammer.

Die Schallpegelwerte der gemessenen Reihenbohrgeräte lagen zwischen 80,5 dB(A) bei einem hydraulischen Reihenbohrgerät mit einem Bohrhammer (TAMROCK-Flexi) und 117,2 dB(A) (L_{max} = 119,1 dB(A)) bei einem pneumatischen Bohrgerät mit zwei Bohrhämmern (MONCHERA). Aber auch bei den an sich von der Bauart her leiseren hydraulischen Bohrhämmern an Reihenbohrgeräten mit einem Bohrhammer traten Meßwerte von bis zu 107,1 dB(A) (PORSFELD Tractomobil) bzw. 107,4 dB(A) (TAMROCK Dinotrak) auf. Selbst wenn man sich bei letzteren Bohrgeräten in die maximale Entfernung begibt, die die Reichweite des Steuerpults zuläßt, so konnte immer noch ein Schallpegel von 98,7 dB(A) gemessen werden.

Die Werte zeigen, daß die Schallpegel bei den Reihenbohrgeräte sehr schwanken. Diese haben den Vorteil, mit schallmindernden Kabinen ausgerüstet werden zu können. Einige Kabinen der TAMROCK Zoomtracks sind hier hervorzuheben. Hier ergab die Messung in der Kabine eines hydraulischen Tamrock-Quattro Bohrgerätes (4 Bohrhämmer) einen Schallpegel von 74,7 dB(A), obwohl die Schallpegelmessung außerhalb des Fahrzeuges in 3 m Entfernung einen hohen Wert von 110,5 dB(A) erbrachte. Trotz des Bemühens der Anbieter um schalldämmende Maßnahmen ist die schallgedämpfte Ausführung der Kabinen weiterhin wichtig. Die Kabinen dürfen auch nach längerer Beanspruchung ihre schalldämmende Wirkung nicht verlieren. Im Sommer ist es dem Bediener leider fast unmöglich, bei geschlossener Kabine zu arbeiten. Sie müßten mit einer Klimaanlage ausgerüstet werden.

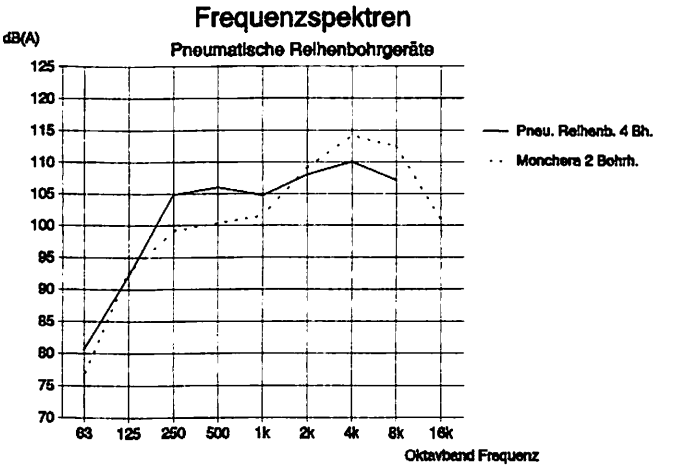


Abb. 212: Frequenzspektren einiger gemessener pneumatischer Reihenbohrgeräte.

Schalldämmende Maßnahmen müssen am Bohrgerät selbst ansetzen. Gerade bei den Reihenbohrgeräten bestehen dafür die besten Voraussetzungen. Gezielte Messungen an diesen (insbesondere die Frequenzspektren in Abb. 212, Abb. 211) zeigen, daß die hohen Frequenzwerte von Bohrstangen und Bohrhämmern stammen. Die Schallemission könnte demnach wirksam reduziert werden durch Geräuschdämpfung sowohl der Stangen als auch der Hämmer selber, sofern es gelingt, diese mit schalldämmenden Gehäusen zu verkleiden.

Ein derartig hoher Schallpegel, wie er bei dem **Flammenschneidverfahren** auftritt, ist nicht zu vertreten. Dieser liegt bei über 140 dB(A). Lärmschutzmaßnahmen wie Lärmschutzwatte bzw. Ohrmuffen bewirken höchstens eine Lärmreduzierung von 5 - 10 dB(A) bzw. 15 dB(A). Somit liegt der Schall auch dann immer noch über der Schmerzgrenze von 120 dB(A). Verbesserungsmöglichkeiten gradueller Art sind am Brenner etc. zwar möglich; grundlegende Verbesserungen könnten kleine Raupenfahrzeuge bieten, bei denen die Lanze von einem Bedienerarm getragen und von einem Mitarbeiter, in einer schallisolierten Kabine sitzend, gesteuert wird. Hierbei treten aber sicherlich Probleme bei schwierigen morphologischen Verhältnissen auf.

Vor allem die Messungen der Schallfrequenzspektren zeigen auf, daß auf dem Gebiet der Schallemission der Gewinnungsmaschinen Verbesserungsmaßnahmen möglich sind und auch dringend ergriffen werden sollten. Sowohl die Hersteller müssen dem noch mehr Beachtung schenken als auch die Käufer bei der Auswahl der Verfahren bzw. Geräte.

8 Auswahl der Gewinnungsverfahren

8.1 Auswahlkriterien

Hauptkriterien für die Auswahl von Verfahren (Methode und Maschinen) sind generell
- die Qualität des Produktes,
- Leistung und Kosten und
- die Ausbeute, d. h. im vorliegenden Falle der Nutzungsgrad des in der Lagerstätte anstehenden Gesteins.

Genauso, wie vielfach hohe Leistung und günstige Kosten konträr zur Güte des Produktes stehen, so befindet sich die Ausbeute zumeist im Gegensatz zu den anderen Kriterien. Für Grundstoffindustrien, zumal den Bergbau, kann die Ausbeute oftmals entscheidend sein - d. h. die Verluste sind zu minimieren.
Die Wahl des eingesetzten Verfahrens bestimmt im wesentlichen für längere Zeit über Erfolg oder Mißerfolg - und verlangt, sämtliche obigen Kriterien gegeneinander zu bewerten. Daneben ist auf Arbeits- und allgemeine Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz sowie örtliche Bedingungen und Auflagen zu achten.

In der Literatur finden sich nur wenige Wertungen oder gar Empfehlungen. Bei den Betreibern hingegen existieren vielfach noch "Meinungen", die besagen,
- daß es wenig lohnend sei, Arbeitskräfte durch teure Maschinen zu ersetzen. Dies hat zur Folge, daß beispielsweise drei Mann gleichzeitig nebeneinander Bohrlöcher herstellen, anstatt dies von einer Person und einem Reihenbohrgerät schneller durchführen zu lassen.
- daß durch den Einsatz neuer Technologien Arbeitsplätze verloren gehen.
  Im Gegenteil wird es zunehmend schwieriger, gute Arbeitskräfte für die äußerst harte Arbeit zu finden.
- daß für eine Gesteinsart nur ein bestimmtes Verfahren bzw. eine einzige Maschine einsetzbar sei. Dabei muß es gar nicht immer sinnvoll sein, z. B. für die Sandsteingewinnung ein Reihenbohrgerät oder für Tuffstein stets eine Schrämmaschine einzusetzen.

Vorab ist festzustellen, daß es für die Auswahl des Gewinnungsverfahrens keine allgemein gültigen Regeln gibt. Dies gilt auch für eine generelle, allein auf die Druckfestigkeit abgestellte Empfehlung für die Auswahl von Gewinnungsverfahren [154]:

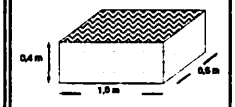
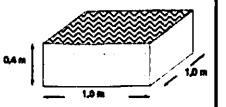
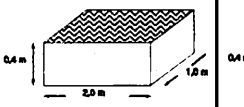
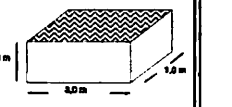
"Weitgehende Vermeidung des Sprengstoffeinsatzes in wenig sprengfestem Gestein (Druckfestigkeit < 70 N/mm^2). Kerbende und thermische Gesteinszerstörungsprozesse eignen sich besonders für Gesteine hoher Festigkeit ≥ 100 N/mm^2; Schleifende (i. S. Anwendung von Seilsägen) und spanende (i. S. Anwendung von Schrämmaschinen) Gesteinszerstörungsprozesse eignen sich dagegen vor allem für Gesteine mit Festigkeiten < 100 N/mm^2."

Solcherlei Einteilung sollte mit Vorsicht begegnet werden, denn das Trennen des Gesteins mit den verschiedenen Gewinnungsverfahren hängt keineswegs nur von der Druckfestigkeit ab. Auch andere Faktoren wie Quarzanteil, Körnung oder Homogenität, die sich zwar in der Druckfestigkeit niederschlagen können, gehen hier ein; schließlich auch die Tektonik. Folglich ist es nicht günstig, Gewinnungsverfahren allein auf Grund der Druckfestigkeitswerte des Gesteins auszuwählen. Dadurch würden viele zu berücksichtigende Faktoren vernachlässigt.

Ehe auf den Einsatz der einzelnen Gewinnungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung bei den jeweiligen Gesteinsarten speziell eingegangen wird, sei die allgemeine Abhängigkeit von der Blockgröße behandelt.

8.1.1 Abbauverlust in Abhängigkeit von der Blockgröße

Im Kapitel 6 wurde aufgezeigt, welche bedeutende Rolle das Durchschnittsblock-Volumen für die Bewertung einer Lagerstätte hat, vornehmlich in bezug auf die Rohblockhöffigkeit η. Es wurde dabei ausführlich geschildert, wie die Durchschnittsblock-Größe aus der geologischen Bestandsaufnahme der Trennflächenabstände ermittelt wurde.

Schnittverlust 2,5 cm je Fläche	 0,2 m^3	 0,4 m^3	 0,8 m^3	 1,2 m^3
2 Vertikalflächen	5 %	5 %	5 %	5 %
4 Vertikalflächen	10 %	10 %	10 %	10 %
Vertikalfl.+ horiz.	32,5 %	21 %	15,5 %	13,5 %

Tab. 37: Ausbeuteverluste (in %) bei jeweils 2,5 cm Schnittverlust je Fläche für 2 und 4 Vertikal- bzw. alle Außenflächen.

Die geologischen Untersuchungen dieser Arbeit haben aufgezeigt, wie stark das zu erwartende Block-Ausbringen von der Klüftigkeit, d. h. dem Trennflächengefüge abhängt. Steinbrüche, die im unteren Bereich der Kurve für die Rohblockhöffigkeit (Abb. 170) liegen, fertigen entweder nur noch Pflastersteine und Brechmaterial bzw. andere Produkte, dagegen wenig Blöcke für Plattenware. Einige dieser Betriebe sind inzwischen stillgelegt worden.
Die Rohblockhöffigkeit ist von der Natur vorgegeben, folglich auch das, was mit optimaler Bergmannskunst potentiell an Ausbeute gewonnen werden kann. Es ist aber bei der Wahl der Gewinnungsverfahren unbedingt darauf zu achten, weitere Verluste minimal zu halten - vor allem sind unnötige Verluste zu vermeiden!

In Ergänzung zu den in Tab. 2 und Tab. 3 erwähnten Schnittverlusten zeigt Tab. 37, mit welchen Ausbeuteverlusten beim Herauslösen eines Blockes aus dem Gesteinsverband zu rechnen ist. Hierbei werden von den zum Herauslösen anstehenden Blöcken an jeder Außenseite 2,5 cm Verschnitt angesetzt. Zunächst ergibt dies bei zwei Vertikalflächen (Abb. 213 a) bei allen Blockgrößen einen Verlust von 5 %. Bei 2 zusätzlichen vertikalen Flächen senkrecht dazu (Abb. 213 b) steigt der Verlust auf 10 %. Durch das weitere horizontale Schneiden der Blöcke wird der Verlustanteil vom Blockvolumen noch einmal extrem angehoben (Abb. 213 c).

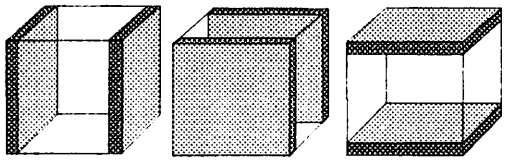
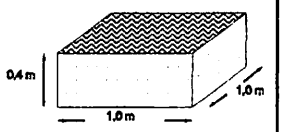
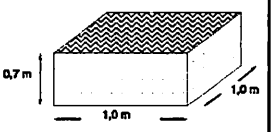
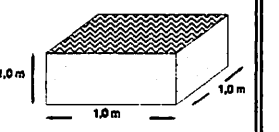


Abb. 213: a) 2 Vertikalschnitte; b) 2 Vertikalschnitte senkrecht dazu; c) Horizontalschnitte.

Wenn nun aber Trennfugen nur schlecht aufgehen oder gar der zerstörte Schnittbereich breiter als 2,5 cm ausfällt (er kann durch Bohrlöcher bis zu 2 · 6 cm = 12 cm ausmachen), sind die Ausbeuteverluste viel größer.

Die nachstehende Tab. 38 zeigt dann z. B. beim 0,4 m³ Block bei jeweils 6 cm an den Außenflächen zwischen 12,5 % und 40 % Verschnitt. Es ist wohl klar, daß derart hohe Verluste nicht hingenommen werden können. Bei einer Lagerstätte mit 40 % Rohblockhöffigkeit bleiben dann beispielsweise nur maximal 25 % des Lagerstätteninhalts als gewinnbare Blockgröße.

Schnittverlust 6 cm je Fläche	 0,4 m³	 0,7 m³	 1,0 m³
2 Vertikalflächen	12 %	12 %	12 %
4 Vertikalflächen	22,5 %	22,5 %	22,5 %
4 Vertikalfl. + 2 horiz.	45 %	36 %	32 %

Tab. 38: Ausbeuteverluste (in %) bei jeweils 6 cm Schnittverlust je Fläche für 2 und 4 Vertikal- bzw. alle Außenflächen.

Die Abb. 214 demonstriert die extreme Abhängigkeit der Verluste von den Blockgrößen. Deshalb ist bei den auszuwählenden Verfahren darauf zu achten, möglichst hohe Blockvolumina beim Abbau zu erreichen.
Die Darstellung zeigt aber auch, wie die jeweiligen Verluste bei den unterschiedlichen Schnittbreiten der Verfahren liegen, welche "Grundverluste" schon bei einem Minimalschnitt von nur 2,5 cm je Fläche hinzunehmen sind gegenüber dem Verschnitt von 6 cm (oder gar mehr). Wenn die bei verschiedenen Verfahren entstehenden Gewinnungskosten miteinander verglichen werden, sind daher die Schnittverluste in den Vergleich einzubeziehen. Es ist in jedem Einzelfall zu prüfen, ob der Verschnitt durch Einsatz entsprechender Verfahren verringert werden kann, auch unter Inkaufnahme höherer Betriebskosten.

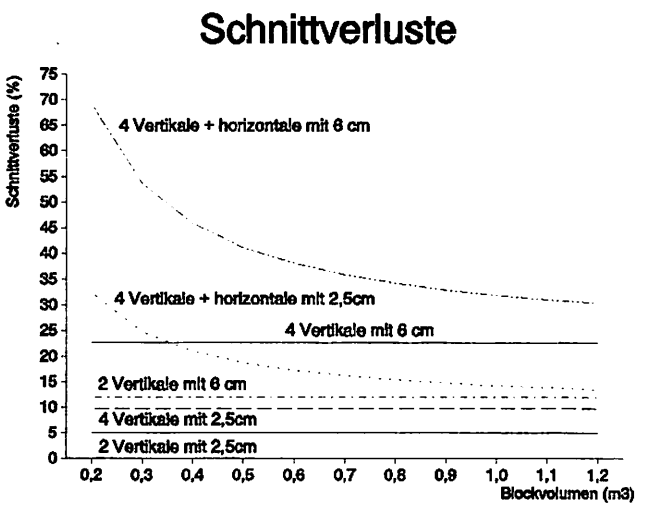


Abb. 214: Darstellung der Grundverluste bei nur 2,5 cm Verlust je Schnitt bzw. 6 cm Verlust je Schnitt.

Ein kostengünstiges Gewinnungsverfahren, bei dem hohe Schnittverluste entstehen, kann in der betriebswirtschaftlichen Gesamtbetrachtung zu einem schlechteren Ergebnis führen als ein vom Verfahren her teureres Verfahren, das ein höheres Ausbringen ermöglicht.

Gegebenfalls ist in Erwägung zu ziehen, ob die geologischen Verhältnisse eine verlustärmere Kombination von Gewinnungsverfahren gestatten. So könnte man sich beispielsweise angesichts der hohen Verlustbreiten beim Handbohrhammer (> 6 cm) mit diesem Gerät auf nur 2 oder 4 Löseflächen beschränken, um die anderen Flächen mit einem Verfahren zu lösen, welches nur 2,5 cm Schnitt verursacht.
Zu diesem Zweck ist es wichtig, die spezifischen Verluste je nach Gewinnungsverfahren zu ermitteln. Zunächst sind dafür aber noch andere Parameter zu erörtern.

8.1.2 Maschinen-Einsatz nach Blockgröße

Bei der Auswahl des Gewinnungsverfahrens ist insbesondere auf die Orientierung und Dichte der Trennflächen Rücksicht zu nehmen.
Trotz des schon weiter oben gemachten Vorbehaltes bezüglich genereller Aussagen über bestimmte Verfahren oder Maschinen kann hier doch vorab eine vom Prinzip her für alle Gesteinsarten geltende Regel für die Geräteauswahl gegeben werden (Tab. 39).

So hat es sich als nützlich herausgestellt, bestimmte Maschinentypen nur bis oder andere wieder ab bestimmten Durchschnittsblockgrößen einzusetzen. Aus den vielfachen Betriebsbefahrungen und -versuchen sowie den vermessenen Naturwerksteinbrüchen kann daher eine zusammenfassende Empfehlung für die Auswahl der Gewinnungsverfahren gegeben werden, die allein vom Volumen der Blöcke abhängig ist.

Gewinnungsverfahren	Durchschnittsblock
Hammer und Meißel	nur bei plattigem Gestein
Handbohrhammer	bis 0,4 m^3
Reihenbohren mit Karrette	ab 0,3 m^3
Fahrbares Reihenbohrgerät (mit Trägerfahrzeug)	ab 1,1 m^3
Reihenbohrgerät	ab 4 m^3
Schrämmaschine	ab 1,5 m^3
Seilsägeverfahren	ab 5,5 m^3
Flammenschneidverfahren	ab 1,4 m^3
Wasserschneidverfahren	ab 6,0 m^3

Tab. 39: Empfehlung für die Auswahl des Gewinnungsverfahrens bei alleiniger Berücksichtigung der Größe des Durchschnittsblocks.

Bei plattigen und kleinblockigen Gesteinen werden oft keine weiteren Abbaugeräte außer einem **Hammer und Meißel** benötigt (Tab. 39). Beispiele für Lagerstätten, bei denen diese Abbauverfahren angewandt werden, sind die Steinbrüche bei Solnhofen und einige Steinbrüche im Wesersandstein (wie z. B. am Sommerberg bei Holzminden).
Ein **Handbohrhammer** ist immer noch für Steinbrüche geeignet, deren Durchschnittsblöcke bei 0,4 m^3 liegen. Ab 0,3 m^3 ist aber zu überlegen, ob man nicht eine einfache Karrette verwendet, die leicht umsetzbar ist und mit der mehrere Bohrlöcher nebeneinander hergestellt werden können.
Über 1 m^3 ist der Einsatz eines **fahrbaren Reihenbohrgerätes** zu empfehlen, natürlich abhängig von den morphologischen Gegebenheiten und Lagerungsverhältnissen. Bewußt wurde hier das "normale" **Reihenbohrgerät** erst ab einer Durchschnittsblockgröße von 4 m^3 empfohlen. Das Einrichten beim fahrbaren Reihenbohrgerät ist schneller möglich und daher eher für geringe Bankmächtigkeiten geeignet.
Wenn die Klüfte nicht parallel, sondern spitzwinklig zueinander verlaufen, kann der Einsatz bestimmter Gewinnungsverfahren zu nicht erwünschten Blockformaten führen. Bei der **Schrämmaschine**, die auf ihren Schienen stets nur gerade auf einer langen Strecke schneidet, kann ein unregelmäßiger Kluftverlauf dazu führen, daß kleinere Blockdimensionen zustande kommen.

Bei flacher Lagerung kann Schrämen (gemäß Tab. 39) ab einem Durchschnittsblock von 1,5 m^3 eingesetzt werden.
Obwohl mit der **Seilsäge** Schnitte in allen Raumlagen durchgeführt werden können, ist bei schräg bzw. unregelmäßig lagernder Klüftung darauf zu achten, daß sie die Blöcke nicht unkontrolliert zerteilt und dadurch die Zuschnittverluste extrem ansteigen. Das Seilsägeverfahren eignet sich ab 5 m^3 Durchschnittsblock-Größe (auf die Gründe wird noch besonders eingegangen).
Das **Flammenschneidverfahren** kann schon bei kleineren Durchschnittsblöcken, ab 1,4 m^3 verwendet werden. Das **Wasserschneidverfahren** ist allerdings erst lohnend für Blockgrößen > 6 m^3. Das Gerät erfordert erheblichen Umsetzaufwand; ein einmal aufgestelltes kann jedoch mehrere übereinander- und nebeneinanderliegende Schnitte ansetzen.

8.2 Einsatz nach Gesteinsart und Morphologie

Wie oben dargelegt wurde, sind für die Auswahl des Gewinnungsverfahrens Blockgröße und hohes Lagerstättenausbringen maßgebend. Daneben sind jedoch weitere Faktoren von Bedeutung:
- die Gesteinsart,
- die Morphologie sowie
- die Lagerungs- und Spannungsverhältnisse.

8.2.1 Bohrverfahren

a) Die Bohrgeräte können als Handbohr- oder Reihenbohrgerät in allen Gesteinsarten eingesetzt werden.
Die Frage, ob Einzelbohrhämmer oder aber ein Reihenbohrgerät auszuwählen sind, richtet sich nach dem Bohraufwand pro Quadratmeter.
Ist bereits eine schwache Trennflächenausbildung vorhanden, so kann ein Bohrloch pro Quadratmeter ausreichend sein, und ein Reihenbohrgerät ist in diesem Fall nicht erforderlich (wie z. B. in Anröchte). Im ungünstigsten Fall sind bei sehr weitständigen Trennflächen für einen rechteckigen Block an allen Seiten freie Flächen zu schaffen.
b) Die unterschiedlich notwendige Anzahl an Bohrmetern je nach Schichtung, Klüftung und anderen geologischen Faktoren sollte von vornherein mit eingeplant werden. Bei hohem Bohrmeterbedarf ist ein Reihenbohrgerät in Erwägung zu ziehen, zumal auch die Parallelität der Bohrlöcher bei der Naturwerksteingewinnung von Bedeutung ist.

Auf Grund morphologischer Gegebenheiten ist nicht immer ein fahrbares Reihenbohrgerät einsetzbar.
Besonders für extreme Lagerungsverhältnisse, wie für stark einfallende Schichtung bzw. Bankung sowie zur Montage an steile oder seigere Steinbruchwände, eignet sich besser ein Reihenbohrgerät ohne Trägerfahrzeug.

Die **Geländegängigkeit** des Trägerfahrzeuges fahrbarer Reihenbohrgeräte muß gegeben sein. Traktoren als Trägerfahrzeuge haben im Steinbruch nicht genügend Kippstabilität, sie müssen daher mit zusätzlich ausgestellten Rädern nachgerüstet werden, bzw. für den Bohrvorgang müssen noch Stützen ausgefahren werden. Dies entfällt bei Kettenfahrzeugen, so daß sich die Umsetz- und Einrichtzeiten erheblich verringern.

Raupenfahrwerke gewährleisten nicht nur bessere Geländegängigkeit und höhere Stabilität als Radfahrzeuge, sondern auch schnelleres Ausrichten zur Herstellung einer Bohrreihe.

Sehr oft werden die fahrbaren Reihenbohrgeräte mit Trägerfahrzeugen angeboten, wie sie auch zum Strossenbohren zur Anwendung kommen. Bei einigen solcher Trägerfahrzeuge, wie dem

Zoomtrack mit Teleskoparm (Abb. 179), kann der Arm nur um jeweils 45° nach rechts und links geschwenkt werden. Dies bedeutet häufiges Umsetzen und schwieriges Einrichten des fahrbaren Reihenbohrgerätes. Hier hat es sich gezeigt, daß ein Hydraulikbagger mit Kettenantrieb als Trägerfahrzeug von Vorteil ist. Dieser hat einen längeren Ausleger, damit einen größeren Aktionsradius und ist voll schwenkbar.
Weiterhin ist der Bodenfreiheit Beachtung zu schenken, die bei einigen Trägerfahrzeugen nur knapp über 350 mm liegt, hingegen beim Hydraulikbagger ca. 800 mm beträgt.

In einigen Betrieben mit Reihenbohrgeräten müssen Arbeiter mit Handbohrhämmern die Löcher nachbohren. Da fragt man sich natürlich, ob man nicht lieber gleich auf ein anderes Gerät bzw. Handbohrhämmer umsteigen sollte.

Schlitzbohren

Bei weichen Gesteinen wie Kalk- oder Dolomitsteinen besteht die Gefahr, daß die Führung ausbricht, so daß das Schlitzbohren eher für harte Gesteine geeignet ist.

8.2.2 Schrämverfahren

a) Schrämmaschinen eignen sich nicht in Gesteinen mit hohem Quarzgehalt, weil dadurch der Verschleiß an der Kettenführung zu hoch ist. Geeignet sind die Schrämmaschinen für Kalkgesteine, Travertin und (mit anderen Schneidelementen ausgestattet) für weiche Tuffsteine, bedingt für Dolomitsteine. Höhere Leistungen sollen in den USA (Fa. Meyers) entwickelte Schrämmaschinen erbringen, die statt mit einer Kette mit einem Gurt arbeiten.
Versuche, Schrämmaschinen mit diamantbesetzten Schneidelementen in Sandsteinen und Graniten einzusetzen, waren bisher nicht erfolgreich, da der Verschleiß (vorwiegend bei der Kettenführung) zu groß war, so daß mit dem Einsatz von Schrämmaschinen in derartigen Gesteinen in naher Zukunft nicht zu rechnen ist.
Bei relativ ungestörten und mächtigen Tuffstein-Lagerstätten kann die Schrämmaschine mit hoher Schneidleistung arbeiten.

b) In der Eifel bewähren sich die Schrämmaschinen zum Schneiden von 1,1 · 1,1 · 1,7 m großen Tuffsteinblöcken, besonders dann, wenn die natürlichen Trennflächen nahezu senkrecht zueinander stehen und deren Abstände möglichst über 2 m liegen. Beim Schrämen in geklüfteten und gestörten Tuffsteinlagerstätten ist ein anderes Verfahren zu wählen, wie dies im Kapitel 9.4.2 der Arbeit am Beispiel des Tuffsteinabbaues Kassel ausführlich aufgezeigt wird.

Einschränkungen ergeben sich gelegentlich in Lagerstätten mit großdimensionierten gewinnbaren Blöcken dadurch, daß die Schneidlänge zu gering ist, um große geeignete Blöcke zu bekommen. Der Schnitt mit der Schrämmaschine ist, im Gegensatz zu anderen schneidenden Verfahren (z. B. Seilsägeverfahren, Flammenschneidverfahren), bei jedem Schneidvorgang unabhängig vom Gestein durch die Länge des Schwertes auf eine Tiefe von ca. 2 m bzw. 3 m begrenzt. Größtes Manko der Schrämmaschine ist aber, daß diese immer nur auf horizontalen Ebenen eingerichtet werden kann.
Die Kombination einer Schrämmaschine mit einer Seilsäge könnte hier vorteilhaft sein, worauf detailliert in Kapitel 8.7 eingegangen wird.

8.2.3 Seilsägeverfahren

a) Das Seilsägeverfahren kann sinnvoll sein in Kalkstein und Marmor, sofern nicht Spannungen auftreten (insbesondere beim Marmor), die Schwierigkeiten beim Seillauf bereiten.
Die Seilsäge ist auch geeignet für Sandstein, allerdings sind die Leistungen stark abhängig vom Quarzgehalt; gleiches gilt für Granit.

b) Beim Einsatz von Seilsägen besteht die Gefahr, daß das Seil durch Entspannungen des Gesteins oder durch geomechanisch bedingte Gebirgsbewegungen (Hangschub) eingeklemmt wird (vgl. a. [103]). Bei unter Gebirgsspannung stehenden Gesteinen, wie bei Graniten häufig anzutreffen, muß das Seil bei Einklemmen und Reißen oft wieder freigesprengt werden.
Bei der Anschaffung wird oftmals nicht berücksichtigt, daß Seilbruch durch unter Spannung stehendes Gestein eintreten kann, denn die Existenz von Gebirgsspannungen ist vielfach (vor der Anschaffung) gar nicht bekannt.
Das Sägen mit Diamantseilen in hochabrasiven Gesteinen, z. B. Graniten und Gneisen oder in Gesteinen, die unter hoher Gebirgsspannung stehen, bereitet derzeit noch Schwierigkeiten. An der Verbesserung dieses erst seit wenigen Jahren angewandten Sägeverfahrens wird jedoch mit enormen Anstrengungen insbesondere von seiten der Hersteller gearbeitet. Es ist daher zu erwarten, daß in absehbarer Zukunft das Diamantsägeverfahren auch in den hier genannten Problemfällen anwendbar sein wird.
Das Verlegen der Schienen für Diamantseilsägen ist sehr zeitaufwendig, so daß entsprechend lange Umsetzzeiten entstehen. Abhilfe schaffen hier Geräte, die auf einem verankerbaren Schienenarm laufen. Dadurch wird es möglich, auch in extrem schwierigen morphologischen Verhältnissen zu sägen.

8.2.4 Flammenschneidverfahren

a) Das Flammenschneidverfahren verlangt vornehmlich einen hohen Quarzgehalt, daher ist es für Granit gut anwendbar. Aber auch Quarzsandsteine verhalten sich bei Hitzebeanspruchung ähnlich wie Granite, wie dies bei Quarzsandstein-Säulen an einem Gebäude nahe der Mainzer Kathedrale, die bei einem Brand dem Feuer ausgesetzt wurden, zu beobachten war [180]. Versuche in den USA zeigten, daß auch Dolomit mit dem Flammenschneidverfahren geschnitten werden kann [40].

b) Bei verspanntem Gebirge ist das Flammenschneiden nicht nur als eigenständiges Verfahren einsetzbar, sondern auch, um Entlastungsschlitze herzustellen, die den Einsatz anderer Gewinnungsverfahren ermöglichen. Das Flammenschneiden ist auch zur Herstellung von Sprenglöchern nützlich.

8.2.5 Wasserschneidverfahren

a) Das Wasserschneidverfahren ist gut in grobkörnigen Gesteinen wie Graniten und Sandsteinen einzusetzen, aber auch in Brekzien. Für dichten Kalkstein ist das Verfahren kaum lohnenswert. Ein feinkörniger Kalkstein aus der Boulogne, ein belgischer feinkörniger Kalkstein sowie ein Massenkalk der Mitteldeutschen Hartsteinindustrie sind schlecht zu schneiden, wie Versuche gezeigt haben.
Bei grobkristallinem Marmor sind die Schneidleistungen vermutlich besser, so daß es sicher lohnenswert wäre, dies weiterzuverfolgen.

b) Das Wasserschneidverfahren ist auch bei Gebirgsspannungen möglich; es weist zudem Leistungen auf, die sich durchaus sehen lassen können, obwohl sie im Granit noch weit entfernt sind von denen im Sandstein. Allerdings befindet man sich hier in der Anfangsphase.

Bei gestörtem oder gut geschichtetem Gestein besteht die Gefahr, daß es nachbricht, und die Schneidlanze einklemmt.

8.2.6 Zusammenfassung

Auf Grund der vielfältigen Untersuchungen läßt sich nach dem augenblicklichen Erkenntnisstand ein Schema wie in Abb. 215 erstellen.
Für die Gewinnung von Gesteinen mit geringer Härte wie Tuffstein, Kalkstein, Dolomitstein, und Marmor sind die Bohr-, das Schräm- sowie das Seilsägeverfahren einsetzbar. Eventuell kann hier noch das Wasserschneiden für grobkristallinen Marmor hinzugefügt werden.
Für Sandstein fällt die Schrämmaschine weg, es sei denn, die Entwicklung der Fa. MEYERS, einer Maschine mit diamantbesetztem Gurt macht weitere Fortschritte. Hinzu kommt für Sandstein das Wasserschneidverfahren.
Bei Graniten oder zur Granitfamilie gehörenden Gesteinen kommt neuerdings das Flammenschneidverfahren hinzu. Bei stark verspannten Gesteinen wie (nicht nur, aber sehr oft) bei Graniten entfällt die Seilsäge, es sei denn, man kann durch die Steinbruchanlage für eine ausreichende Entspannung sorgen, worauf in einem späteren Kapitel eingegangen wird.

Zunächst sind jedoch noch weitere Bewertungskriterien der einzelnen Gewinnungsverfahren abzuhandeln, insbesondere die Güte der Schnitte, die Schneidleistungen und Kosten.

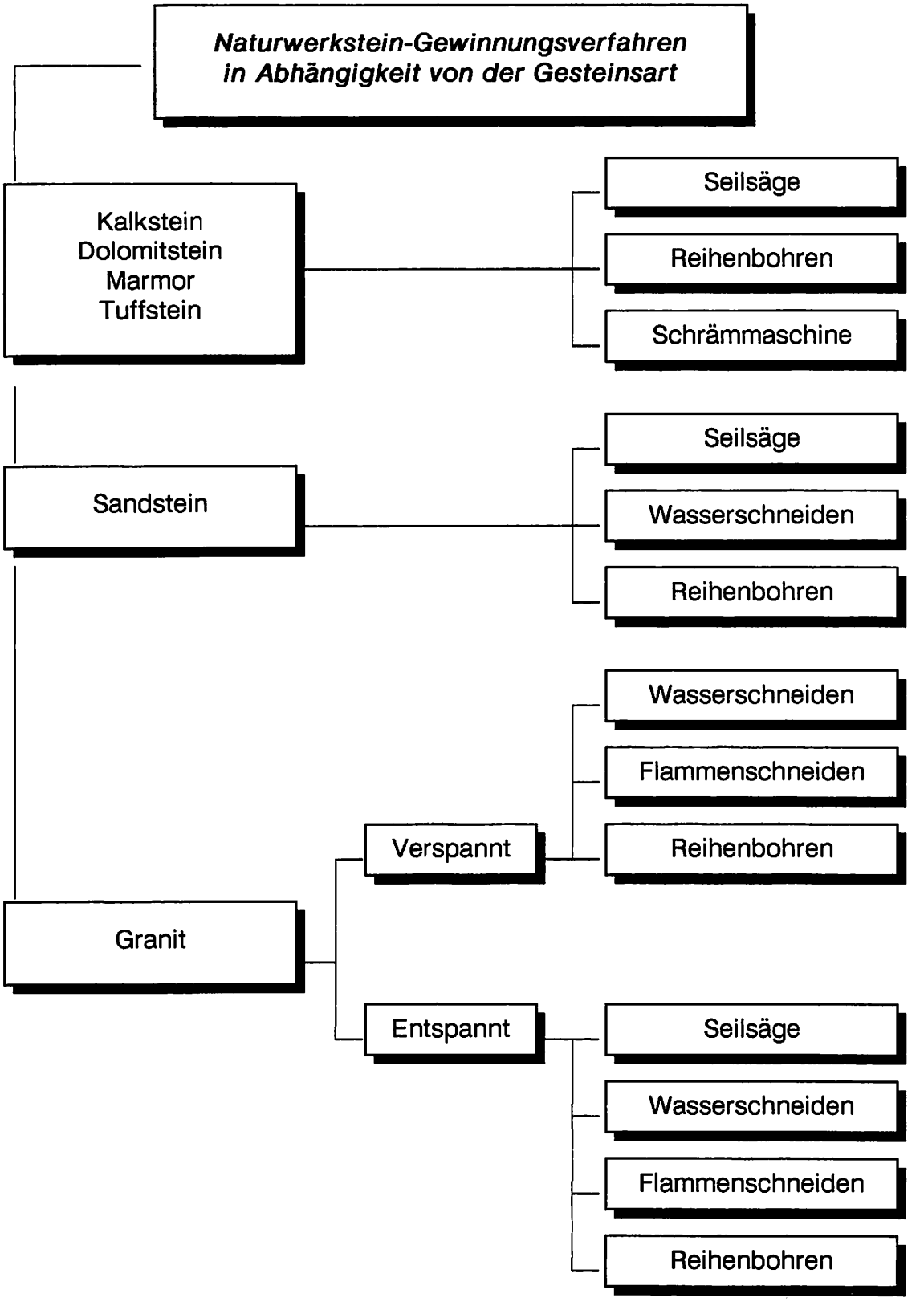


Abb. 215: Übersicht über die Gewinnungsverfahren in Abhängigkeit der Gesteinsart.

8.3 Güte der Löseflächenausbildung und Verluste

Nachdem schon generell erörtert wurde, wie stark die Verluste von der Blockgröße und zusätzlich noch von der Schnittbreite abhängig sind, sei hier die spezielle Abhängigkeit der Verluste von den einzelnen Verfahren aufgezeigt.
Je nach Gewinnungsverfahren entsteht eine unterschiedliche Ausbildung der mit den Verfahren erzeugten Löseflächen. Zu unterscheiden ist zwischen den beiden sich z. T. addierenden Schnittverlusten, der

- Breite der "Lösefläche s" und der
- Verlustzone, die als "Rauhabfall r" verworfen werden muß.

8.3.1 Breite der Lösefläche

Die Breite der Lösefuge betrug in der Zeit der Pharaonen, als im Hartgestein eine Rille mit Dolerithämmern vorgetrieben wurde, mehr als ein halben Meter. Heute hinterläßt die Seilsäge nur einen Spalt von 15 - 25 mm; auch die anderen Verfahren erzeugen nur einige Zentimeter Fugenbreite. Das erscheint wenig, aber dennoch addieren sich diese Verluste zusammen mit dem Rauhabfall zu recht ansehnlichen Beträgen (Tab. 40). Für größere Rohblöcke macht das anteilig weniger aus.

8.3.2 Güte der Lösefläche

Ziel der Gewinnung ist ein Block mit möglichst glatten Oberflächen. Dies nicht nur aus Gründen der Weiterbearbeitung, sondern auch, um beim Verkauf eines Blockes den Abschlag so gering wie möglich zu halten.
Die Herstellung von winkligen Blöcken sollte an sich im Steinbruch erfolgen, muß aber oftmals in der Verarbeitung geschehen, damit die Blöcke optimal für das Sägegatter zugeschnitten sind. Dazu benutzt man Einblattsägegatter, Diamantsägescheiben oder auch stationäre Seilsägen.

Die aus dem Steinbruch kommenden Blöcke werden auf dem Sägegatter in Plattenstärken von meistens 2 oder 3 cm geschnitten. Die Breite der Schnitte liegt bei ca. 4,5 mm. Sofern die Platten nicht begradigt, sondern direkt dem Weiterverarbeiter veräußert werden, erfolgt ein preislicher Abschlag. Dieser ist ein vom Verkäufer an den Käufer weitergegebenes, Blocklänge, -breite, und -dicke betreffendes Abmaß.
Der Abschlag wird einschließlich aller Oberflächenvorsprünge dem Bruttoblock bzw. der Bruttoplatte abgerechnet. Nach Abzug dieses Abschlages (Rauhabfall) spricht man vom Nettoblock (bzw. Nettoplatte).
Der Preisabschlag tritt hier an die Stelle des weiter oben erörterten Ausbeuteverlustes, er zeigt sich in hohem Maß von dem jeweiligen Gewinnungsverfahren abhängig.

Bereits in Kapitel 5.1 (Abb. 11) wurde darauf hingewiesen, wie stark die Verluste beim Formatieren der Rohblöcke sein können. Folglich muß beim Abbau darauf geachtet werden, an den Blöcken möglichst nicht zu rauhe Außenflächen zu erhalten.
Der Formatierverlust ist klein bei sehr glatten Trennflächen. Im Falle unebener Trennfugen oder sofern wenig schonende Gewinnungsverfahren mit entsprechend tiefer Einwirkung in das Gefüge zur Anwendung kommen, steigt der Rauhabfall merklich an.

8.3.3 Bohrverfahren

Die Durchmesser der verwendeten Bohrkronen liegen meist bei 36 mm bzw. 38 mm. Die Schnittbreite beträgt ca. 4 cm, kommt aber nicht zur Auswirkung (kein durchgehender Schnitt). Der Rauhabfall ist groß und stark davon abhängig, ob alle Bohrungen in einer Flucht liegen und daß keine Abweichungen von der Vertikalen eintreten. Hinzu kommen noch Verluste durch die nachgeschalteten Löseverfahren.

8.3.3.1 Handbohrhammer

Mit einem Handbohrhammer ist es sehr schwierig, Bohrlöcher nebeneinander in einer Flucht abzubohren. Daher ist hier ein Rauhabfall über 7 cm anzusetzen, der zumeist bei ca. 10 cm liegt.

8.3.3.2 Reihenbohren

Die Reihenbohrgeräte sollten eigentlich spezial dafür konstruiert sein, daß die Bohrlöcher alle in einer Reihe sitzen. In diesem Fall wäre der Rauhabfall niedriger als bei Handbohrhämmern und läge nur noch bei ca. 7 cm.

Aber auch bei modernsten Reihenbohrgeräten, bei denen man Bohrlöcher in einer Flucht erwarten sollte, sind diese leider nicht immer so angeordnet, wie es wünschenswert wäre. Die Abb. 216 zeigt einen Ausschnitt einer mit einem fahrbaren Reihenbohrgerät mit zwei Bohrlafetten abgebohrten Reihe. Der Abstand zwischen den Bohrstangen beträgt 45 cm.
Gleichzeitig wurden hier das erste Bohrloch durch den ersten Bohrhammer und in 45 cm Abstand das vierte Bohrloch durch den zweiten Bohrhammer abgebohrt. Die ersten drei Bohrungen von links sind von dem ersten, die nächsten drei von dem zweiten Bohrhammer erstellt worden. Das letzte Bohrloch wurde wieder mit dem ersten Bohrhammer abgebohrt. Der Seitenabstand ist unregelmäßig und die Löcher sind auch nicht in einer Flucht angeordnet.

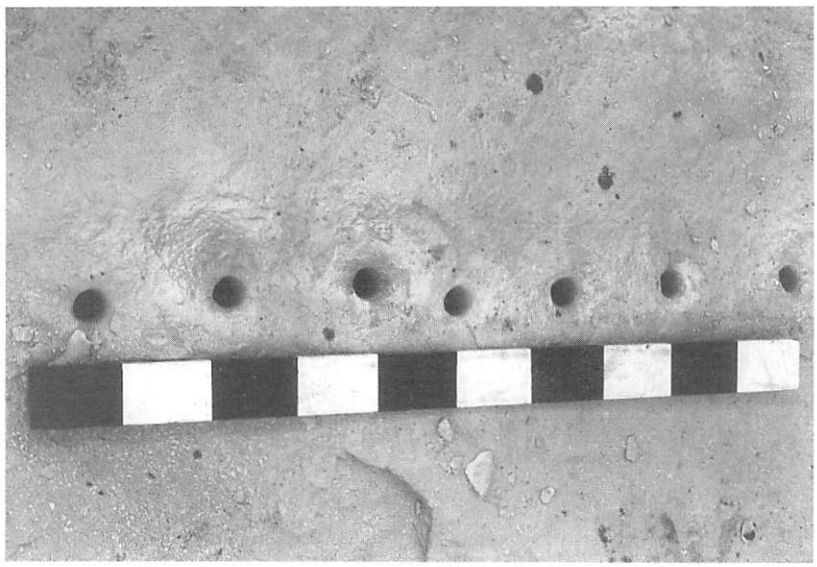


Abb. 216: Die Abbildung zeigt eine mit einem fahrbaren Reihenbohrgerät abgebohrte Reihe, in der die Bohrungen nicht in einer Flucht sitzen (Erläuterungen im Text, Länge der Meßlatte 100 cm).

Die Seitenabstände der Bohrlöcher können ungenau werden, wenn der Bediener nicht die meist eingebaute Abstandsautomatik verwendet. Aber selbst diese Automatik garantiert nicht für die vorgegebenen Seitenabstände der Bohrlöcher. Hier konnten bei verschiedensten Fabrikaten Abweichungen von bis zu 18 % ermittelt werden.

Nachgeschaltetes Lösen

Nicht selten zu beobachten sind parallel zur Bohrlochachse verlaufende bzw. von dieser ausgehende Risse durch Überladung mit Schwarzpulver (Abb. 217). Vielerorts wird leider nach der Devise gesprengt: "entweder der Block geht kaputt, oder er hält". Selbst mit Sprengschnüren lassen sich feinste Risse nicht vermeiden, so daß dadurch zusätzlicher Rauhabfall entsteht.

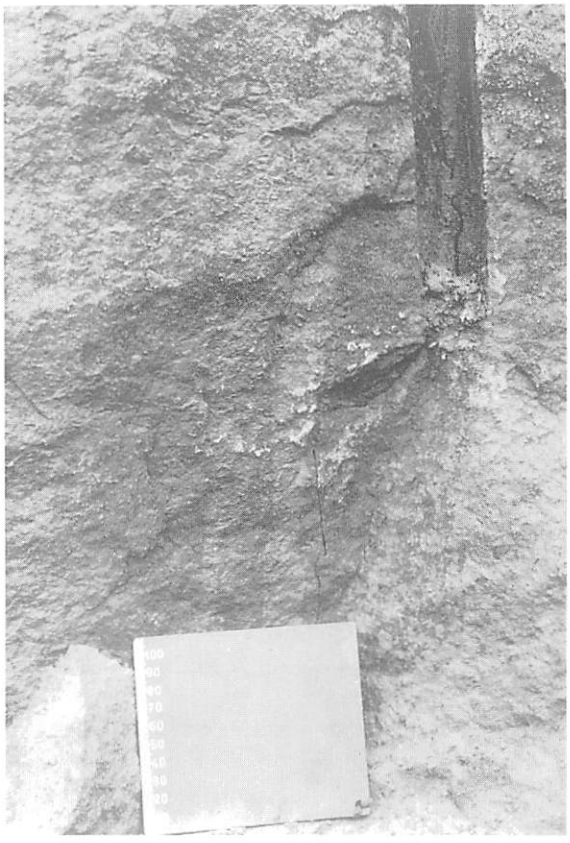


Abb. 217: Durch Überladung erzeugte Rißbildung entlang der Bohrlochachse (Maßstab der Meßplatte in mm).

Schlitzbohren

Die Oberfläche der erzeugten Trennflächen beim Schlitzbohren (Abb. 219) ist rauh, also bei weitem nicht so gut wie beim Schneiden mit dem Flammenschneidverfahren. Die Breite des Schlitzes liegt bei 70 mm, der zusätzliche Verlustbereich ist aber sicherlich geringer, da hier auf das Gestein schädigende Auswirkungen wie beim nachgeschalteten Lösen (durch Spaltgeräte oder Explosivstoffe) entfallen. Der Rauhabfall beträgt aber immer noch 5 cm.

8.3.4 Schrämverfahren

Die Breite des Löseschnittes liegt bei den Schrämmaschinen im Tuffstein bei 7 cm. Beim Kalkstein liegt die Schrämbreite bei minimal 4,2 cm. Der Rauhabfall ist bei 5 cm anzusetzen. Die Qualität der Schnittfläche ist als gut zu bezeichnen, aber noch nicht mit der durch eine Seilsäge zu vergleichen.

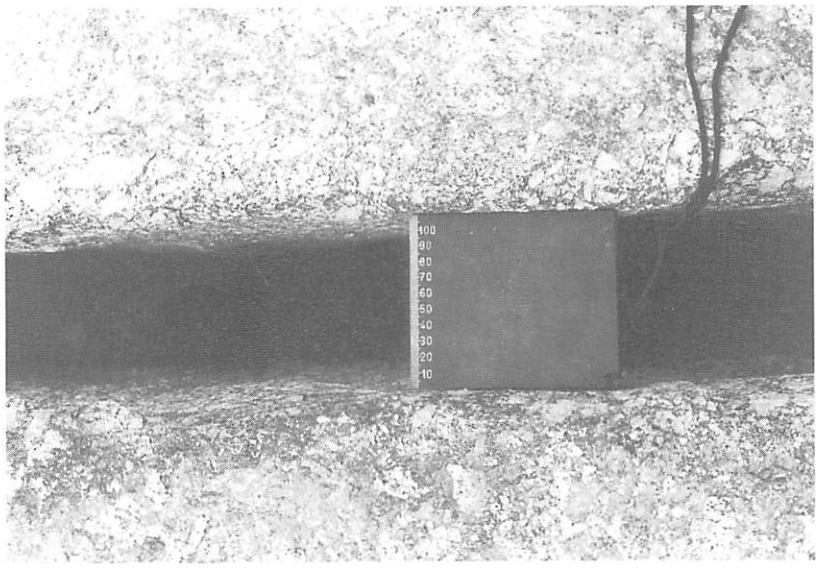


Abb. 218: Erzeugte Lösefläche mit dem Flammenschneidverfahren im Granit (Maßstab der Meßplatte in mm).

8.3.5 Seilsägeverfahren

Die beste Qualität weisen mit Seilsägen erzeugte Trennflächen auf. Die Schnittbreite ist mit 1,2 cm bis 2 cm sehr gering.

Vorteilhaft beim Seilsägen ist, daß bereits eine glatte Auflagefläche erzeugt wird und das Zurichten des Blockes auf der Einblattsäge entfällt, sofern nicht der Block schiefwinkelig geschnitten oder das Seil unruhig gelaufen ist. So fallen nur ca. 2,5 cm Abfall durch Rauhigkeit und Mikrorisse an jeder Fläche an.

8.3.6 Flammenschneidverfahren

Die Breite des Trennschlitzes ist bei diesem Verfahren mit ca. 10 cm recht hoch und nur erwünscht, wenn das Gebirge verspannt ist. Die Abb. 218 zeigt eine mit einem Flammenschneidverfahren im Granit (Bayerischer Wald) erzeugte Lösefläche. Die Schnittbreite liegt hier im Anfangsbereich des Schnittes bei 11 cm, beträgt aber ansonsten ziemlich gleichmäßig 10 cm.
Die Qualität der Schnitte beim Flammenschneiden ist äußerlich mit einer leicht unebenen und rauhen Oberfläche als gut zu bezeichnen. Leider wird das Gestein durch den Hitzeschock jedoch in einem gewissen Bereich in seinem Mikrogefüge gestört, so daß der Rauhabfall doch recht hoch mit 5 cm anzusetzen ist.

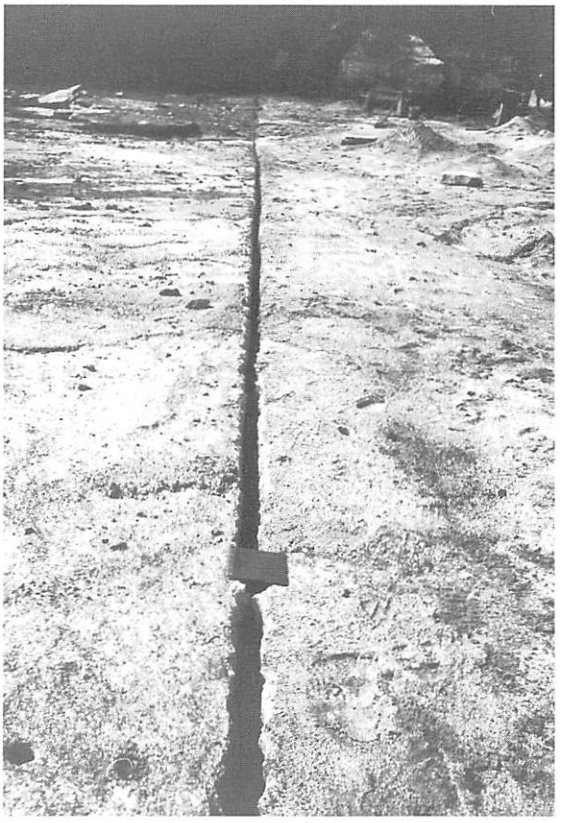


Abb. 219: Mit dem Schlitzbohrverfahren erzeugter Löseschnitt (Maße der Meßplatte 13 · 11 cm).

8.3.7 Wasserschneidverfahren

Die Schnittbreite beim Wasserschneidverfahren ist abhängig von der Gesteinsart. In dem geschilderten Sandsteinbruch in den Vogesen beträgt die Schnittbreite im Mittel 8 cm. Versuche an einem Elbsandstein-Rohblock ergaben 6 cm bis maximal 8 cm.

Im Granit ist die Schnittbreite mit 6 cm (Abb. 220) etwas niedriger als bei Sandsteinen.
Bei dem Wasserschneidverfahren, mit

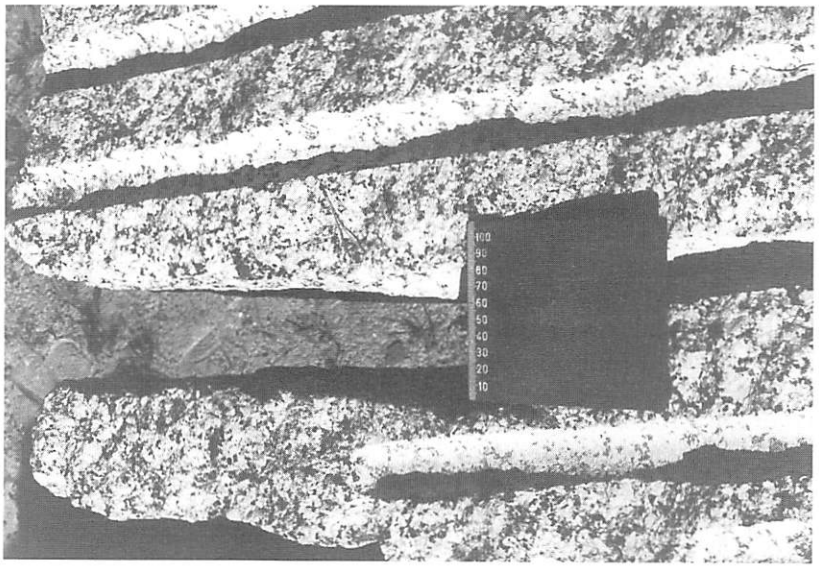


Abb. 220: Mit dem Wasserschneidverfahren erzeugter Schnitt in einem Granit (Epprechtstein). Die Breite der Lösefläche liegt bei 6 cm (Maßstab der Meßplatte in mm).

dem in Colorado/USA gearbeitet wird, soll die Löseflächenweite nur bei knapp 4 cm liegen, allerdings bei Schneidleistungen von lediglich 0,6 m^2/h [177].
Die Trennfläche ist sehr rauh, aber ohne merkliche Einwirkungen auf das Gefüge des Gesteins. Der Rauhabfall beträgt nur 4 - 5 cm.

8.3.8 Addition der Verluste

Durch die einzelnen Gewinnungsverfahren wird festes Gestein gelöst und so die zum Blockabtrennen notwendige Fuge hergestellt. Dabei sind die Unterschiede in den Schnittbreiten wesentlich stärker von den Verfahren und den eingesetzten Maschinen abhängig als von den Gesteinsarten.

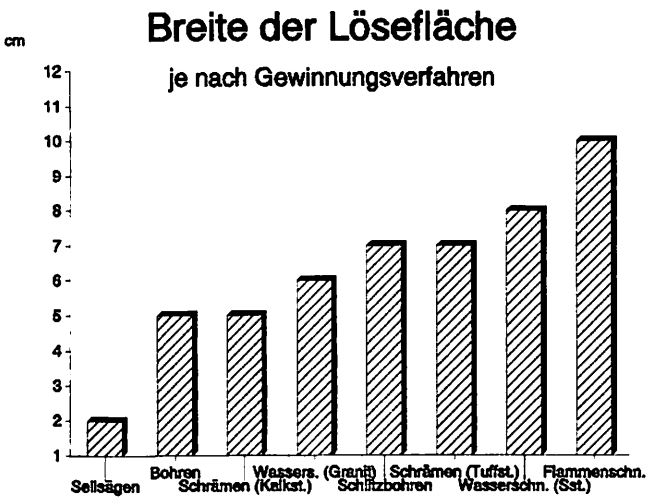


Abb. 221: Breite der erzeugten Lösefläche je nach Gewinnungsverfahren.

Aus den aufgeführten Löseflächenbreiten ergibt sich die Gegenüberstellung in Abb. 221: die geringste Schnittbreite erzeugt das Seilsägeverfahren. Das Bohrverfahren allgemein und das Schrämen liegen beide im Bereich von ca. 5 cm. Das Wasserschneidverfahren im Granit liegt etwas darüber (6 cm), im Sandstein mit ca. 8 cm über dem Schlitzbohren. Die größte Schnittbreite zeigt das Flammenschneidverfahren.

Die auftretenden Verluste am herausgewonnenen Rohblockvolumen zeigt die in Abb. 222 aufgestellte Grafik für den Rauhabfall. Dieser entsteht, wenn der Block an allen Seiten mit den jeweiligen Gewinnungsverfahren gelöst wird. Auch hier liegt das Seilsägeverfahren an erster Stelle: an einem Rohblock von 1 m^3 tritt ein maximaler Rauhabfall von ca. 17 % ein. Er beträgt beim Handbohrverfahren, bei gleicher Blockdimension, bereits knapp 50 %.

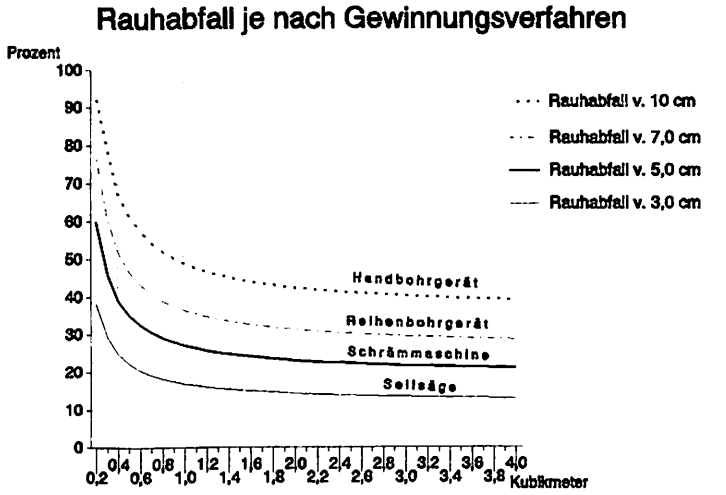


Abb. 222: Rauhabfall je nach Gewinnungsverfahren. Hier berechnet unter der Voraussetzung, daß dieser an allen sechs Flächen eines Blockes anfällt.

Bei der Lösearbeit im fortschreitenden Abbau gehen verloren:
- zwischen zwei Blöcken jeweils eine Schnittbreite, also je Block die Hälfte des 1. Vertikalschnitts, des 2. Vertikalschnitts und des Horizontalschnitts (Abb. 223).
- Obendrein entsteht an jeder der 6 Flächen des Rohblocks der Rauhabfall.

Wie schon erwähnt, summieren sich die eigentlichen Löse- mit den Rauhabfall-Verlusten bei den einzelnen Gewinnungsverfahren. Diese Gesamtverluste müssen nun unbedingt bei der Auswahl der Gewinnungsverfahren berücksichtigt werden.

Die Zusammenstellung (Tab. 40) zeigt, daß das Seilsägeverfahren die geringsten Verluste aufweist, wohingegen die größten Verluste beim Bohren auftreten können.
Trotz ihrer noch breiten Schnitte bringen das Flammen- und das Wasserschneiden noch durchaus mit den anderen Verfahren vergleichbare Verluste.

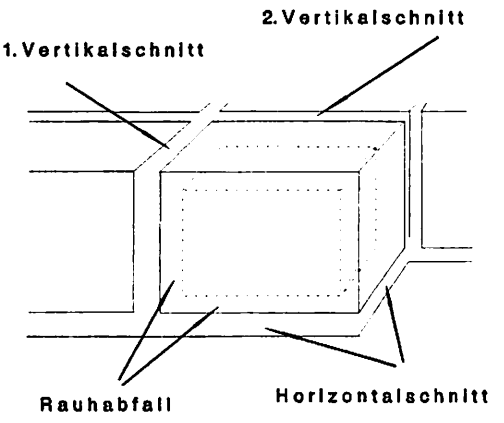


Abb. 223: Die Zeichnung veranschaulicht die durch die Breite der Lösefuge und den Rauhabfall bedingten Verlustzonen.

Diesen Verfahren sollte daher aus dem Gesichtspunkt des lagerstätten-schonenden Abbaus ganz besondere Aufmerksamkeit zuteil werden, zumal wenn es noch gelingt, ihre Leistungen zu steigern und die Kosten zu mindern.

Gewinnungsverfahren	Lösefuge s in cm		Rauhabfall r in cm		Verlust r + ½ s
Handbohren	(4)	Flucht schwer	10	zumal incl.	12
Reihenbohren	(4)	auch oft	> 7	Sprengen	9 - 11
Schlitzbohren	7		5		9
Schrämen	5		5	Probleme b.	8
Seilsägen	1,5		2,5	Klüftigkeit	3 - 4
Flammenschneiden	10		5		10
Wasserschneiden	6 - 8		5		8 - 9

Tab. 40: Zusammenstellung der durch die Gewinnungsverfahren bedingten Mindestverluste in Form der Breite der Lösefuge und des Rauhabfalls.

Nur wenn eine Lagerstätte eine gute Rohblockhöffigkeit zeigt, kann man ein Gewinnungsverfahren mit hohen Schnittverlusten überhaupt nur diskutieren, falls es besonders kostengünstig ist. Hierzu wird noch in Kapitel 8.5.4 Stellung genommen. Zunächst sind Leistungen und Kosten der Gewinnungsverfahren zu ermitteln.

8.4 Leistungen der Gewinnungsverfahren

Die Schneidleistungen werden durch folgende Faktoren beeinflußt:
gebirgsbedingt: tektonische und atektonische Trennflächen, Spannungszustand;
gesteinsbedingt: Mineralbestand, Gefüge.

Für die wichtigsten Gesteinsarten der Bundesrepublik, also Kalkstein, Dolomitstein, Sandstein und Granit, wurden die nachstehenden Gewinnungsleistungen ermittelt, sofern dafür entsprechende Messungen möglich waren. Ein Teil der Messungen wurde auch im Ausland durchgeführt.

Gemessen wird normalerweise der Vortrieb in einer Zeiteinheit (z. B. beim Bohren m/min, beim Schneiden m/h u. ähnliches). Der notwendige Bohrlängenaufwand zum Lösen eines Blockes schwankt zwischen 9 - 25 m/m^3, je nach geologischen Voraussetzungen, d. h. nach der Trennflächenausbildung.
Als Vergleichswert interessiert bei unterschiedlich großen Blöcken der Aufwand für eine Lösefläche in m^2 pro Arbeitsstunde. Die Angaben der Hersteller liegen in den Leistungen meist um 15 % zu günstig, weil diese Firmen oft unter idealisierten Bedingungen messen. Nicht nur die Schnittgüte, auch die Schneidleistung hängt natürlich von den Maschinenbedienern ab.

Es ist allgemein üblich die reine Maschinenarbeitszeit als Netto-Arbeitszeit anzugeben, demzufolge auch die Leistung in dieser Zeit als "Netto" -Vortrieb (Bohrfortschritt u. a.) zu bezeichnen. Dementsprechend werden auch hier in m^2/h zunächst die **Netto-Schneidleistungen** der Maschinen angegeben.
Durch zusätzliche Rüst- oder Nebenzeiten führt das jedoch zu einem insgesamt größeren (Brutto-) Zeitaufwand und damit zu kleineren Leistungszahlen. Es hat sich z. T. eingebürgert, dieses als Brutto-Leistungen zu bezeichnen, obwohl das nicht dimensionsgerecht ist. Es werden hier die insgesamt resultierenden Leistungen des Verfahrens, also die unter Berücksichtigung aller Nebenzeiten erzielten, als **Effektiv-Leistungen** benannt.

Beim endgültigen Vergleich sind schließlich beide Zahlen von Interesse:
- die reinen Netto-Bohr- oder Schneidleistung in m^2/h und
- die jeweilige Effektiv-Leistung des Verfahrens in m^2/h.

Bei letzterer müssen alle Einricht- und Umsetzzeiten eingerechnet sein, zusätzlich das nachgeschaltete Lösen beim Bohrverfahren bzw. beim Seilsägeverfahren die zuvor notwendigen Bohrungen, deren Zeitaufwand relativ hoch ist.
Selbstverständlich sind solche Arbeiten auch vom Bediener abhängig. Zum Beispiel betrug das Umsetzen eines fahrbaren Reihenbohrgerätes im Mittel 2,1 min.

8.4.1 Bohrverfahren

Der Bohrfortschritt beim schlagenden Bohren ist abhängig vom Gestein, dem Zustand der Bohrkronen, aber auch von Andruck, Schlagenergie und Umsetzwinkel. Reihenbohrgeräte können einen viel höheren Druck auf die Bohrhämmer ausüben, als dies einem Mann beim Handbohrhammer über den ganzen Tag hinweg möglich wäre. Infolgedessen entsteht auf die Dauer auch ein entsprechender Leistungsunterschied.

Zu dem Zeitaufwand für die reinen Bohrmeter (Nettobohrzeit) müssen noch die Zeiten zum Heben der Bohrlafetten und das Versetzen des Schlittens zur nächsten Bohrung einbezogen werden. Zusätzlich kommen die Einricht- und Umsetzzeiten des Bohrgerätes selbst hinzu, wobei die Mobilität mit ins Gewicht fällt. Die Umsetzzeiten sind bei den Reihenbohrgeräten größer als bei den Handbohrhämmern. Die einfachen Reihenbohrer benötigen eine etwas längere Einrichtzeit als die fahrbaren Reihenbohrgeräte.

Da bei den Bohrverfahren noch keine durchgehende Lösefläche geschaffen wird, ist zusätzlich der Zeitaufwand für das nachgeschaltete Lösen zu berücksichtigen.
Die Bohrleistung von Maschinen mit mehreren Bohrhämmern ist zwar höher, aber leider nicht proportional zu ihrer Anzahl.

Kalkstein

Für die Handbohrgeräte wurde eine Netto-Schneidleistung von 3,5 m^2/h gemessen. Einschließlich aller Nebenzeiten ergibt sich für das Bohrverfahren eine Effektiv-Leistung von 3,1 m^2/h.

Mit dem fahrbaren Reihenbohrgerät kann eine Netto-Schneidleistung (ohne alle Nebenzeiten) von 10 m^2/h erzielt werden. Bei Berücksichtigung aller einzubeziehender Nebenzeiten erbringt dieses Verfahren immerhin noch eine Effektiv-Leistung von 7,5 m^2/h.

Sandstein

Die Netto-Schneidleistung beim Handbohren liegt bei 3 m^2/h, die Effektiv-Leistung dieses Verfahrens reduziert sich auf 2,8 m^2/h.

Beim fahrbaren Reihenbohrgerät mit einer Bohrlafette wird eine Netto-Schneidleistung von 5,7 m^2/h erreicht, einschließlich aller Nebenzeiten hat dieses Verfahren eine Effektiv-Leistung von 4,3 m^2/h.

Granit

Im Granit können mit dem Handbohrhammer 1,5 m^2/h geleistet werden. Nebenzeiten fallen bei der längeren Bohrzeit dabei kaum ins Gewicht, so verbleiben insgesamt knapp 1,5 m^2/h Effektiv-Leistung.

Bei einem Reihenbohrgerät konnte die Netto-Schneidleistung zu 6 m^2/h errechnet werden. Angesichts der Umsetzzeiten ergeben sich für dieses Verfahren insgesamt 4 m^2/h Effektiv-Leistung.
Ein fahrbares Reihenbohrgerät hat die gleichen Netto-Schneidleistungen wie obiges Reihenbohrgerät. Wegen geringerer Einricht- und Umsetzzeiten resultiert für dieses Verfahren eine Effektiv-Leistung von 4,2 m^2/h.

8.4.1.1 Schlitzbohren

Die Schneidleistung beim Schlitzbohren von Granit beträgt 2,2 m^2/h (Herstellerangabe: 2,7 m^2/h). Ein Querrahmen reicht für eine Bohrzeit von ca. 3,5 Stunden Bohren aus, was natürlich auch wieder von der Bohrlochlänge abhängig ist. Einschließlich aller Nebenzeiten, bei denen das nachgeschaltete Lösen entfällt, errechnet sich die Effektiv-Schneidleistung auf 2 m^2/h.

8.4.2 Schrämverfahren

Die Schrämmaschine war das erste Gewinnungsverfahren, welches eine reine Schneidleistung von über 6 - 8 m^2/h in Travertin erreichte [40]. Im Marmor, insbesondere in den grobkörnigen Varietäten, lag die reine Schneidleistung noch höher.

Allerdings kann sich das jeweilige Umsetzen der Maschine (mit mindestens 1 - 1½ Stunden) sehr zeitintensiv gestalten, um auf einer Länge von 16 - 20 m schrämen zu können. Das reine Schrämen erfordert zur Bedienung nur einen Mann, das Umsetzen der Maschine (inclusive Verlegen der Schienen) hingegen zwei Mann, was später auch bei den Kosten zu Buche schlägt.
Die Schneidleistungen sind von der Vorschubgeschwindigkeit und der Länge des Schneidarmes abhängig. So liegen die Netto-Schneidleistungen mit 2 m Schneidarm im Travertin bei 2 m^2/h, in Carrara Bianco 7 -10 m^2/h und in Peperino (Tuffstein) 14 m^2/h. Bei dem 3 m Schneidarm liegt die Schneidleistung im Travertin bei 10 m^2/h [6].

Kalkstein

Die Netto-Schneidleistung im Kalkstein kann bei 11 m^2/h liegen. Sie reduziert sich aber auf eine Leistung von effektiv 7,8 m^2/h.
(Im sandigen Kalkstein (Anröchte) liegt die Netto-Schneidleistung sogar nur bei 7,1 m^2/h).

Dolomitstein

Im Dolomitstein wird eine Schnittgeschwindigkeit von ca. 1 m/h erreicht. Daraus errechnet sich bei einer Schnittiefe von 2,2 m eine Nettoschneidleistung von 2,2 m^2/h. Da dieser Wert aber sehr niedrig erschien und keine weiteren Vergleichsmessungen möglich waren, ist er Wert mit Vorbehalt zu betrachten.

8.4.3 Seilsägeverfahren

Ursprünglich war das Schneiden mit dem Seilsägeverfahren nur in Kalkstein (1 - 1,5 m^2/h) und Marmor (2 - 2,5 m^2/h) möglich.
Heute liegen die Netto-Schneidleistungen im Kalkstein bei ca. 9 m^2/h, im Carraramarmor mit Diamantseil bei ca. 14 m^2/h, mit gesinterten Seilen bei 12 m^2/h.
Die Hersteller bezweifeln, daß die derzeit erreichten Leistungen verbessert werden können [40].

Die Herstellerangaben der Netto-Schneidleistungen pro Quadratmeter entsprechen in den meisten Fällen auch dem Stundenzähler der Maschine. Jedoch muß zu Anfang eines Schnittes die Seilsäge über einen Zeitraum von bis zu einer Stunde per Hand gesteuert werden, was mit in den Zeitaufwand für die Schneidleistungen einbezogen werden muß.
Die Nebenzeiten bei diesem Verfahren sind extrem hoch: Für das Einrichten auf gerade liegenden Schienen wird ca. 1 Stunde benötigt, auf unebenem Gewinnungsniveau bis zu 2 Stunden. Großen Zeitaufwand erfordert das Bohren der Bohrlöcher (incl. Peilen), das Seildurchziehen, das Instandsetzen des Seiles (Austausch von abgenutzen Schneidelementen) etc. Hierfür werden mitunter mehrere Stunden benötigt. Die hohen Netto-Schneidleistungen werden dadurch empfindlich gemindert.

Kalkstein

Im Kalkstein konnte eine hohe Netto-Schneidleistung von 11 m^2/h errechnet werden. Auf Grund der oben aufgeführten Gründen reduziert sich die Effektiv-Schneidleistung auf 6,5 m^2/h.

Dolomitstein

Das Seilsägeverfahren ist auch für Dolomitstein geeignet. Die Schneidleistung liegt bei dem geringfügig härteren Dolomitstein etwas niedriger, sie konnte aber im Rahmen der Arbeit nicht ermittelt werden.

Sandstein

Das Seilsägeverfahren kann in feinkörnigen Sandsteinen mit niedrigerem Quarzgehalt, wie beispielsweise in kalkigen Sandsteinen, eingesetzt werden. Die Schneidleistungen liegen in diesem Fall aber erheblich unter denen von Kalksteinen. Die Netto-Schneidleistung liegt bei 4 m^2/h, die sich einschließlich aller Nebenzeiten auf 2,5 m^2/h reduziert.

Granit

Die reinen Schneidleistungen liegen im Granit (Bayerischer Wald, Baveno Granit) bei 1,7 - 3 m^2/h, wobei letzterer Wert ein Maximalwert ist, der nur bei optimalen Bedingungen erreicht wird. Die Standzeit des Seiles liegt bei ca. 3 - 4 m^2/Meter. Nicht berücksichtigt wurden eventuelle Zwischenfälle und Materialverlust durch Gebirgsspannung. Die Effektiv-Leistung ergibt 1,6 m^2/h.
Zumeist werden für Granit deutlich höhere Schneidleistungen angegeben, oft sogar die in Gneisen. In norditalienischen Gneisen (Serizzo, Beola) liegen die Schneidleistungen bei rund 4 m^2/h, und die Standzeit beträgt 5 m^2/Meter. Im quarzärmeren Diorit gibt ein Hersteller [77] die Netto-Schneidleistungen mit durchaus realistischen 2 m^2/h an.
Der durchschnittliche Bohrfortschritt im Granit mit einer 85 mm Stiftbohrkrone, um die Führungsbohrungen herzustellen, liegt bei 3 m/h Nettobohrzeit.

8.4.4 Flammenschneidverfahren

Flammenschneiden ist um so erfolgreicher, je höher der Quarzgehalt des Gesteins ist. Ein Granit bzw. granitähnliche Gesteine mit einem Quarzanteil von über 15 Volumenprozent sind gut zu trennen.
Wie oben schon ausgeführt, ist das Flammenschneidverfahren bedingt auch für Dolomitstein und Quarzsandstein geeignet, ist aber allen anderen Gewinnungsverfahren hierbei noch unterlegen.
Die Einricht- und Umsetzzeiten sind beim Flammenschneiden nicht hoch.

Granit

Die Netto-Schneidleistung im Granit beträgt 1,6 m^2/h. Die Effektiv-Leistung des Verfahrens liegt knapp unter diesem Wert.

8.4.5 Wasserschneidverfahren

Ähnliche Voraussetzungen wie das Flammenschneiden erfordert das Wasserschneiden, vor allem möglichst mittel- bis grobkörnige Gesteine. Das Wasserschneidverfahren eignet sich bevorzugt für nicht homogene Gesteine.
Das Einrichten dauert ca. 2 h. Die Einsatzzeit an einem Betriebspunkt, bei der eine Gesteinsfläche von 24 m Länge und 10 m Höhe in mehrere Horizontalschnitte geteilt wird,

beträgt etwa 1 Woche. Daher werden die eigentlichen Schneidleistungen bei diesem Verfahren insgesamt durch Nebenzeiten wenig beeinflußt.

Sandstein

Die Netto-Schneidleistung beim Wasserschneidverfahren liegt bei 8 m^2/h und beträgt für das Verfahren insgesamt immerhin noch 7,9 m^2/h Leistung.

Granit

Die Anlage erreicht im Granit mit 1,8 m^2/h eine deutlich niedrigere Leistung. Diese reduziert sich auf eine Netto-Schneidleistung von 1,7 m^2/h und ist damit noch weit entfernt von den guten Ergebnissen im Sandstein.

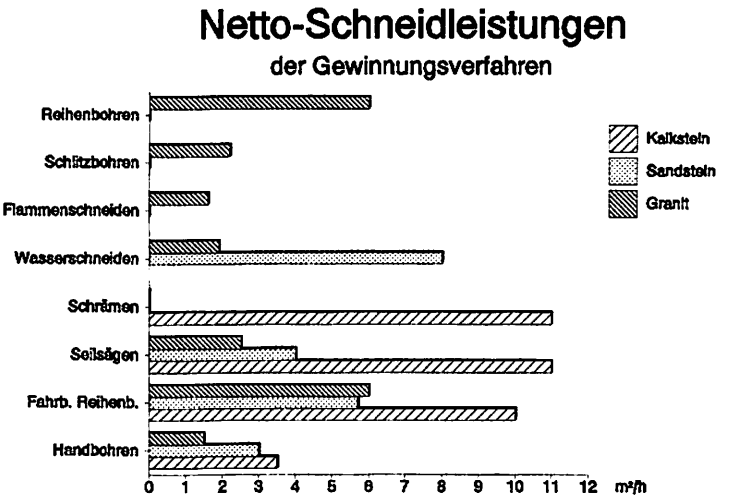


Abb. 224: Netto-Schneidleistungen ausgewählter Gewinnungsverfahren bei verschiedenen Gesteinsarten.

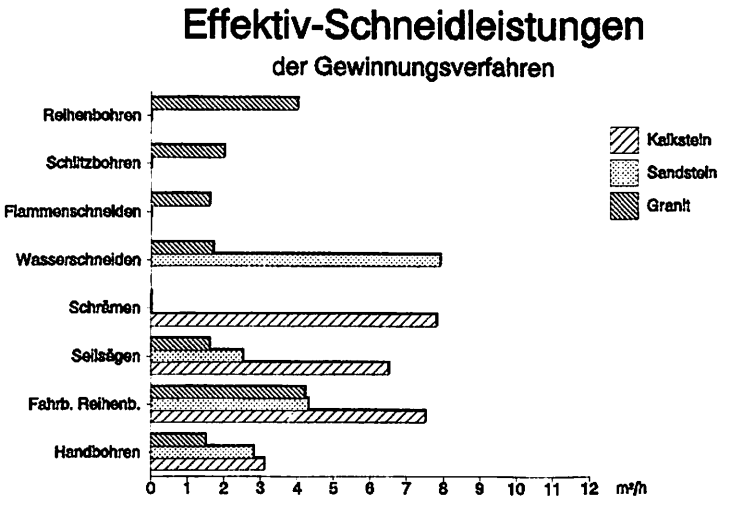


Abb. 225: Effektiv-Schneidleistungen ausgewählter Gewinnungsverfahren bei verschiedenen Gesteinsarten.

Andere Gesteinsarten

Zusätzliche Versuche an Rohblöcken verschiedener Gesteinsarten brachten nachfolgende Ergebnisse:
Ein Rhyolith ist ähnlich gut schneidbar wie ein Granit, er ist nicht so kompakt bei vergleichbarem Quarz-Gehalt. Ein Konglomerat aus Österreich sowie Carraramarmor waren relativ gut zu schneiden, die Leistungen unter Betriebsbedingungen dürften bei ca. 3 - 4 m^2/h liegen. Ein Trachyt aus dem Westerwald war zu feinkörnig und hat zu geringen Quarzgehalt. Er erwies sich daher mit dem Wasserschneidverfahren als nicht schneidbar.

8.4.6 Zusammenfassung

Die Diagramme (Abb. 224 und Abb. 225) zeigen eine Gegenüberstellung der Netto- und Effektiv-Schneidleistungen der Verfahren insgesamt.
Generell findet man in beiden Diagrammen die Reihenfolge der Leistungen:
Granit < Sandstein < Kalkstein.

Die Leistungsunterschiede (Netto/Effektiv) der untersuchten Verfahren in den einzelnen Gesteinsarten sind erheblich, wie aus der folgenden tabellarischen Übersicht hervorgeht:

Kalkstein:	Hnd.-Bohren 3,5/3,1 m^2/h	zu Schrämen, Sägen, Reihenb. 11-10/7,5-8 m^2/h.
Sandstein:	Hnd.-Bohren 3/2,8 m^2/h	zu Wasserschneiden 8/7,9 m^2/h.
Granit:	Hand-Bohren und Flammen 1,7/1,5 m^2/h	zu Reihenbohren 6/4 m^2/h.

Das heißt, gegenüber dem alten Handbohrverfahren ist im **Kalkstein** mit neueren Verfahren eine 2-3 fache Leistung zu erreichen. Im **Sandstein** wurde mit dem Wasserschneidverfahren im Vergleich zum Handbohren der gleiche Faktor erreicht. Im **Granit** erreicht das Reihenbohren eine Leistungssteigerung um den Faktor 3-4.

Besonders interessant sind die Leistungsunterschiede zwischen der auf die reine Betriebszeit bezogenen Netto-Leistung und der unter der Berücksichtigung aller Nebenzeiten errechneten Verfahrensleistung (Effektiv-Leistung). Sie sind in der folgenden tabellarischen Darstellung zusammengefaßt (Tab. 41).

Gewinnungsverfahren Vergleich der Netto- zur Verfahrensleistung (Effektivleistung)	
Verfahren	Vergleich
Handbohren	Keine nennenswerten Unterschiede
Reihenbohren	Bei geeigneten Bankmächtigkeiten Nettoleistungen mehrfach höher als beim Handbohren, Verfahrensleistung jedoch graduell geringer
Flammenschneiden	Gleiche Werte
Wasserschneiden	Nahezu gleiche Werte
Schrämen	Rückgang im Kalkstein von 11 auf 7,7 m^2/h
Seilsägen	Rückgang Im Kalkstein von 11 auf 6,5 m^2/h Im Sandstein von 4 auf 2,5 m^2/h Im Granit von 2,5 auf 1,5 m^2/h

Tab. 41: Vergleich zwischen Netto- und Effektivleistung der einzelnen Gewinnungsverfahren.

Dieser Vergleich zeigt, daß sich die Einrichtungs- und Umsetzzeiten bei den Verfahren Hand- und Reihenbohren sowie Flammen- und Wasserschneiden nur geringfügig auswirken. Hingegen sind diese Nebenzeiten beim Schrämen und Seilsägen deutlich größer und verursachen beim Seilsägeverfahren einen Leistungsrückgang von 50 - 60 %. Speziell bei diesem Verfahren ist daher eine Verringerung der Nebenzeiten dringend erforderlich.

Angemerkt sei noch, daß Seilsägen, Wasserschneidgeräte, aber auch die Schrämmaschine und in geringerem Maße auch das Reihenbohren, es ermöglichen, während des Schneidvorganges auch anderen Arbeiten nachzugehen.
Im besonderem Maße ist dies beim Seilsägeverfahren möglich. Bei einer Netto-Schneidleistung von 2 m^2 und einem Schnitt von 12 · 10 m (Seilbrüche ausgenommen) kann beispielsweise die

Säge über 60 Stunden ohne Bedienung und Aufsicht arbeiten, und diese Zeit kann zum Anfertigen neuer Führungslöcher genutzt werden.
Auch beim Reihenbohrgerät steht, sofern es mit einer Automatik ausgerüstet ist, die Zeit, in der eine 4 m lange Reihe abgebohrt wird, für andere Arbeitsgänge zur Verfügung. Anschließend muß die Maschine umgesetzt und neu eingerichtet werden.
Hingegen ist es beim Handbohren und Flammenschneiden nicht möglich, anderen Arbeiten nachzugehen, weil die Lanze per Hand geführt werden muß.

Im Hinblick auf den Quarzgehalt des Gesteins verhalten sich das Wasserschneiden und das Sägen mit der Diamantseilsäge gegensätzlich. Mit der Säge ist mit guten Schneidleistungen pro Quadratmeter zu rechnen, wenn der Quarzanteil möglichst gering ist. Bei hohem Quarzanteil ist mit Schneidleistungen von nur knapp 2 m^2/h zu rechnen. Beim Granit sind die Schneidleistungen zwischen Diamantseilsäge und Wasserschneidverfahren annähernd gleich. Im Sandstein zeigen sich jedoch eindeutige Unterschiede der Schneidleistungen zugunsten des Wasserschneidverfahrens.
Der Unterschied zwischen dem Reihenbohrgerät und dem fahrbaren Reihenbohrgerät ist vernachlässigbar. Die Auswahl zwischen den beiden Verfahren ist, wie schon dargestellt, von den Bankmächtigkeiten und der Morphologie abhängig.
Wesentliches Auswahlkriterium sind aber die spezifischen Kosten, die nun behandelt werden.

8.5 Kosten der Gewinnungsverfahren nach Gesteinsart

In diesem Kapitel werden die Kosten der Gewinnungsverfahren, die stark von der Gesteinsart abhängig sind, für Kalkstein, Sandstein und Granit berechnet. Analog zu den Leistungen werden auch die Kosten auf den Quadratmeter Lösefläche bezogen.

Die spezifischen Kosten der Gewinnungsverfahren beruhen auf folgender Berechnungsgrundlage:
- einschichtiger Betrieb und 8 h (Regelfall),
- durchschnittliche tägliche Betriebszeit der Maschinen 6 h.

Da viele Naturwerksteine frostempfindlich sind, aber auch aus alter Tradition der deutschen Steinbrucharbeiter wird in den meisten Steinbrüchen während der Wintermonate für 3 Monate die Gewinnung eingestellt. Daraus resultieren tatsächliche ca. 190 Arbeitstage/Jahr.
Eine Ausnahme ist z. B. Solnhofen: hier wird der Solnhofener Kalkstein generell auch in den Wintermonaten unter beheizten Schutzhütten abgebaut. Aber auch in Italien wird, sogar in den Alpen, oft in den Wintermonaten die Gewinnung von Gneisen nicht eingestellt.

Als Abschreibungszeitraum werden 5 Jahre angesetzt. Als Gesamtnutzungsstunden (10) für die Geräte ergeben sich demnach 5.700 Stunden.

$$\textit{Gesamtnutzungsstunden} = 6\ h \cdot 190\ \textit{Tage} \cdot 5\ a = 5.700\ h$$

(10): Gesamtnutzungsstunden

Die Anschaffungskosten der Betriebsmittel zeigt die folgende Liste.

Gerät	Anschaffungskosten [DM]
pneumatischer Handbohrhammer (ohne Kompressor)	7.000 - 20.000
hydraulischer Handbohrhammer (ohne Hydraulik-Aggregat)	33.000 - 60.000
Reihenbohrgerät o. Trägerfahrzeug u. 1 Bohrlafette (o. Kompr.)	25.000 - 38.000

Gerät	Anschaffungskosten [DM]
Reihenbohrgerät m. Trägerfahrzeug u. 1 Bohrlafette	500.000
dito mit 2 Bohrlafetten	550.000 - 600.000
hydraulisches Steinspaltgerät	10.000
dazugehöriges Hydraulikaggregat	8.000
Diamantseilsäge	50.000
dazugehöriges Bohrgerät (o. Kompr.)	15.000
Flammenschneidgerät (o. Kompr.)	16.000
Schrämmaschine	130.000
Wasserschneidgerät für Sandstein	510.000
Wasserschneidgerät für Granit	580.000
Derrick-Kran, 20 t Tragkraft/30 m Ausleger	135.000
Derrick-Kran, 30 t Tragkraft/60 m Ausleger	270.000

Die kalkulatorische lineare Abschreibung (11) ergibt sich aus den Anschaffungskosten und der Gesamtnutzungszeit:

$$\textit{Kalkulatorische Abschreibung} = \frac{\textit{Anschaffungskosten}}{\textit{Gesamtnutzungszeit}} \; [\; DM \,/\, h \;]$$

(11): Kalkulatorische Abschreibung

Die kalkulatorische Verzinsung (12) errechnet sich wiederum aus den Anschaffungskosten [DM], der jährlichen Nutzungszeit [h] und dem Kapitalzinssatz:

$$\textit{Kalkulatorische Verzinsung} = \frac{\frac{\textit{Anschaffungskosten}}{2} \cdot \textit{Zinssatz}}{\textit{Jährliche Nutzungszeit}} \; [\; DM \,/\, h \;]$$

(12): Kalkulatorische Verzinsung

Berechnung der Instandhaltungs- und Reparaturkosten (13):

$$\textit{Reparaturkosten} = \frac{\textit{Anschaffungskosten} \cdot \%\textit{-Satz f. Reparatur u. Wartung}}{\textit{Jährliche Nutzungszeit}} \; [\; DM \,/\, h \;]$$

(13): Instandhaltungs- und Reparaturkosten

Die Energiekosten errechnen sich für elektrisch (14) und dieselbetriebene (15) Geräte wie folgt:

$$\textit{Energiekosten} = \textit{Inst. Leistung} \cdot \textit{Einheitskosten} \cdot \textit{Lastfaktor} \; [\; DM \,/\, h \;]$$

(14): Energiekosten, elektrisch angetriebene Maschinen

$$Energiekosten = Brennstoffverbrauch \cdot Brennstoffpreis \; [\; DM \,/\, h \;]$$

(15): Energiekosten, Dieselantriebe

Es wird mit folgenden Zahlenwerten gerechnet:

Kapitalzinssatz	9 %
Jährliche Nutzungszeit	1.140 h
Mittlerer Stundenlohn	18,- DM/h
Lohnnebenkosten i. %	80 %
Lohn- u. Lohnnebenkosten	32,40 DM/h
Energiepreis (elektr.)	0,20 [DM/kWh]
Energiepreis (Diesel)	0,90 [DM/l]
Mittlerer Lastfaktor der elektrischen Antriebe	0,75
Instandhaltungs- und Reparaturkosten (Mittelwert, in % der Anschaffungskosten)	10 %

Die Lohn- und Lohnnebenkosten werden für alle Gewinnungsverfahren bis auf die Bohrverfahren und das Flammenschneidverfahren für 1,5 Mann berechnet, da zum Aufstellen und Einrichten der Maschinen zwei Mann, zum Betrieb aber nur 1 Mann benötigt werden.
Bei den Bohrverfahren werden die Lohnkosten für einen Arbeiter und beim Flammenschneidverfahren für 2 Mann berechnet, da bei letzterem anstrengenden und lärmintensiven Verfahren sich zwei Mann alle Viertelstunde abwechseln (sollten).
Für die Instandhaltungs- und Reparaturkosten werden ca. 10 % vom Anschaffungspreis angesetzt, wobei hier doch Unterschiede auftreten können. Es hat sich aber gezeigt, daß der Reparatur- und Wartungsaufwand mit der Komplexität der Maschinen ansteigt, und daher ein derartiger Wert realistisch sein dürfte.

Als Zubehörkosten wurden für die Bohrgeräte die Bohrmeißel- (16) und Bohrstangenkosten (17) ermittelt:

$$\frac{Bohrmeißel\ DM \,/\, Stück}{Bohrmeter \,/\, Stück} \cdot Bohrleistung\ m \,/\, h = Meißelkosten\ DM \,/\, h$$

(16): Bohrmeißelkosten

$$\frac{Bohrstange\ DM \,/\, Stück}{Bohrmeter \,/\, Stück} \cdot Bohrleistung\ m \,/\, h = Stangenkosten\ DM \,/\, h$$

(17): Bohrstangenkosten

- Die **Bohrmaterialkosten** können stark variieren. Im Kalkstein können durchaus Bohrmeterleistungen von 3.000 m erreicht werden. Als häufigster Wert sind 1.500 m anzusetzen, nach denen die Schneide nicht unbedingt abgenutzt ist, sehr oft aber

brechen bei diesen Bohrleistungen die Bohrstangen unten ab. Für Granit wurde eine Standzeit von 200 m angesetzt.

- **Seilkosten**: Die Standzeit des Seiles bei Kalkstein liegt bei 37 m^2/m. Bei Materialkosten von 360,- DM/m ergeben sich 9,73 DM/m^2.
  Für Sandstein und Granit liegt der Seilmeter bei knapp 500,- DM/m [47]. Eine Standzeit von ca. 5 m^2/m im Sandstein ergibt Seilkosten von 100,- DM/m^2.
  Bei Granit mit einer Standzeit von 4 m^2/m errechnen sich bereits die Seilkosten auf 124,50 DM/m^2.

- Bei der **Schrämmaschine** fallen die Kosten der abgenutzen Schneidplaketten an. Die Kosten liegen bei ca. 4,- DM/Stück.

- Beim **Wasserschneidverfahren** werden die Wasserkosten und die Kosten des kurzen Hydraulikschlauchs, der alle 150 h ausgewechselt wird sowie die der Schneiddüse, die alle 20 - 30 h erneuert wird, berücksichtigt.

Bei einigen nachgeschalteten Verfahren sind die Kosten nicht von der Gesteinsart abhängig, wie beispielsweise beim Expansivzement. Er steht aber auf Grund seiner eingeschränkten Eignung, wie die Untersuchungen in Kapitel 7.3.2.3.4 aufzeigen konnten, und dem hohem Preis von DM 75,-/m^2 außer Konkurrenz zu den Explosivstoffen, den hydraulischen Steinspaltgeräten und auf alle Fälle zu den Federkeilen.

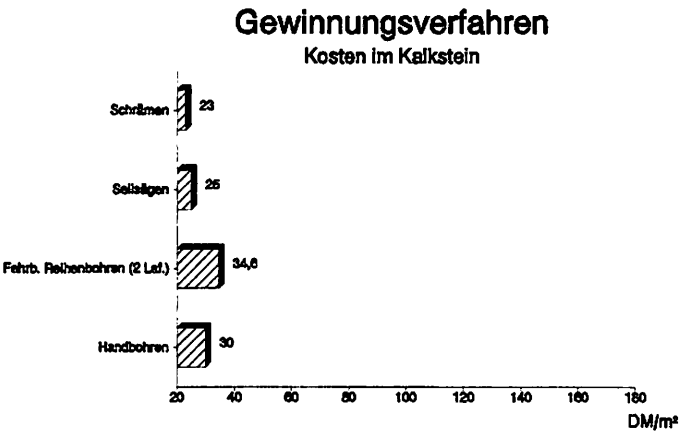


Abb. 226: Kosten der Gewinnungsverfahren im Kalkstein in DM/m^2.

8.5.1 Kalkstein

Die Kosten der Gewinnungsverfahren im Kalkstein sind in Abb. 226 dargestellt. Sie liegen alle unter 40,- DM/m^2, die Abweichungen zwischen den einzelnen Verfahren sind nicht groß (± 5,- DM/m^2). Die geringsten Kosten fallen beim Seilsägen und beim Schrämen an, sie unterscheiden sich mit 23,- DM/m^2 und 25,- DM/m^2 kaum, wobei die Kosten bei einem inhomogenen Kalkstein höher sein können. Um 5,- DM/m^2 höher sind bereits die Schneidkosten pro Quadratmeter beim Handbohrverfahren mit 30,- DM/m^2 und am höchsten beim fahrbaren Reihenbohrgerät mit 2 Bohrlafetten mit knapp 35,- DM/m^2. Hier schlagen die höheren Anschaffungskosten zu Buche, obwohl die Schneidleistungen doppelt so hoch liegen.

8.5.2 Sandstein

Alle Kosten bei Sandsteinen sind höher als bei Kalksteinen, auch die Unterschiede sind größer (Abb. 227). Interessant ist das Wasserschneidverfahren mit 34,- DM/m^2, welche sich durch die hohen Schneidleistungen pro Stunde errechnen.
Bei den Bohrgeräten zeigt sich, daß die Kosten für ein Reihenbohrgerät mit nur einem Bohrhammer höher liegen als die eines Handbohrhammers. Bei einem Reihenbohrgerät mit zwei Bohrhämmern werden die Kosten pro Quadratmeter niedriger als 57,- DM/m^2 sein, da hier

höhere Quadratmeterleistungen erzielt werden können. Das Seilsägeverfahren fällt mit dem hohen Wert auf, der auf die Seilkosten mit ca. 100,- DM/m² und die geringe Leistung zurückzuführen ist.

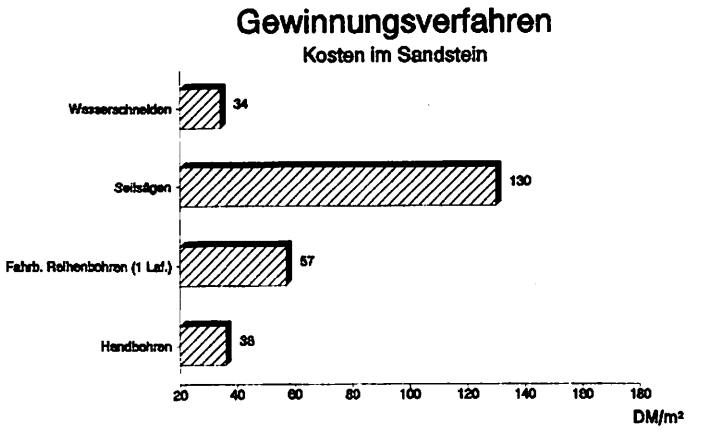


Abb. 227: Kosten der Gewinnungsverfahren im Sandstein in DM/m².

8.5.3 Granit

Hier herrscht die größte Streubreite (Abb. 228). Relativ geringe Kosten pro Quadratmeter weisen die Bohrverfahren auf, wenn sie auch doppelt so hoch sind, wie bei anderen Gesteinen. Am geringsten sind die Kosten (46,- DM/m²) beim Reihenbohrgerät ohne Trägerfahrzeug. Obwohl die Schneidleistungen niedriger sind als beim fahrbaren Reihenbohrgerät, machen sich hier die sehr geringen Anschaffungs- und Betriebskosten günstig bemerkbar.

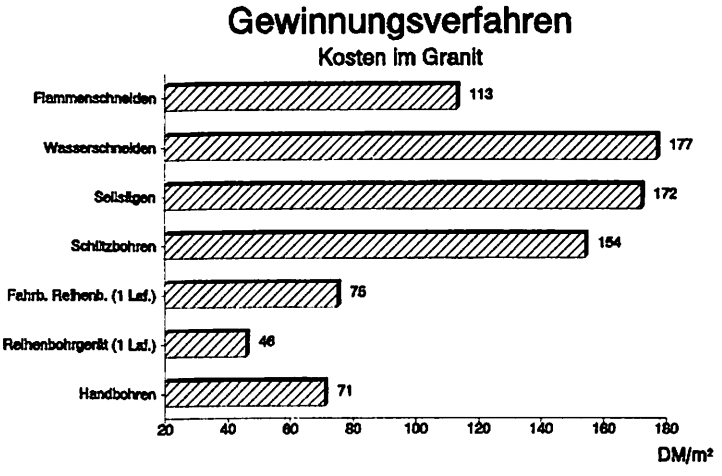


Abb. 228: Kosten der Gewinnungsverfahren im Granit in DM/m².

Daß das Handbohrverfahren mit 71,- DM/m², trotz der schlechten spezifischen Leistungen, noch unter dem fahrbarem Reihenbohrgerät mit einer Lafette (75 DM/m²) liegt, ist auf seine geringen Anschaffungskosten zurückzuführen. Da aber mit einem fahrbaren Reihenbohrgerät höhere Schneidleistungen pro Stunde erzielt werden können, ist dadurch insgesamt der Devisor der Blockausbeuten größer, was sich vorteilhaft auf die gesamte Kostenstruktur auswirkt (dies gilt allerdings nicht nur für dieses Beispiel).
Das Schlitzbohren ist extrem teuer mit 154,- DM/m².
Von den ausbeuteschonenderen Verfahren sind Seilsägen (172,- DM/m²) und Wasserschneidverfahren mit 177,- DM/m² fast kostengleich. Die höchsten Kosten entstehen für das Wasserschneidverfahren durch die hohen Anschaffungskosten des Granit-Aggregates und dessen geringen Schneidleistungen. Bei Seilsägeverfahren ergeben sich die hohen Kosten (analog zum Sandstein) im wesentlichen aus dem Seilverschleiß pro Quadratmeter.

Das Flammenschneiden mit kleinen Investitionskosten, aber noch schwacher Leistung liegt zwischen den beiden oben genannten Gruppen (113,- DM/m²), also zwischen den verlustarmen und verlustreichen Verfahren.

Damit stellt sich nun die Frage, ob man die Verfahren nach den geringsten Kosten oder der günstigsten Ausbeute wählt?

8.5.4 Kosten und Ausbeute

Nur selten fallen niedrige Kosten und gute Ausbeute zusammen, dann ist die Beantwortung der oben gestellten Frage leicht.
Es wurde aber schon darauf hingewiesen, daß beide Kriterien sich oft gegenläufig verhalten. Was nutzt es, wenn man günstige Kosten anstrebt, aber hohe Verluste in Kauf nimmt, bzw. umgekehrt, was bringen hohe Ausbeuten, wenn die Kosten dafür hoch sind?

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die Kosten für unterschiedliche Gewinnungsverfahren für die einzelnen Gesteinsarten und zugleich die jeweils zu erwartenden Ausbeute-Verluste ermittelt.

Verfahren, bei denen die Verluste und Kosten hoch sind, wird man sinnvollerweise nur einsetzen, wenn keine andere Wahl bleibt.

Verfahren	Kosten DM/m²	Ausbeutever-lust i. cm	Verfahren	Kosten DM/m²	Ausbeutever-lust in cm
Kalkstein					
Seilschneiden	25	4	Reihenbohren	35	10
Schrämen	23	8	Handbohren	30	12
Sandstein					
Seilschneiden	130	4	Reihenbohren	54	10
Wasserschn.	34	9	Handbohren	38	12
Granit					
Seilschneiden	172	4	Schlitzbohren	154	9
Wasserschn.	177	8	Reihenbohren	46	10
Flammenschn.	113	10	Handbohren	71	12

Tab. 42: Gegenüberstellung von Kosten und Ausbeuteverlusten in Abhängigkeit von der Gesteinsart.

Hohe Ausbeuten und niedrige Kosten wären ideal, liegen in der Tab. 42 aber in keinem Fall vor.

In anderen Fällen gilt es, Kosten und Ausbeute gegeneinander abzuwägen:
Grenzkosten sind oft schwierig zu ermitteln. Grenzerlöse können bei guter Absatzlage durchaus proportional zu den Verkaufserlösen angesetzt werden.
Vereinfachend wird angenommen:

	Kalkstein	Sandstein	Granit	
Verkaufserlöse:	500,- DM/m³	700,- DM/m³	1000,- DM/m³	also
für 1 % Ware:	5,- DM	7,- DM	10,- DM	die

bei einem Prozent mehr Ausbeute zusätzlich erlöst werden.

Daraus folgt:

Kalkstein	Schrämen	23,- DM/m² · 3 Flächen = 69,- DM/m³ Block
	Seilsägen	25,- DM/m² · 3 Flächen = 75,- DM/m³ Block.
		Kostendifferenz: 6,- DM/m³ Block

Bei einer Verschnittbreite von 4 cm beträgt der Ausbeuteverlust für einen 1 m³ großen Block beim Seilschneiden 22 % (vgl. Abb. 222), beim Schrämen 40 % (bei 8 cm Breite). Angesichts dieser Differenz von 18 % Ausbeute · 5,- DM (Kalkstein) ergibt das einen Mehrerlös von 90.- DM. Diesem steht eine Kostendifferenz von 6 DM/m³ gegenüber.
Folglich kann beim Seilsägeverfahren ein besseres Betriebsergebnis von 84,- DM erzielt werden.

Sandstein	Seilsägen	130,- DM/m² · 3 Flächen = 390,- DM/m³ Block
	Wasserschn.	34,- DM/m² · 3 Flächen = 102,- DM/m³ Block.
		Kostendifferenz: 288,- DM/m³ Block

Der Ausbeuteverlust für einen 1 m³ großen Block beträgt beim Seilschneiden 22 % (für 4 cm), beim Wasserschneiden 45 % (bei 9 cm); das ergibt bei dieser Differenz von 23 % · 7,- DM (Sandstein) einen Mehrerlös von 161,- DM beim Seilschneiden. Die Kostendifferenz von 288,- DM/m³ wird durch den Zusatzerlös von 126,- DM beim Seilschneiden in diesem Falle nicht kompensiert.
Hier bleibt also das Wasserschneidverfahren trotz der höheren Ausbeuteverluste das günstigere. Auf Grund der höheren Schneidleistung können auf eine Zeiteinheit bezogen mehr Blöcke gewonnen werden, was zusätzlich zu errechnen wäre (aus den Kosten pro h und der Effektiv-Leistung).

Granit

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Vergleich des Seilsägens mit dem kostengünstigen Reihenbohren. Die Kostendifferenz wird nicht durch höhere Ausbeute aufgefangen. Der Vergleich zwischen Seilsägen und Handbohren (beide ähnliche Effektiv-Leistungen) liefert jedoch ein anderes Ergebnis:

Seilsägen	172,- DM/m² · 3 Flächen = 516,- DM/m³ Block
Handbohren	71,- DM/m² · 3 Flächen = 213,- DM/m³ Block.
	Kostendifferenz: 303,- DM/m³ Block

Hier ist das Seilsägeverfahren durch einen 34 % (56 % - 22 % ⇒ 340,- DM) niedrigeren Ausbeuteverlust dennoch das günstigere Verfahren.

Man wird daher die weitere Entwicklung aller Verfahren sehr genau verfolgen müssen.

8.6 Ergebnis

Nachdem im einzelnen die Gewinnungsverfahren und ihre Auswahlkriterien behandelt wurden, kann folgendes Resümee gezogen werden:

- keines der im Einsatz befindlichen traditionellen Verfahren ist grundsätzlich zu verwerfen,
- bei allen Verfahren bestehen interessante Gesichtspunkte, jedoch sind dringend Verbesserungen notwendig, vornehmlich bei den "jungen" Verfahren (beim Flammenschneiden ist unbedingt die Geräusch-Emissionen zu verringern, sonst ist das Verfahren auf Dauer nicht tragbar).

Bei anderen Verfahren sind offenbar nur noch graduelle Verbesserungen möglich, aber auch notwendig.

- So brauchen generell beim Seilsägeverfahren weniger die Schneidleistungen erhöht zu werden, aber die Nebenzeiten müssen verringert werden. Alle Anstrengungen müssen der Standzeit des Seiles und der hohen Anzahl von Seilrissen gelten, woran die Industrie auch mit Nachdruck arbeitet.
- Bei dem an sich robusten Schrämverfahren treten öfter Schwierigkeiten mit der Kettenführung auf, deshalb ist dieses Verfahren vornehmlich für abrasive Gesteine noch nicht verwendbar. Hier sollten generelle Überlegungen angestellt werden, die Kettenführung prinzipiell zu verändern, wie dies in den USA bereits versucht wird. Weitere Anstrengungen sollten dem Einsatz der Schrämmaschine auch in steilen Lagerungsverhältnissen gelten.
- Sowohl die Eignungsuntersuchungen der Gewinnungsverfahren für bestimmte Gesteinsarten als auch deren spezifische Leistungen und Kosten zeigen, daß neueren (wenn auch aufwendigeren) Verfahren unbedingt Beachtung zu schenken ist. Jedoch auch das altbewährte Bohren sollte nicht verachtet werden, wie an Granit mit dem Reihenbohrgerät ohne Trägerfahrzeug gezeigt werden konnte. Beim Wasserschneiden sind die Investitionskosten noch zu hoch.

Weiterhin hat sich erwiesen:

- für den Einsatz der Verfahren sind Durchschnittsblockgrößen zu beachten und die Ausbeuteverluste und Löseflächenqualität (zumal, wenn nur geringe Rohblockhöffigkeit vorhanden ist),
- keines der Verfahren, außer dem Flammenschneidverfahren, ist generell für bestimmte Gesteine allein geeignet.

Dessen ungeachtet sind die Verfahren nicht allein nach dem Gestein auszuwählen, sondern örtlich - wie schon vielfach gezeigt - entsprechend der Geologie und den Lagerungsverhältnissen (siehe Kapitel 9). Zuvor ist aber noch kurz auf die kombinierte Anwendung von Gewinnungsverfahren einzugehen.

8.7 Kombination von Gewinnungsverfahren

Die Gewinnungsverfahren wurden alle beschrieben, getestet und miteinander verglichen. An vielen Stellen wurden schon Mängel aufgezeigt und zahlreiche Vorschläge für maschinelle und technische Verbesserungsmöglichkeiten gemacht. Nicht immer ist es sinnvoll, sich allein für ein Verfahren zu entscheiden, da sehr oft insbesondere durch die kombinierte Anwendung von Gewinnungsverfahren die Gewinnung von Naturwerksteinen effektiver sein kann. Bereits in Kapitel 8.1.1 konnte gezeigt werden (Abb. 214), wie hoch die Verluste je nach abzurechnendem Rauhabfall werden.
Da nun die Schnittverluste und der entsprechende Rauhabfall bekannt sind, erscheint es sinnvoll, hier einige Beispiele über die Kombination von Gewinnungsverfahren aufzuzeigen.

8.7.1 Kombination zweier Verfahren

Möglichkeiten für die Kombination von Gewinnungsverfahren gibt es viele, hier seien nur einige exemplarisch dargestellt.
Eine ideale Kombination ist die Zusammenarbeit einer **Schrämmaschine** mit einer **Diamantseilsäge** in einem Steinbruch. Einmal, indem durch die Schrämmaschine die horizontalen Basisschnitte und mit der Seilsäge die vertikalen Schnitte durchgeführt werden. Andererseits können alle vertikalen Schnitte mit der Schrämmaschine bewältigt und das Seil dann in die Schnitte einführt werden, um die Basisschnitte durchzuführen. Dadurch entfallen die

zeitraubenden Führungsbohrungen für die Seilsäge und die bei den einzelnen Verfahren auftretenden Begrenzungen hinsichtlich der Länge und Breite der Blöcke.

Eine weitere Kombinationsvariante ist die eines **Handbohrhammers** mit einer **Schrämmaschine**. So reicht in Anröchte für das Lösen der Blöcke entlang mit Calcit verheilten Adern in einer Richtung das Abbohren von 40 cm tiefen Bohrlöchern in großen Abständen von 40 cm aus. In der anderen Richtung müßten die Seitenabstände dichter gesetzt werden. Hier verwendet man eine Schrämmaschine, wodurch der Rauhabfall geringer wird.

Zur Kombination mit dem **Wasserschneidverfahren** eignen sich **Reihenbohrgeräte**, mit denen die Rückseite der bereits an den anderen Seiten durch das Wasserschneidverfahren gelösten Blöcke von oben mit langen Bohrungen und durch anschließendes Spalten vom Gesteinskörper getrennt werden kann.
In den Vogesen verwendet man anstelle eines Bohrgerätes auch einen Hydraulikbagger, mit dem die Blöcke abgedrückt werden. Der Einsatz ist in diesem Fall allerdings von der Reichweite des Auslegers abhängig.

8.7.2 Kombination zweier Geräte

Derzeit arbeiten sowohl Spaltaggregate und fahrbare Reihenbohrgeräte unabhängig voneinander. Als Kombination beider Verfahren wären auf einem Schild sowohl Bohrhämmer und Spaltgeräte miteinander zu montieren. Die Spaltgeräte müssen den gleichen Abstand wie die Bohrhämmer aufweisen. Beide benötigen einen hydraulischen Kreislauf. Man könnte so erst die Löcher mit den auf der vorderen Seite des Schildes montierten Bohrhämmern bohren. Nach Beendigung des Bohrens einer Reihe sollte man das Schild so verstellen, daß zwei oder nur eine Stange rechts und links in je ein Bohrloch fahren und die Spaltzylinder von oben in die dazwischen stehenden Bohrlöcher eingeführt werden. Beim Spaltvorgang selbst müssen diese Spaltzylinder relativ frei beweglich sein, so daß man sie entweder mit einem Gummilager ausrüstet oder aber mit Greifern befestigt, welche die Spaltgeräte nach Einführen in die Bohrungen wieder freigeben. Voraussetzung ist auch, daß die Abstandsautomatik einwandfrei arbeitet.
Durch diese Kombination könnte erheblich Zeit gespart werden.

In diesem Zusammenhang wäre auch wichtig, den Abstand zwischen den Bohrhämmern variieren zu können, so daß der zu bohrende Seitenabstand vom jeweiligen Bediener, je nach Lagerungsverhältnissen und Gesteinsart, eingestellt werden kann.

9 Anlage von Naturwerksteinbrüchen und Abbauplanung

In diesem Kapitel soll, ergänzend zu all den voraus abgehandelten Abbau- bzw. Gewinnungsmethoden, abschließend auf die Anlage der Naturwerkstein-Brüche selbst eingegangen werden, mit speziellem Augenmerk auf ihre Besonderheiten gegenüber anderen Steinbrüchen.
Dazu werden die einzelnen Typen von Steinbrüchen kurz vorgestellt. Danach sind die spezifischen Eigenheiten aufgeführt, die vor allem von den Lagerungsverhältnissen her für den sachgerechten Betrieb die und Anlage von Naturwerksteinbrüchen zu beachten sind. Schließlich resultieren daraus Empfehlungen für Abbauplanungen von Steinbrüchen, die ausschließlich der Gewinnung von Naturwerksteinen dienen. Ergebnissteigernde Veränderungen oder zumindest Verbesserungen in derzeit laufenden Steinbrüchen sollen angeregt werden.
Natürlich müssen diese Empfehlungen immer allen speziellen (insbesondere morphologisch u. lokalen) Erfordernissen angepaßt werden.
Dieses Kapitel wird abgeschlossen durch einige exemplarische Beispiele (negativer u. positiver Art) von Naturwerksteinbrüchen. Zunächst sind aber noch einige generelle wirtschaftliche Gesichtspunkte zu betrachten.

9.1 Generelle wirtschaftliche Gesichtspunkte

Im Vorangegangenen wurde aufgezeigt, wie ein maximales Betriebsergebnis bei optimal ausgewogenem Verhältnis von Kosten und Ausbeute erzielt werden kann. In welchem Maß diese beiden Faktoren von der Lagerstätte (Rohblockhöffigkeit) und der Wahl des Verfahren (hohe Leistung und minimale Schnittverluste) abhängig sind, wurde ausführlich erörtert.
Zusätzlich werden Ausbeute und Kosten stark beeinflußt von der Qualität der Arbeitsweise im laufenden Betrieb, vielfach aber schon von der Anlage des Steinbruches. Dies wird deshalb in diesem letzten Kapitel zu behandeln sein.
Zur Güte des laufenden Betriebes trägt nicht nur die Arbeitsorganisation bei, sondern auch die Sorgfalt, mit der ein anstehender Rohstoff optimal verwendet wird: hierzu wiederum die Qualität des Produktes und das Vermeiden von Verlusten.
Für die Wirtschaftlichkeit ist (von der Erlösseite) entscheidend, die Produkte zum bestmöglichen Preis abzusetzen. Dazu ein Beispiel: wenn für Gatterblöcke ein Erlös von 1000,- DM/m^3 erzielt wird, so reduziert sich dieser für sonstige Ware (Verblendsteine, Mauersteine) auf ca. 300,- DM/m^3. Für Brechprodukte kann dann bestenfalls die Hälfte davon erlöst werden (150,- DM/m^3). Ziel sollte daher generell sein, einen möglichst hohen Anteil an gatterfähiger Blockware zu gewinnen. Eine hohe weitergehende Wertschöpfung haben jene Betriebe, die das Material zu Plattenware verarbeiten, also veredeln.

In diesem Kapitel sollen einige Anmerkungen über den ungeschickten Umgang mit verfügbaren Vorräten gemacht werden.
Im wesentlichen gibt es drei Typen von Naturwerksteinbetrieben:

- Typ 1: Betriebe, die vorwiegend von der Gewinnung und dem Verkauf von Rohblöcken leben (eine Verarbeitung findet nur in geringem Maß statt).
- Typ 2: Betriebe, die im eigenen Steinbruch Rohblöcke gewinnen und zugleich verarbeiten (gegebenfalls auch Rohblöcke verkaufen).
- Typ 3: Betriebe, die nur von der Verarbeitung von erworbenen Rohblöcken leben (oft haben diese früher Naturwerksteine gewonnen, verfügen aber über keine Lagerstätte mehr. Sie befinden sich vielfach in der Nähe anderer Steinbrüche).

Dank der derzeit sehr guten Auftragslage wird manches aus den Augen gelassen. Es gibt durchaus eine Reihe von Betrieben, die es sich auf Grund ihrer hohen Rohblockhöffigkeit leisten können, nur Blöcke zu veräußern (Typ 1). Andere verarbeiten nur Material oberhalb einer bestimmten Größe:

So können es sich viele Betriebe leisten, nur Blöcke über 2 m^3 selbst zu verarbeiten. Sofern die kleineren Blöcke an andere Betriebe (Typ 3) gut verkauft werden, kann das sehr einträglich sein.

Verschwendung jedoch ist es generell, plattenfähiges Material zu minderwertigen Produkten zu verarbeiten.

In einem Sandsteinbruch (Typ 1) mit einer niedrigen Rohblockhöffigkeit und begrenztem Vorrat, der ein gefragtes und dekoratives Material abbaut, werden große, für Sägegatter geeignete Blöcke zerkleinert und als Wasserbausteine veräußert, natürlich zu einem geringeren Preis, als für einen zu sägenden Block erzielbar wären. Weiterhin werden Mauersteine und Verblendsteine hergestellt.

Manche Betriebe verdienen so gut an der Veredelung, zumal wenn die Gesteinsart einmalig in Deutschland ist, daß sie nicht darauf achten, rechtzeitig in bezug auf ihre Gewinnung etwas zu unternehmen.

Das Problem bei Familienunternehmen ist vielfach, daß nicht nur der Betrieb von Generation zu Generation immer weitergegeben wird, sondern auch das Abbauschema. Besonders schwierig wird es, wenn immer mehr Familienzweige am Unternehmen beteiligt sind. Oft wird vergessen, daß in den Betrieb investiert werden muß, um dem steigenden Konkurrenzdruck standzuhalten. Es hat sich bei sehr vielen Beispielen gezeigt, daß diejenigen Betriebe auf der Strecke geblieben sind, die es versäumten, in angebrachtem Maße in den Abbaubetrieb zu investieren.

Die Schließung einer Gewinnungsstätte kommt dann meist sehr schnell und für die Betroffenen überraschend. Nicht nur, weil die Vorräte versiegen, sondern gerade weil der Steinbruch selbst nicht mehr rationell betrieben wird (vgl. Kapitel 8.5.4).

Betriebe vom Typ 3 müssen sehr flexibel sein, um gut existieren zu können. Sie kaufen möglichst preiswert ein, so daß es sich oft auch bei kleindimensionierter Ware lohnt, einen höheren Aufwand und höhere Verarbeitungskosten in Kauf zu nehmen.

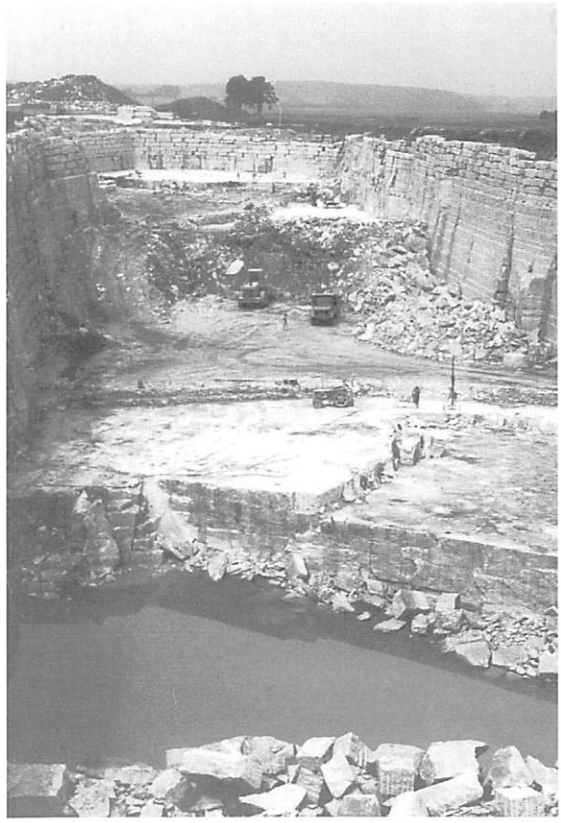


Abb. 229: Steinbruch im Jura-Kalkstein mit mehreren erschlossenen Gewinnungsebenen.

Während normalerweise Rohblöcke erst oberhalb einer Breite von über 0,4 m kippstabil in das Sägegatter gestellt werden können (vgl. Kapitel 5.1), müssen Blöcke mit geringerer Breite (z. B. 0,3 m) zuvor eine begradigte Standfläche erhalten. Schmale Blöcke sind auch schneidbar, wenn sie zwischen zwei größeren gehalten ins Gatter kommen.

Insgesamt erscheint es vorteilhaft, sich nicht alleine auf das Gewinnen von Rohblöcken zu beschränken, sondern zumindest in gewissem Maße eine Bearbeitung zu betreiben. Daher ist vielfach der Typ 2 anzutreffen. Das gilt vor allem auch dann, wenn aus Lagerstätten mit geringer Höffigkeit an Gatterblöcken viel und verhältnismäßig leicht (Wesersandstein) Kleinblöcke mit hereingewonnen werden. Diese Betriebsform kann ihre Mitarbeiter auch bei schlechtem Wetter und im Winter beschäftigen, erhält laufend Information über die Verarbeitbarkeit des eigenen Materials und bei Rückschlägen, sei es aus der Konjunktur oder aus der Lagerstätte heraus, ist sie nicht existentiell betroffen.

Zur Vermeidung der angesprochenen Probleme steht an oberster Stelle der geschickte und verantwortungsbewußte Umgang mit den verfügbaren Vorräten. Weder die Lagerstätte noch die gewonnenen Blöcke dürfen vergeudet werden.

Schüttet ein Sandsteinbruch z. B. als Wasserbausteine geeignetes Material als Abraum auf Halde oder vor potentielle Abbauwände, wird der Betrieb bei einer derartigen Vorgehensweise auf Dauer nicht existieren können.

Die möglichst vollständige Nutzung der Vorräte setzt natürlich eine gute Planung voraus. Erfolgt der Abbau "immer dem guten Gestein nach" und dann unter Umständen nur auf einem einzigem Niveau im Steinbruch bzw. an steilen Abbauwänden entlang, ist ein Betrieb nicht flexibel genug, um wechselnden Anforderungen des Marktes zu genügen.

In einer anderen Lagerstätte mit sogar zwei Gewinnungsstellen bestand das Problem, daß für die Verarbeitung zu wenig gutes Material gefördert wurde. Grund war die Gewinnung in einem Massenkalk, bei dem das qualitativ bessere Material in der Teufe ansteht, während beide Abbaustellen im oberen Bereich der Lagerstätte lagen. Hier hätte im guten Material abgebaut werden müssen, während gleichzeitig im oberen Lagerstättenbereich mit einer neuen Abbaustelle begonnen wird.

Eine Firma in der Fränkischen Alb baute gelbes Material (in der 6. Bank von oben) ab, bis sich plötzlich die Marktlage änderte und die blaue Varietät gefordert wurde, die erst 4 Schichten weiter unten anstand (Bank 10). Nun wurden die dazwischen liegenden Bänke als Abraum abgetragen, was eine unzureichend geplante Anlage des Bruches verdeutlicht. Man hat aber versäumt, die nicht benötigten Schichten schonend abzubauen und sie zwischenzeitlich unter Erdaushub zu lagern, bis die gelbe Varietät gefragt ist. Das trat dann prompt ein Jahr später ein; inzwischen ist dieser Bruch stillgelegt.

Man darf also nicht nur das gerade im Gatter benötigte Material greifbar haben.
Nicht selten wird ein Abbaubetrieb durch zu enge Freiräume behindert. So gibt es Steinbrüche, die sehr großzügig schon von der Planung her angelegt sind. Andere hingegen sind so eng dimensioniert, daß Lade- und Transportarbeiten hohen Zeitaufwand erfordern.
Für die Beseitigung des Abraums sollte man unbedingt Plätze aussuchen, die für den Abbau von Naturwerkstein nie benötigt werden (demzufolge ist eine gute geologische Kartierung sehr wichtig).
Es wurden Steinbrüche angetroffen, bei denen zeitweise alle Mitarbeiter nur damit beschäftigt waren, Abraum umzulagern. Vor der Erschließung eines Steinbruch ist daher eine ordnungsgemäße Abbauplanung durchzuführen, die alle hier genannten Faktoren berücksichtigt, damit sie auch langfristig Bestand hat.

9.2 Feldeszuschnitt, Abbauart und -planung

Der Feldeszuschnitt für die Anlage eines Steinbruches richtet sich primär nach den geologischen Verhältnissen. Weitere Kriterien, wie konkurrierende Oberflächennutzung (Bebauung, Verkehrswege, Naturschutzgebiete) oder abbaurechtliche Beschränkungen aus anderen Gründen, die in vielen Fällen den Feldeszuschnitt bestimmen, können hier nicht behandelt werden.
Ist das Feld ausgewählt, muß zunächst die Abbauart ausgewählt werden, die wiederum von der Morphologie bestimmt wird. Die weiteren Planungsschritte, wie die Festlegung des Sohlenabstandes (Wandhöhe) und die Abbaurichtung, richten sich nach den tektonischen Verhältnissen der Lagerstätte. Erst dann kann unter Berücksichtigung der Gesteinsart und -qualität die Auswahl der Betriebsmittel erfolgen.

9.2.1 Abbauart

Die Abbauart wird von den morphologischen und geologischen Verhältnissen bestimmt. Zu unterscheiden sind Hügelabbau, Hangabbau, Aushebung und flächenhafter Abbau [81].

Abbau über dem Umgebungsniveau (Abtragung)

Schon in der Frühzeit und im Mittelalter erfolgte die Gewinnung überwiegend aus Hangaufschlüssen. Diese Abbauart hat im Gegensatz zum Aushebungsbetrieb den Vorteil der problemlosen Ableitung des Oberflächenwassers. In steilen Bergflanken gibt es jedoch Transportprobleme, die im Extremfall wie in einem Betrieb in der Schweiz (Mattertal) durch eine Seilbahn gelöst werden müssen.

Wird die Bergkuppe mit in den Abbau einbezogen, spricht man von **Gipfelbrüchen**. Sie haben oft den Vorteil, daß das Gestein zumeist an allen Seiten ansteht, bergen aber auch den Nachteil, daß es von allen Seiten angewittert ist und zunächst zeitintensiv abgetragen werden muß, bevor das erste unverwitterte Nutzgestein reingewonnen werden kann.
Hohe Kosten können vor allem für den Bau von Anfahrtswegen anfallen. Für die Erreichbarkeit aller Betriebspunkte ist zumeist der Einsatz eines Derricks sinnvoll oder erforderlich.

Hang-Steinbrüche schneiden in die Flanke des Berges ein. Alle Gewinnungsebenen liegen über der Steinbruchsohle. Je flacher der Hang ist, um so mehr Gewinnungsstellen können angelegt werden. Auch bei einem Hangabbau sind eventuell hohe Aufwendungen für den Bau der Anfahrtswege einzuplanen.
Hang-Steinbrüche erlauben den Abbau tieferer Gesteinsschichten und gestatten die gleichzeitige Gewinnung aus unterschiedlichen Etagen. Steilhänge begünstigen die Anlage und den Betrieb, da meist geringer Abraum zu bewältigen bzw. dieser einfach zu beseitigen ist. Auch die Entwässerung ist unproblematisch.
Je nach Orientierung ergeben sich Vor- und Nachteile. So haben Brüche in engen Tälern und zur Nordseite gelegene Hangbrüche längere Frost- und Feuchtigkeitsperioden. Die Feuchtigkeit erleichtert die Gewinnung, der Frost sorgt jedoch je nach Gesteinsart für verlängerte Pausen. Auch bei Hangsteinbrüchen ist der Einsatz eines Derricks sinnvoll bzw. notwendig.

Abbau unter dem Umgebungsniveau (Aushebung oder flächenhafter Abbau)

Um aus einem ebenen Gelände Gestein aus der Teufe zu gewinnen, ist der Steinbruch unterhalb des Bodenniveaus anzulegen. Dabei ist zunächst zu erkunden, ob laterale Gesteinsveränderungen auftreten. Im Rahmen der Exploration müssen also Bereiche unterschiedlicher Qualität auskartiert und vorrangig abzubauende Bereiche sowie Ausweichzonen festgelegt werden. Nicht zuletzt muß eine für die spätere Aufhaldung des Abraums geeignete Fläche gefunden werden, in der kein Gestein guter Qualität anstehen darf.

Ein wichtiger Kostenfaktor ist das Wasser, ob als Oberflächenwasser oder Grundwasser. Deshalb ist es unbedingt erforderlich, Kenntnisse über die Wasserzuflußmengen und die Höhe des Grundwasserspiegels zu haben. Muß der Steinbruch unter dem Grundwasserspiegel angelegt werden, ist ein ausreichend bemessenes Ableitungssystem im Steinbruch einzuplanen. Bei geringen Zuflußmengen reicht es oftmals aus, das Wasser abzupumpen, wobei zu beachten ist, daß das Wasser möglichst weit entfernt von dem Steinbruch geleitet wird. Das Wasser ist in einem Sumpf zu sammeln und - gegebenfalls nach Vorklärung - abzupumpen und in die Vorflut abzuleiten.

Grubenabbaue, charakterisiert durch allseitig vertikale Steinbruchwände, haben den Nachteil des erschwerten Zugangs.
Es ist mindestens ein Derrick als Lademittel mit genügender Reichweite für eine Vielzahl von Aufgaben notwendig (Laden der Rohblöcke; Verlagerung des Abraums; Transport von Geräten und Maschinen in und aus dem Abbaubereich), was seine Einsatzzeit für reine Ladevorgänge der Rohblöcke erheblich herabsetzt. Aus diesen Gründen und im Hinblick auf reparaturbedingte Ausfallzeiten ist oft ein weiterer Derrick erforderlich.

Der **offene Grubenabbau** ist dadurch gekennzeichnet, daß zumindestens an einer Seite des Steinbruches eine Zufahrt möglich ist. Ein Derrick wäre in solchen Fällen nicht notwendig, da Lader und LKWs verwendet werden können.
Allerdings ist hier ein besonders weiträumiger Abbau zu schaffen, der es ermöglicht, Fahrwege bzw. Rampen zur tiefsten Sohle anzulegen. Als Material für die Rampen kann bei ständig fortschreitendem Abbau in die Teufe das anfallende Nebengestein verwendet werden. Um bei nassem Wetter bzw. durch zulaufende Wassermassen keine Beeinträchtigungen der Fahrwege zu erhalten, dürfen die Rampen keine zu große Steigung aufweisen (< 10 %) und sollten wegen der Rutschgefahr vorwiegend aus Schotter und nur zu geringem Anteil aus Erdreich bestehen.

Abbau unter Tage

Naturwerksteingewinnung im Untertagebetrieb kann bei starker Abraumüberdeckung erforderlich werden. Im Einzelfall hängt die Entscheidung, ob ein Tief- oder Tagebau günstiger ist, von der Qualität des Naturwerksteins und damit der möglichen Wertschöpfung ab. In diesem Zusammenhang kann auch die Verkäuflichkeit des Deckenmaterials (z. B. für den Wegebau) eine Rolle spielen.
Auch wenn eine wirtschaftliche Gewinnung des Naturwerksteins im Tagebau möglich wäre, kann ein Untertageabbau, bei dem Oberfläche und Landschaftsbild nicht verändert werden, aus Umweltschutzgründen in Frage kommen.
Bei der untertägigen Gewinnung wird in der Regel **Kammer-Festenbau** angewandt. Die Abbauhöhe kann dabei bis zu 15 m betragen. Die Bemessung der Festen richtet sich nach den Festigkeitseigenschaften des Gesteins und dem zu erwartenden Gebirgsdruck. Die Grundfläche einer Feste liegt häufig im Bereich von ca. 10 · 10 m. Wenn die gebirgsmechanischen Bedingungen es zulassen, werden die Festen in einen Bereich weniger wertvollen Gesteins gelegt, wobei deren regelmäßige Anordnung nicht immer eingehalten werden muß. Die Festen sind gegebenfalls stärker zu dimensionieren und meßtechnisch zu überwachen.

Die Naturwerksteingewinnung unter Tage wurde schon vor Jahrtausenden betrieben, z. B. in Ägypten für den Bau der Pyramiden. Ein Beispiel für die untertägige Naturwerksteingewinnung aus heutiger Zeit sind die Travertinsteinbrüche in der Umgebung von Rom. Hier macht man sich bei der Gewinnung und Verarbeitung die Herabsetzung der Festigkeit des Gesteins durch Porenwasser zunutze. Insbesondere tritt dieser Effekt bei Sedimentgesteinen auf, wie Sandsteinen und Konglomeraten. Er ist deutlich geringer bei Tiefengesteinen und kaum feststellbar bei Ergußgesteinen ([133]:162).
Naturwerkstein wird auch in Carrara, Liechtenstein sowie in St. Niklaus/Schweiz im Untertagebetrieb gewonnen.

9.2.2 Abraumbeseitigung

Der Aufschluß und Betrieb von Naturwerksteinbrüchen erfordern die Beseitigung von Abraum. Die Abraumbeseitigung erfolgt entweder durch Abtragen mit Radladern oder bei festem bzw. verfestigtem Abraum durch Sprengen.
Wenn Sprengarbeit zur Abraumbeseitigung erforderlich ist, besteht die Gefahr einer Rißbildung oder sogar weitergehender Zerstörungen im anstehenden Werkstein. Daher wird vereinzelt noch das schiebend wirkende, gesteinsschonende Schwarzpulver verwendet. Es überwiegt jedoch die Verwendung von Gesteinssprengstoff, z. B. Ammon-Gelit. Um die Einzellademengen klein zu halten, werden kleinkalibrige Bohrlöcher verwendet.
Dort, wo zwischen Abraum und Nutzgestein eine erschütterungs- und schwingungsdämpfende Trennschicht ansteht, sind derartige Schäden geringer. Das ist z. B. in den Betrieben des Altmühltals der Fall, wo eine Mergelschicht den festen Abraum vom Nutzgestein trennt.

Ein Teil des Abraums kann für das Anlegen von Rampen verwendet werden. In zunehmendem Maße geht man in Naturwerksteinbrüchen dazu über, den als Schottermaterial geeigneten Abfall und Abraum an Schotterfirmen zu veräußern. Falls diese das Material selbst abräumen, entfallen für den Werksteinbruchbetreiber die mitunter hohen Kosten zur Abraumbeseitigung. Ist dies nicht möglich, so ist für die Aufhaldung möglichst ein Ort zu wählen, der auch in weiter Zukunft nicht als Gewinnungsstelle in Frage kommen könnte. Insbesondere bei der Erkundung der Lagerstätte sind Zonen zur Abraumlagerung auszukartieren, in denen kein Nutzgestein, sondern Nebengestein ansteht. Weiterhin ist der Abraum so zu deponieren, daß er bei einer eventuell späteren Verfüllung der ausgebeuteten Lagerstätte (je nach Rekultivierungsauflagen) einfach geladen und transportiert werden kann.

9.2.3 Lagerungsverhältnisse und Tektonik

Die Arbeit von STINY [168] geht ausführlich auf die Anlage von Steinbrüchen zur Gewinnung von Baustoffen im Hinblick auf die Auswirkung der verschiedenen Lagerungsverhältnisse und das Vortäuschen zu großer Nutzgesteinsmengen ein. Diese Darstellungen sind weitgehend auf die Naturwerksteingewinnung übertragbar.
Die nachfolgenden Ausführungen sollen hier nur auf einige wesentliche Gesichtspunkte für den Abbau von Naturwerksteinen bei unterschiedlichen Lagerungsverhältnissen beschränkt sein.

Bevor ein Steinbruch aufgeschlossen wird, muß die Lage der Gewinnungsebenen auf Grund der Petrographie, der Tektonik und der Morphologie gewählt werden. In Sedimenten sind die Farbverteilungen vorwiegend schichtabhängig. Um verschiedene Qualitäten und Farbvarietäten gleichzeitig gewinnen zu können, sollten immer mehrere Gewinnungsebenen erschlossen werden (Abb. 229); es sei denn, die morphologischen Verhältnisse lassen dies nicht zu, wie dies beispielsweise in Grubenabbauen der Fall sein kann. Meist treten bei Graniten keine großen Farbvarietäten auf, so daß diesbezüglich keine Rücksicht auf die Abbauplanung genommen werden muß.
Der Abstand zwischen den Gewinnungsebenen (Wandhöhen) richtet sich nach den gewinnbaren Schicht- bzw. Bankmächtigkeiten, die in geschichteten Sedimentgesteinen meist zwischen 0,4 - 2 m liegen. Bei magmatischen und metamorphen Gesteinen können diese bis zu 10 m mächtig sein, wie aus Abb. 231 ersichtlich ist.



Abb. 230: Anzeichnen der Klüfte zur möglichst vollständigen Nutzung des anstehenden Gesteins.

Einem Abbauplan sollte eine Darstellung der Stellung (nicht der Richtung!) der Hauptkluftscharen beigefügt werden. Hierbei sollte eine einfache Darstellung gewählt, d. h. auf eine Darstellung im Schmidt'schen Netz verzichtet werden. Eine Kluftrosendarstellung (Kluftrichtung) ist nicht ausreichend, da die Neigung der Flächen (Raumstellung) zum Ausdruck kommen muß. Dies kann auch in der Art

geschehen, daß man eine dreidimensionale Wiedergabe des Steinbruches senkrecht zur Hauptkluftschar wählt und die Neigung mit in die Steinbruchansicht einzeichnet (vgl. Abb. 235).

Unabhängig von den Eigenheiten einzelner Lagerstätten (wofür einige Beispiele folgen) ist die Abbauführung nach Möglichkeit im Parallelbau durchzuführen, mit einer regelmäßigen Abbaufront in eine durch die Gefügeauswertung ermittelte Richtung.

9.2.3.1 Flache Lagerungsverhältnisse

Hier sollen als flache Lagerungsverhältnisse Neigungen der Schichten bzw. Bänke < 20° verstanden werden.

Soweit es die Morphologie zuläßt, sollten keine hohen Abbauwände angestrebt werden. Großflächig angelegte Abbausohlen haben den Vorteil, daß die Klüftung von oben ersichtlich ist. Im Gebiet des Altmühltals hat es sich in vielen Betrieben durchgesetzt, auf einer sauberen Steinbruchsohle anhand der Klüftung die Blöcke vorzuzeichnen, wie es Abb. 230 in einem offenen Grubenabbau zeigt.

In stratiformen Lagerstätten ist die Strossenhöhe von der jeweiligen Bankmächtigkeit abhängig. Bei massigen Vorkommen, wie beispielsweise in Massenkalken, kann die Strossenhöhe ruhig größer sein und glatte Flächen aufweisen, um qualitative Unterschiede leicht zu erfassen.

Bei sehr weiten Trennflächenabständen können allerdings auch hohe Abbauwände vorteilhaft sein. Bei einer Firma in den Vogesen hat sich bei den kompakten geologischen Verhältnissen und dem Einsatz des Wasserschneidverfahrens der Abfall von 70 % auf 30 % verringert. In diesem Bruch sind sehr hohe Abbauwände eingerichtet, die sich bei der Gewinnung mit anderen Verfahren nachteilig auswirken würden.
Beim fortschreitenden Abbau in die Tiefe sollte darauf geachtet werden, die Sohlenbreite an jedem Rand um ca. 20 cm nach innen vorspringen zu lassen, damit eine ausreichende Stabilität der Steinbruchwände gewährleistet ist. Auf die Stabilität der Wände ist außer bei schräger Lagerung der Schichten besonders bei den Entlastungsklüften in Graniten zu achten.

Grundsätzlich sollte vermieden werden, daß in Steinbrüchen "Abbaulöcher" zustande kommen. In Betrieben mit einem Derrick besteht immer wieder die Gefahr, daß nur in dem Bereich abgebaut wird, wo der Ausleger hinreicht. Dies kann für den Abbau über einige Jahre sehr hilfreich sein, bringt später aber dann enorme Probleme. Dann folgen zumeist unvermeidbare Reorganisationsmaßnahmen, was einige Zeit geringerer Ausbeute bedeutet. Gelöst werden kann das Problem durch Einsatz von modernen Derricks (Dreibein-Derricks oder mit Spannseilen gehaltene), die den Vorteil haben, daß sie in relativ kurzer Zeit umgestellt werden können.

9.2.3.2 Steile Lagerungsverhältnisse

Generell werden Lagerungen als steil bezeichnet, in denen die Foliation ein Einfallen von mehr als 30° aufweist. Für die Gewinnung von Naturwerksteinen sind aber bereits Lagerungsverhältnisse ab 20° als steil anzusehen.
Das Einfallen von Schichtung und Bankung ist bei der Anlage des Steinbruchs zu berücksichtigen. Die Gewinnungsebenen müssen sich den geologischen und tektonischen Verhältnissen anpassen. Sie sind abhängig von der Standfestigkeit des Gebirges und der Raumlage der Trennflächen (Vorsicht bei drückendem Gebirge). Der Abbau sollte nicht entgegen dem Einfallen, sondern im Streichen fortschreiten. Auch bei der Gewinnung in steilen Lagerungsverhältnissen bestimmt die Hauptkluftstellung die primäre Schnittrichtung zur Anlage einer Gasse. Die primären vertikalen Schnitte sind parallel zur Einfallsrichtung anzulegen, die nächsten dann senkrecht dazu in Streichrichtung.

Die Abb. 231 zeigt, wie sich der Abbau in einem Hangsteinbruch nach den hohen Bankmächtigkeiten richtet. Hier hat man die volle Bankmächtigkeit mit Reihenbohrgeräten abgebohrt. In diesem Steinbruch gelang es dadurch, einen Block mit den Ausmaßen von 12 · 17 · 25 m = 5.100 m^3 herauszulösen.
Auch in dem Hangsteinbruch bei Botticino in Italien mit sehr hohen Bankmächtigkeiten (Abb. 232) wird ersichtlich, wie die Abbaurichtung dem Streichen der Lagerstätte folgt. Die parallel zur Schichtung verlaufenden Schnitte werden mit einem Reihenbohrgerät und die vertikalen mit einer Seilsäge angefertigt. Auch in diesem großen Steinbruch werden mehrere Derricks mit langen Auslegern eingesetzt.



Abb. 231: Gneis-Steinbruch (Serizzo) im Val Formazza (Italien). Der Kreis zeigt die Größe eines Menschen.

9.3 "Gänge" bzw. bevorzugte Spaltbarkeiten und Gebirgsspannungen

Gebirgsspannungen und bevorzugte Spaltbarkeiten können die Gewinnung im Steinbruch sehr erschweren, aber auch von Nutzen sein. Mehrfach wurde bereits berichtet, daß in Naturwerksteinlagerstätten Bohrarbeit eingespart werden könnte, wenn die natürliche Spaltbarkeit genutzt wird. Erfahrene Steinbrucharbeiter erkennen diese bevorzugten Flächen und nutzen diese zur Arbeitserleichterung aus.
Früher konnte ein Granit nur wirtschaftlich abgebaut werden, wenn er eine bevorzugte Spaltbarkeit aufweist. Bei dem Vorhandensein solcher Spaltbarkeiten ist es oft ausreichend, entlang einer Linie in regelmäßigen Abständen Kerben (Büchsen) zu schlagen, in die Keile eingetrieben werden(Keilbüchsen). Bei kleinen Stücken wie bei dem Zuhauen zu Pflastersteinen reicht oft ein Schlag aus, um diese zu spalten. So hieß es vor 30 Jahren noch:



Abb. 232: Kalksteinbruch bei Botticino/Italien. Der Abbau schreitet hier in Streichrichtung fort (man beachte die Größenverhältnisse, Hydraulikbagger).

"Schneiden mit der Drahtsäge oder ein Abbohren "Loch an Loch" kommt ja bei den Hartgesteinen nicht in Frage" [100], da man noch keine Diamantseile oder das Schlitzbohrverfahren kannte.
Heute gilt dies sicher noch für die Pflastersteinherstellung, aber nicht für die Gewinnung von Gatterblöcken.
KIESLINGER [100] wies bereits 1957 darauf hin, daß die Gesteinskunde immer noch beim Granit von einem richtungslos-körnigem Gefüge spricht, und nur wenige Darstellungen, wie beispielsweise die von SANDER, betonten das Überwiegen anisotroper Gefüge.

Die beste Spaltbarkeit in den Granitsteinbrüchen folgt gewöhnlich einigen sehr flach geneigten Flächensystemen (der "Bankung"), die entgegen vielfachen Behauptungen mit dem inneren Gefüge des Plutons gar nichts zu tun haben. Die Spaltbarkeit richtet sich mal nach der einen, mal der anderen Hauptfläche der Gefügeregelung, wechselt oft auch innerhalb desselben Bruches und läßt gelegentlich zum größten Ärger der Steinbruchleute ganz aus, man sagt, sie ist "verwimmert" [102]. Die Gefügeregelung ist meist für große Teile eines Plutons gleichbleibend, die Spaltbarkeit dagegen ist auf viel kleinere Bereiche beschränkt und kann im selben Steinbruch wechseln [100].
Die von den Spannungen verursachten Ablösungsebenen bedienen sich aber - soweit es geometrisch möglich ist - den gefügebedingten Anisotropien (Gefügeregelung) des Gesteins, so daß sie "auf fremden Gleisen fahren" und beide sehr oft praktisch zusammenfallen [102].

Sichtbare oder auch für das unerfahrene Auge unsichtbare Spaltflächen werden als Gang, Heber, Lager, Bank oder Löser bezeichnet.
Unterschieden wird zwischen drei bevorzugten Spaltbarkeiten, entlang denen das Gestein durch geringe Krafteinwirkung spaltet. Diese werden bezeichnet als:

- Hebgang,
- Stehgang und
- Stutzgang.

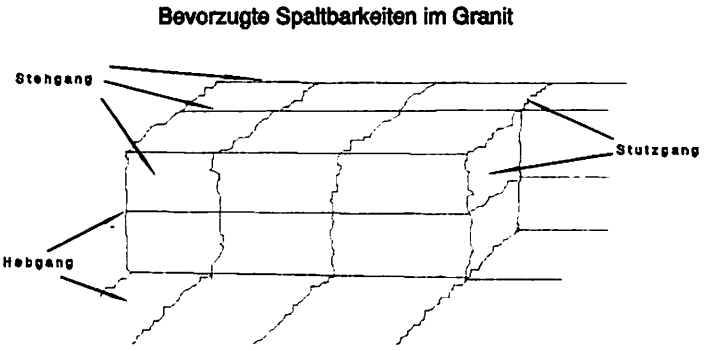


Abb. 233: Bevorzugte Spaltbarkeiten in Graniten und ihre Bezeichnungen.

Der Hebgang (Abb. 233) ist der vorwiegend mit dem Lager übereinstimmende horizontale Gang, entlang der sich auch die Lagerklüfte bilden. Allgemein wird er auch als das Lager bezeichnet. Der Hebgang weist die besten Spalteigenschaften auf.
Die beiden aufrecht stehenden Gänge sind der Stehgang und der Stutzgang. Der Stehgang "steht" auf dem Hebgang. Oft ist er bei einiger Übung mit den Augen bei Betrachtung im spitzen Winkel zur Oberfläche an einer sehr schwachen Einregelung der mafischen Minerale auszumachen. Auch die Spaltbarkeit dieses Ganges ist gut.
Der dritte Gang mit der schlechtesten Teilbarkeit ist der Stutzgang. Dieser steht annähernd im rechten Winkel zu den anderen vorgenannten Gängen. Im Vergleich zum Hebgang und Stehgang weist er eine undeutliche und unregelmäßige (nicht immer im rechten Winkel zu den anderen Spaltbarkeiten) stehende Trennbarkeit auf.

9.3.1 Abbau und Steinbruchanlage bei Auftreten von Gebirgsspannungen

Gebirgsspannungen treten in vielen Gesteinsarten auf, so nicht nur in Graniten, auch in einigen Bereichen in den Apuanischen Alpen bei Carrara im Marmor.
Steht ein Gesteinsvorkommen mit gutem, als Naturwerkstein geeignetem Material unter starken Spannungen, so heißt dies noch lange nicht, daß die Lagerstätte zu verwerfen ist. Es ist nur wichtig, daß man sich dieser Spannungen bewußt ist und den Abbau entsprechend gestaltet, ja sich sogar die Verhältnisse bei der Gewinnung zunutze macht. Die oberen Bereiche eines Plutons sind zumeist entspannt, so daß hier keine bevorzugten Spaltbarkeiten mehr auftreten, mit der Teufe nehmen diese aber zu.
Ist die gespeicherte Spannung unabhängig von den im Steinbruch zu ergreifenden Maßnahmen so stark, daß die Blöcke unter dem Sägegatter zerspringen, so ist die Gewinnung an diesem Ort unrentabel und einzustellen.
Zunächst gilt es, sich über die Ursachen und Veränderungen im klaren zu sein.

Es ist davon auszugehen, daß sich in der Tiefe die Spannungen des Gesteins, in allen drei Raumlagen gegenseitig aufheben. Spannungsumlagerung bringt teils Entspannung, teils Überbeanspruchung mit sich, beides führt zu Auflockerungen [134]. Gestein versucht stets, unter Entfestigung in einen Hohlraum, entweder rein elastisch oder brechend, hereinzudrängen. Durch stetige natürliche oberflächennahe Abtragung verändern diese Spannungen ihre Verhältnisse langsam zueinander (durch Spannungsentlastung in die Richtung der Abtragung), dadurch führt die Druckentlastung oft zu oberflächenparallelen Absonderungen.
Es entsteht eine äußere Zone der Entspannung. Die hydrostatische Druckverteilung geht durch Freimachen einer Fläche in eine gerichte Spannung über. Eine nach außen gerichtete Spannungskomponente wird immer kleiner und ermöglicht es den anderen Komponenten, das Aufreißen von Plattenfugen vorzubereiten [102].
Die sich durch natürliche Abtragung einstellende Druckverteilung geschieht im Zeitraum von Millionen Jahren. Durch eine Naturwerksteingewinnung werden die Spannungsverhältnisse innerhalb kürzester Zeit verändert, so daß sich eine allmähliche Spannungsumlagerung nicht einstellen kann. Dies führt zu den oft beobachtenden Erscheinungen, daß oberflächennahe Platten z. T. mit lauten Knall schlagartig abplatzen können.
Die Ausdehnung (Entspannung) erfolgt stets senkrecht auf eine freie Oberfläche und bewirkt daher die Ablösung oberflächenparalleler Platten. Diese erfolgt nach technischen Eingriffen sehr rasch, aber stets stufenweise. Sie ist unabhängig von älteren Gefügeelementen, bedient sich ihrer aber, soweit deren Raumstellung dies zuläßt.
Die Keilspaltung beruht auf der geschickten Ausnutzung der im Gestein latent gerichteten Entspannungstendenzen [103], wie dies auch in Abb. 234 zum Ausdruck kommt.
Es ist zwischen primärer und sekundärer Spannungsverteilung zu unterscheiden. Die primäre Spannung ist die im unverritzen Gebirge vorherrschende. Die sekundäre ist das sich durch menschlichen Eingriff einstellende Spannungsverhältnis. Das auflagernde Gestein verhindert Dehnungsprozesse in größeren Tiefen. Der Abbau von Gesteinen verändert den primären Spannungszustand des Gebirges. Durch die Spannungsveränderung kommt es zu Spannungsumlagerungen, die zu Mikrobrüchen und Auflockerungszonen führen können.

In massigen Gesteinen, besonders in Graniten und Sandsteinen, bilden sich bei Freisetzung durch Erosion Lagerklüfte. Diese laufen parallel zur Landoberfläche und bilden kugelschalige Hüllen oder Gesteinslagen bis zu einigen Dezimetern Dicke. Die mehr oder weniger oberflächenparallelen Trennflächen werden allgemein Entlastungsvorgängen durch Denudation zugeschrieben. Derartige Trennflächen treten aber nicht nur in Graniten, sondern auch in anderen, nicht magmatischen Gesteinen auf, wie z. B. in Marmor oder in dichtem Kalkstein. Hervorgerufen werden können die Entlastungsklüfte durch die infolge des Abbaubetriebs bedingte Entspannung. Insbesondere durch Abtragung sowie auch durch Seilsäge-Schnitte treten schon Entspannungen auf.

Die Bildung der Lagerklüfte setzt sich immer weiter in die Tiefe fort. Frisch gebrochene Granitblöcke vom Stone Mountain, Georgia dehnen sich noch, nachdem sie von der Steinbruchwand getrennt wurden, um $^{1}/_{10}$ % ihrer Länge aus [28] (0,2 cm bei einem 3 m langem Block).
Die beste Spaltbarkeit in Graniten ist sehr flach geneigt und reicht selten tiefer als 40 m. In Tiefen von ca. 40 - 50 m geht die Spaltbarkeit im Granit verloren, da hier keine gerichteten Spannungen mehr auftreten, die das Zerteilen eines Blockes in bevorzugte Raumstellungen ermöglicht. Früher war dies ein Grund, die Werksteingewinnung zu beenden.
Sind in einem Granit keine gerichteten Restspannungen, so ist die Gewinnung mit nur kurzen Bohrlöchern und Federkeilen, wie dies in Abb. 234 wiedergegeben ist, nicht mehr möglich.
Bei der Gewinnungsmethode mit Keilen ist man aber zumindest auf die "Bankung" im Granit angewiesen. Bei den moderneren Gewinnungsmethoden ist das Fehlen einer Spaltbarkeit kein Grund mehr, den Steinbruch aufzugeben. Hier können entsprechende Gewinnungsmethoden (Schlitzbohren, Wasserschneidverfahren, Flammenschneidverfahren) weiterhelfen.
Da die Entspannungen bei Graniten auch oberflächenparallel auftreten, ist im Vorfeld der Erschließung auf die Morphologie bzw. auch Paläomorphologie zu achten. Zu eingeschnittenen Tälern hin wird sicherlich der Bruchanteil größer, da sich hier mehrere Entspannungsrichtungen kreuzen.

Untersuchungen ergaben [133], daß bei Tunnelbauten die Richtung des langsamen Vortriebes etwa mit der Richtung der größten, die des raschen Vortriebes mit der kleinsten Gebirgsspannung zusammenfielen.

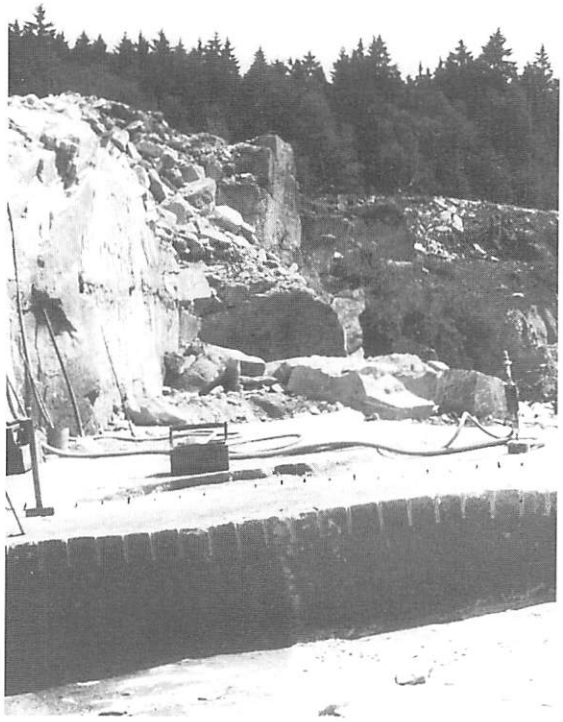


Abb. 234: Bei Ausnutzung der bevorzugten Spaltbarkeiten reichen sehr kurze Bohrlöcher zur Herstellung einer Lösefläche aus.

Spannungsentlastung

Ist die bevorzugte Spaltbarkeit an einer frisch erschlossenen Stelle nicht erkennbar, so schlägt KIESLINGER [100] vor, ein Bohrloch annähernd in der vermutlichen Ebene bester Spaltung niederzubringen und mit einer schwachen Ladung zu sprengen. Diesen Vorgang bezeichnet man auch als "Hohlraumspalten".
Eine Möglichkeit, die Spaltbarkeit zu erleichtern, besteht in der Förderung der Entspannungstendenz, indem man neue freie Flächen schafft. Ziel sollte es sein, die Spannungsentlastungen nicht unkontrolliert wirken zu lassen, sondern vielmehr diese zur besseren Gewinnung einzusetzen. Durch Abtrag des Abraums und hangender Gesteinslagen tritt eine verstärkte Spannungsentlastung nur in vertikaler Richtung auf. Die Abbauplanung sollte so angelegt sein, daß oberflächenparallel in die Tiefe abgebaut wird, und zwar mit vielen vertikalen und parallel zueinander stehenden Entlastungsschlitzen, die sich aber auch an der Raumstellung der bevorzugten Spaltbarkeit orientieren, so daß das Gestein seine Spannung langsam und zudem in mehrere Richtungen abbauen kann.

In manchen istrischen Steinbrüchen hilft man sich, indem man aus lotrechten Steinbruchwänden einen tiefen keilförmigen Entspannungsschlitz ausschrämt, der dem Gestein das

Entweichen eines Großteils der Restspannung ermöglicht, so daß diese dann bei der späteren Keilarbeit nicht mehr stört [103].
Probleme bei der Diamantseilsäge entstehen, wenn "der Berg drückt". Beim Wasserschneidverfahren und auch anderen Gewinnungsverfahren (siehe Abb. 215) ist das kein Problem. Die Geschwindigkeit, mit der sich z. B. ein mit einer Seilsäge geschnittener Spalt schließt, kann sehr unterschiedlich sein. So dauert dies beim Untersberger Marmor bei einem 6 mm breitem Schnitt ca. ein Jahr, in Carrara nur wenige Tage oder sogar Stunden [103].
In einem Trachytsteinbruch verklemmt sich das Seil sogar während des Schneidvorganges, bei einem 12 mm breiten Schnitt.

Entlastungsschlitze können durch das Flammenschneidverfahren oder durch Schlitzbohren angelegt werden. In Steinbrüchen mit geringen Spannungen reichen Entlastungsschlitze mit dem Flammenschneidverfahren in 10 - 15 m Entfernung bereits aus.

Bereits in Kapitel 4.4.4.1 wurde darauf hingewiesen, daß sich nach längerer Verweildauer einer Probe Restspannungen abbauen und die Druckfestigkeit eventuell geringfügig zunehmen kann. Festigkeitszunahmen durch Abklingen der Restspannungen erschweren die Verarbeitung, die mechanischen Spaltprozesse und insbesondere die steinmetzartige Formgebung. Hieraus sind Schlußfolgerungen für die Lagerhaltung von Rohblöcken, also für den Zeitraum zwischen Gewinnung und Weiterverarbeitung unbedingt erforderlich. Durch eine Steuerung der Lagerhaltung (Zeit, Orientierung der Rohblöcke) sind Kostensenkungen bei der weiteren Verarbeitung zu erwarten [140].

9.4 Fehlbeurteilung von Qualität und Vorrat und sonstige Abbauprobleme (ausgewählte Beispiele)

Die bisherigen Kapitel haben gezeigt, welches Potential in der deutschen Naturwerkstein-Industrie steckt. Es wurde aber auch deutlich, daß Planung und Betrieb der Steinbrüche in vielen Fällen verbessert werden müssen.
Hier werden einige Naturwerksteinbetriebe beschrieben, deren Vorrats- und Qualitätsverhältnisse - zum Teil in krasser Form - fehlbeurteilt worden und bei denen sonstige Abbauprobleme auftreten.

9.4.1 Eifelsandsteinbruch Neuheilenbach

Das Beispiel Neuheilenbach ist schon erwähnt worden (Kapitel 6.9). Hier hatte ein Gutachter eine Bewertung der Lagerstätte angefertigt nach der alten Devise: Fläche mal Mächtigkeit! Aus den betreffenden 15 Seiten sei auszugsweise zitiert [20]:

> "... hat BIERTHER in einem Gutachten vom 14.12.1967 auf Grund von Bohrungen festgestellt, daß Abraum in einer Mächtigkeit bis zu 8 m und darunter mindestens 5 m als verwertbarer Naturwerkstein anzunehmen sei".

Der Sandstein sei "dem Udelfanger Sandstein vergleichbar" (der allerdings nicht zu dieser Formation gehört. Beide Sandsteine sind qualitativ nicht vergleichbar). "Nicht verwertbare Bestandteile", wie auszuhaltende Zwischenmittel und Gewinnungsverluste, Transport- und Aufbereitungsverluste usw. seien von den abbaufähigen Vorratsmengen schon abgezogen.

> "Die tatsächliche Mächtigkeit des anstehenden Werksteins ist erheblich größer als die verwertbare Mächtigkeit".

Der Werkstein soll bis in große Teufen reichen, wobei

> "erfahrungsgemäß anzunehmen ist, daß sich die Qualität des Steines nach der Tiefe zu verbessert...".

Der Steinbruchbetrieb könne aber nicht im Tiefgang mit mehreren Abbausohlen betrieben werden - weil die Abbaugrundstücke begrenzt und nicht groß genug seien. Daher verblieben südlich des jetzigen Bruches

"ca. 5.000 m^2 als Abbaufläche".

Bei entsprechenden Genehmigungen etc.

"kann mit einer abbaufähigen Vorratsmenge von mindestens 5.000 m^2 · 5 m verwertbarer Mächtigkeit = mindestens 25.000 m^3 verwertbarer Naturwerkstein gerechnet werden".

"Die tatsächliche verwertbare Vorratsmenge kann ... erheblich höher sein".

Über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren könnten jährlich 1.200 m^3 verkauft werden, mit dem

"durchschnittlichen Erlös in der gleichen Größenordnung wie z. B. den Udelfanger Sandstein" (1986) "von 500,- DM/m^3".

Auf dieser Basis wird dann für die "verwertbare Mächtigkeit" der Substanzwert pro m^2 errechnet, dieser kapitalisiert (zu 130,- DM/m^2) für 5.000 m^2 "= 650.000,- DM" Verkehrswert.

Auf weitere Aussagen des Gutachtens soll nicht näher eingegangen werden. Die nachfolgende Mengenbilanz spricht für sich:
Um jährlich 1.200 m^3 verwendungsfähige Naturwerksteinblöcke zu produzieren, wäre folgendes notwendig:

Rohblockhöffigkeit (Kapitel 6.9) η = 25 % Produktion	1.200 m^3
d. h. nicht gatterfähig	3.600 m^3
Gewinnungsverluste mind.	400 m^3
Gesteinsabbau jährlich:	5.200 m^3

das heißt, bei 5 m Mächtigkeit ungefähr eine Fläche von 1.000 m^2.

Die für 20 Jahre gedachte Vorratsfläche von 5.000 m^2 wäre in 5 Jahren verbraucht. Tiefer und breiter kann der Steinbruch nicht angelegt werden, wegen geologischer und örtlicher Einschränkungen (aber es sind außer den 4.000 m^3 Abfall noch ca. 8.000 m^3 auflagernder Abraum zu beseitigen).
Mithin: Kapitalisierung und damit "Verkehrswert" der Lagerstätte sind völlig falsch berechnet.

9.4.2 Tuffsteinbruch Kassel

Aus dieser Lagerstätte (siehe auch Kapitel 6.6.2 u. 6.9) wurde eine bestimmte Sorte einer vorgeschriebenen Gesteinsart erneut benötigt. Der miozäne Lapilli-Tuffstein aus dem Habichtswald hat graugrüne Farbe und wurde (trotz mangelhafter Verwitterungseigenschaften) früher in dieser Region in vielen Steinbrüchen als Bau- und Verblendstein gewonnen. Für die Restaurierung der 1801 unter Landgraf Karl Wilhelm IX. im Bergpark Wilhelmshöhe erbauten Löwenburg sollten Blöcke dieser ursprünglichen Gesteinsart verwendet werden. Tuffsteine aus der Eifel kamen nicht in Betracht, da deren Farben sich abheben würden. Daher mußte ein 1941 stillgelegter Steinbruch des Kuhbergs in Wilhelmshöhe wieder in Betrieb genommen und - weil keine Unterlagen mehr vorhanden waren - neu erschlossen werden.

Im Rahmen der vom Staatsbauamt in Auftrag gegebenen Vorerkundung wurden sechs Kernbohrungen bis in eine Teufe von maximal 30,8 m niedergebracht. Alle sechs Bohrungen wurden vertikal abgeteuft. Die Bohrungen ergaben, daß der Tuffstein bis mindestens 26 m unter der alten Steinbruchsohle ansteht. Es heißt "unter der alten Abbausohle und maximal 1 m mächtigen Überlagerungsschicht sei werksteingeeigneter Tuff bis zu einer Tiefe von 26 m unter jetziger Geländeoberfläche". Weiter heißt es, "der geologisch bedingt nicht verwendungsfähige Anteil des Gesteins ist nach den Bohrergebnissen relativ gering und dürfte bei 15 % bis maximal 20 % liegen". Das würde bedeuten, daß ca. 80 % des anstehenden Gesteins verwendungsfähig sein sollten.

Diese für Naturwerksteine als hervorragend zu bezeichnende Größenordnung findet sich zwar auch in Tuffstein-Lagerstätten der Eifel (Ettringen, Kapitel 6.6.1.1), hätte aber schon angesichts der Genese des Habichtswaldes unwahrscheinlich erscheinen müssen. Insbesondere in diesem Raum drangen in zeitlicher Verknüpfung mit der Eruption der Tuffe Basaltlaven aus, die sich entweder in und über den Tuffen ausbreiteten ([149]:16). Weiterhin fanden während der Ablagerung der Basalte und Tuffe im Kasseler Raum enorme Bewegungen, insbesondere Hebungen des Untergrunds statt. Außerdem ist die Unterlage der Tuffe zu berücksichtigen. So lagern die Tuffsteine des Habichtswald diskordant über unebenen und geneigten Sedimenten des Oligozäns und des Untermiozäns.
Die hier als Großklüfte anzutreffenden Trennbrüche treten vornehmlich in spröden Gesteinen wie hier den Basalten und Tuffen auf, die auf nachgiebiger Unterlage (tertiärer Ton) aufliegen und auch Schäden am Herkulesbauwerk verursachen ([133]:141).
Dennoch - und obwohl die Forderung bekannt war, daß die Fertigprodukte eine Mindeststärke von 30 cm haben sollten - wurden die kostspieligen Kernbohrungen schon nicht diesen Erfordernissen entsprechend angesetzt. Folglich konnten bei deren Begutachtung keine Aussagen über die eigentlichen Dimensionen der gewinnbaren Blöcke gemacht werden. Da alle Bohrungen vertikal abgeteuft wurden, lagen sie damit parallel zu den meisten Kluftzonen. In diesem Falle wäre es sicher sinnvoller gewesen, wenn man mindestens zwei der sechs Bohrungen horizontal in einem Winkel von 90 Grad zueinander durchgeführt hätte (was hier möglich gewesen wäre), um sich so eine Vorstellung über die steil stehenden Trennflächen zu machen. Laut Gutachten sind die Kernstücke zwischen 0,2 m und 1,5 m lang, und die Klüftung als mittel- bis "weitständig" beschrieben.

Noch vor Betriebsaufnahme wurde die Tuffstein-Lagerstätte Kassel im Rahmen dieser Arbeit befahren: Da die Bruchwände des ehemaligen Steinbruches auf Grund von Naturschutzauflagen nicht angetastet werden durften, stellten sich wegen des starken Bewuchses zusätzliche Schwierigkeiten ein. Deshalb war es hier außerordentlich problematisch, eine Bewertung nach der Methode durchzuführen, wie sie in dieser Arbeit erstellt wurde.
Augenscheinlich waren schon mehrere Kluftzonen erkennbar. Wegen der kurzen Meßstrecken (< 20 m) mußte ein entsprechender Fehler in Kauf genommen werden. Jedoch wurde durch das Messen der Trennflächen an diesen nur relativ kleinen und schlecht zugänglichen Aufschlußflächen besser die Tendenz der Größenordnung für den abbaubaren Anteil erkennbar, als offensichtlich aus den lediglich senkrecht abgeteuften Kernbohrungen. Die Auswertung erbrachte eine Rohblockhöffigkeit von η = 28 % und ein Durchschnittsblock-Volumen von 0,16 m^3.
Da für die Renovierung der Löwenburg vornehmlich Blöcke mit den Maßen 1,2 m · 0,8 · 0,3 m $\approx$ 0,3 m^3 verlangt werden, liegt die Ausbeute tatsächlich auch nur bei den vom Verfasser prognostizierten 30 % - man führt das auf erst beim Abbau "unerwartet"- auftretende Kluftsysteme zurück.

Auf Grund der gewonnenen Bohrkerne erschien die Lagerstätte geeignet für die Gewinnung mit Schrämmaschinen, wie dies in der Eifel quasi selbstverständlich durchgeführt wird.
Der Tuffstein in Kassel ist jedoch durch Gesteinsbruchstücke (mit einem höheren Quarzgehalt) abrasiver als die Tuffsteine aus der Eifel. Daher muß mit den im Kalkstein verwendeten und nicht mit den sonst im Tuffstein üblichen Schneidelementen gearbeitet werden. Da die Klüftung relativ engständig ist und nicht normal zueinander steht, würden bei Einsatz einer Schrämmaschine die durch die Klüftung schon klein geratenen Blöcke noch kleiner werden. Auch bei Bohrungen mit dem Reihenbohrgerät würde das gleiche Problem auftreten. Als Alternative wurde das schonende Sprengen gewählt. Hierbei sollten dann die natürlichen Blockgrößen aus dem Gesteinsverband herausgelöst und je nach Blockform und Dimension im Werk entsprechend weiterbearbeitet werden.
Zumal für die geforderten 3.000 m^3 das 3-4 fache an Vorräten (10.000 m^3) erforderlich ist, wäre es sinnvoller gewesen, an dieser einzigartigen Gewinnungsstelle eine glatte Sohle zu schaffen, diese je nach Klüftung mit nur wenigen Bohrungen zu versehen und die Blöcke dann mit hydraulischen Spaltgeräten aus dem Verband zu lösen. Das heißt, auf dieser schon durch

ungünstige Trennflächenverhältnisse natürlich belasteten Lagerstätte so schonend als möglich abzubauen (wenn in diesem Fall auch teuer).
So hätte nach einer sauberen geologischen Erkundung das Abbauverfahren besser gewählt werden können, um die Ausbeutung auf dieser historisch einmaligen Lagerstätte in einigermaßen vertretbaren Grenzen zu halten.

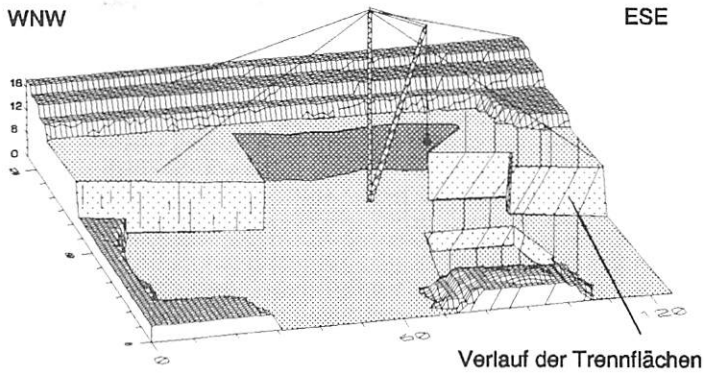


Abb. 235: Darstellung des Steinbruchs Marching nach eigener Vermessung. Blickrichtung liegt in Streichrichtung (195°) der mit ca. 55° einfallenden Schwundrisse. Die Wandhöhe beträgt 12 m (Entfernungsangaben in m).

9.4.3 Kalksteinbruch Marching

Das Befolgen eines exakten Abbauschemas ist nicht überall möglich. Dies sei am Beispiel des Steinbruches Marching aufgezeigt.
Anstehend ist ein Rasenkorallenriffkalk des Malm-Zeta. Der Steinbruch liegt auf Blatt 7136 Neustadt/Donau.



Abb. 236: Steinbruch Marching. Ansicht des in Abb. 235 rechts dargestellten Bereiches (der Verlauf der Trennflächen ist schwach sichtbar). Rechts im Bild ist ein abgebrochener Seilsägeschnitt zu sehen.

Riffschuttbänke können nicht nur vor dem Riff in Richtung auf die Wannen gebildet werden, sondern auch zwischen den Riffen und dann beim Weiterwachsen des Riffes von diesem überdeckt werden. So bildet sich ein vielfältiger Wechsel in horizontaler und vertikaler Richtung, wie er etwa in der Nähe des Klosters Weltenburg zu beobachten ist, aber auf einer Karte im Maßstab 1 : 25 000 nicht mehr darzustellen ist [151]. Neben den eigentlichen Riffkalken sind es vor allem die fossilreichen Riffschuttkalke (Detritus-Kalke), die diese Fazies charakterisieren. Sie sind meist grob gebankt.
Sowohl in Marching als auch Kelheim werden diese Massenkalke der Korallenriffe abgebaut. Unter der Bezeichnung Kelheimer Kalk oder Kelheimer Fazies verbirgt sich eine Vielzahl von Varianten der Riffschuttfazies [178], die es nicht gestattet, sie auf einen Nenner zu bringen [150]. Es gibt keinen Aufschluß und keine Gesteinsart, die sich wiederholen würde.

Gemeinsames übergeordnetes Merkmal der Kelheimer Kalke ist der sich meist äußernde Schuttcharakter. Der Schutt besteht aus grobem bis sehr feinem Material der zerbrochenen Riffmasse, zerbrochenen Organismen (Korallen, Schalentiere, Stachelhäuter) sowie algenumkrusteten Komponenten. Das Auftreten ganz oder teilweise erhaltener Makrofossilien ist häufig. Wenn auch der Schuttkörper weitgehend durch feine anorganisch-organische Matrix ausgefüllt wurde, blieben doch meist Lücken, Löcher, Schwundrisse und Poren zurück [178].

Als vorherrschende Gesteinsfarben der Kalke treten helle gelblich-beigefarbene bis nahezu weiße Töne auf. Kelheimer Kalke brechen immer unregelmäßig und kantig-rauh. In der Schuttfazies deutet sich vielfach eine grobbankige Schichtung an, die - deutlich, zwischen 10° und 40° geneigt - den Gesteinskörper in wenige Meter mächtige Lagen zerlegt [178].
Der gute Naturwerkstein steht hier zumeist in der Tiefe an. Vor allem ist mit Schwundrissen zu rechnen, die von 10° - 40° einfallen können. Eine Trennung zwischen Schutt- und Riffazies im Steinbruch ist kaum möglich. Da die Schwundrisse die einzigen Trennflächen in der Lagerstätte sind und Abstände von ca. 2 m zueinander haben, konnte auf Messungen der Trennflächenabstände zur Ermittlung der Rohblockhöffigkeit verzichtet werden. Kernbohrungen, die Aufschlüsse über die Trennflächen geben sollen, gestalten sich außerordentlich schwierig, da ein Kernausbringen von über 80 % kaum zu erreichen wäre.

In dem Steinbruch werden die horizontalen Schnitte mit einer Schrämmaschine durchgeführt, wobei allerdings die Widiaplaketten (insbesondere durch Kieselsäureknollen) schnell abnutzt sind und schon nach 30 - 40 m^2 gewechselt werden müssen. Alle Schnitte mit einer Schrämmaschine herzustellen, wäre wirtschaftlich nicht tragbar.
Die anderen Schnitte erfolgen mit einer Seilsäge, wobei sich aber insbesondere hier das Bohren der Führungslöcher außerordentlich zeitintensiv gestaltet. Das Bohren in stark geklüftetem Gestein kann ziemlich lange dauern, da das Bohrloch immer wieder zufällt.

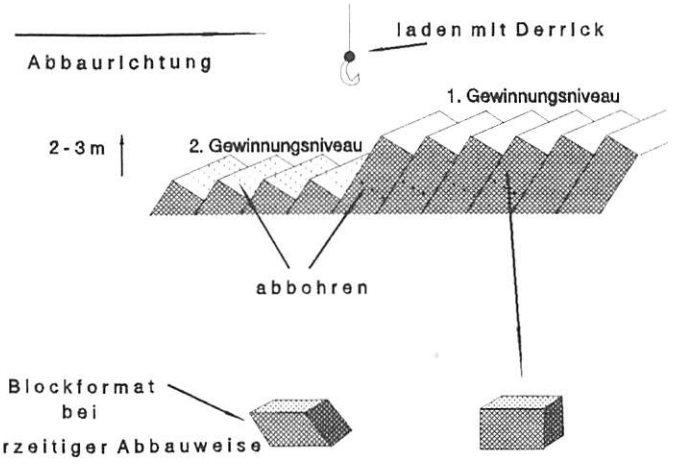


Abb. 237: Vorschlag zur effektiveren Gewinnung bei den schwierigen Verhältnissen im Steinbruch Marching (Erläuterungen im Text).

Im westlichen Abbaubereich ist die Klüftung nicht deutlich, dort steht sie vorwiegend senkrecht. Die Trennflächen im östlichen Teil des Steinbruchs von Marching weisen eine Raumlage von 285/55 auf, das heißt die mit 195° streichenden Trennflächen fallen mit ca. 55° nach NW ein.
Zunächst hat der Betrieb angenommen, daß es sich hierbei nur um Erscheinungen in einem kleinen Bereich der Lagerstätte handelt. Diese bevorzugte Richtung der Trennflächen hat sich allerdings schon in der Anfangsphase des Abbaus gezeigt (wie auf alten Fotos zu erkennen, vgl. [123]), wurde aber bis heute nicht ins Abbauschema einbezogen. Laut Angaben des Betriebes würde ein Abbau, der sich an der Raumlage der Trennflächen orientiert, nicht erfolgreich sein, da diese angeblich zu unregelmäßig verlaufen. Messungen der Raumlagen der Klüfte zeigten aber, daß diese Klüfte im Streichen durchschlagen, wie auch in Abb. 235 dargestellt.

Generell kann diesem Steinbruch nur empfohlen werden, im östlichen Abbaubereich in Verlängerung zu dem alten Abbau kontinuierlich tiefer zu gehen, denn dort ist die Klüftung weitständiger mit Abständen zwischen 2,5 - 3 m.
Die alleinige Gewinnung mit der Schrämmaschine ist ungünstig durch die zu geringen Standzeiten der Schneidplaketten in diesem Gestein und auf Grund der eingeschränkten Flexibilität bei einfallender Klüftung.
Die fast 12 m hohen steilen Abbauwände rechts in Abb. 235 wurden mit der Seilsäge hergestellt, wobei man sich nicht an der Raumlage der Trennflächen orientiert hat. Das bedeutet erhebliche Verluste beim Formatieren der Blöcke in ein gatterfähiges Format.
Mit einer Seilsäge könnte man in alle Richtungen schneiden, um die Raumlage der natürlichen Trennflächen auszunutzen (vgl. Crevoladossola/Italien). Da aber das Material selbst nicht sehr homogen aufgebaut ist, führt dies zu einem sehr unruhigen Seillauf (rechts in Abb. 236).

Außer dem Bohrverfahren kommen sonst keine anderen Verfahren zur Gewinnung im Kalkstein in Betracht. Ein Reihenbohrgerät mit Trägerfahrzeug verlangt eine befahrbare Abbausohle, so daß man sich beim Abbau nicht nach der Raumlage der schräg einfallenden Trennflächen richten kann. Da ein Derrick vorhanden ist, besteht keine Notwendigkeit für eine horizontale Abbausohle. Die gelösten Blöcke müssen also nicht mit dem Radlader transportiert werden, sie können nach dem Lösen weggehoben werden.
Um die Gewinnung an den Trennflächen zu orientieren, ist der Einsatz eines normalen Reihenbohrgeräten am vorteilhaftesten. Die Abb. 237 zeigt schematisch, wie man sich einen solchen Abbau vorstellen kann. Die Abbauwände dürften nur bis zu 3 m hoch sein und die Gewinnung müßte so erfolgen, daß ein ca. 3 m langes Reihenbohrgerät auf den Trennflächen einmal in Streichrichtung und anschließend in Einfallsrichtung befestigt wird (analog zu Abb. 178). Nach dem Abbohren und nachgeschaltetem Lösen können die Blöcke mit dem vorhandenen Derrick geladen werden.



Abb. 238: Granitsteinbruch Kösseine mit einem Reihenbohrgerät, welches hier nicht zur Gewinnung verwendet wird (das Bild spricht für sich) (Maßband in m-Einteilung).

9.4.4 Granitsteinbruch Kösseine

Hier liegen an sich sehr gute Voraussetzungen in der Lagerstätte vor, jedoch ist die betriebliche Leistung dringend zu verbessern.
Der bläulich-graue, mittel-grobkörnige Kösseine-Granit im Fichtelgebirge ist oberkarbonischen Alters. Die grobkörnigen Kerngranite besitzen ein relativ weitgespanntes Kluftnetz. Daher ist es theoretisch möglich, Blöcke von bis zu 10 m Trennflächenabständen abzubauen.

Der Abbau schreitet derzeit gegen die Einfallsrichtung vor. Die Gewinnung erfolgt bei den sehr hohen Bankmächtigkeiten mit Handbohrhämmern und Federkeilen. Man versucht, große Blöcke herauszulösen, die aber im Steinbruch mit hohem Aufwand (Abb. 241) und äußerst zeitintensiv in kleine Blöcke formatiert werden müssen.

Die Konsequenz ist, daß nur äußerst geringe Mengen gewonnen werden und der Abfall an großen Blöcken so hoch ist, daß bereits von anderer Seite Kritik geäußert wird (vgl. [182]).

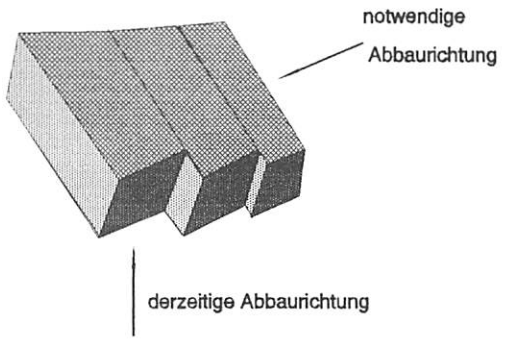


Abb. 239: Derzeitige Abbaurichtung im Kösseine-Steinbruch gegen das Einfallen, und notwendige in Streichrichtung.

Angesichts der geneigten Bankung glaubte der Betrieb zunächst, es sei vorteilhaft, im Steinbruch gegen das Einfallen abzubauen. Die Spreng- und Gewinnbarkeit erscheint dabei einfacher.
Aber Steinfallgefahr und Rutschungen, wobei Entspannungserscheinungen nach dem Sprengen fördernd mitwirken, erschweren den Abbau in dieser Richtung. Schwierigkeiten entstehen durch
a) Bildung von Zugrissen am Böschungskopf.
b) Bei erfolgter Entlastung durch die Klammbildung entsteht "Zuwachsen" von Klammen durch Talzuschub, weiterhin Externrotation der Großkluftkörper unter der Wirkung von Spannungsumlagerungen und Öffnung steiler Spalten (Abb. 240) durch Zugspannungen [133].

Daher hat man Überlegungen angestellt, mit einem fahrbaren Reihenbohrgerät (mit Trägerfahrzeug) in Einfallsrichtung zu gewinnen. Es ist zwar schon ein Reihenbohrgerät mit Trägerfahrzeug im Steinbruch vorhanden, welches jedoch nur zum Zurichten der herausgewonnenen Blöcke verwendet werden kann.

Eine Gewinnung wäre mit diesem Reihenbohrgerät nicht sinnvoll, was bei Betrachtung der Abb. 238 ersichtlich wird. Man wollte von der Oberkante des Steinbruchs mit einem langem Ausleger an einem Trägerfahrzeug auf den schrägen Flächen abbohren. Hierfür wäre ein Ausleger von 7,5 - 12 m notwendig, der wiederum ein zu hohes Gegengewicht am Trägerfahrzeug erfordert. Aus diesem Grund mußte man diese Idee verwerfen.



Abb. 240: Abrutschende Blöcke im Kösseine-Steinbruch (Länge der Meßlatte = 1 m, Einteilung in 10 cm. Im Hintergrund Maßband mit Metereinteilung).

Mehrfach wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Abbau bei steiler Lagerung vornehmlich in Streichrichtung erfolgen sollte, wofür in Kösseine gute morphologische Bedingungen gegeben sind (Abb. 239).
Bei den schrägen Lagerflächen scheint es am vorteilhaftesten, ein Reihenbohrgerät ohne Trägerfahrzeug zum Einsatz zu bringen (siehe auch Kapitel 9.2.3.2), welches der schrägen Bankung angepaßt verwendet werden kann.
So könnten aus diesem Steinbruch erheblich mehr als derzeit 330 m^3/a ohne große Gewinnungsverluste ausgebracht werden. An Nachfrage an diesem einzigartigen Kösseinegranit

mangelt es keineswegs, so daß eine andere Firma in der Nachbarschaft einen alten Steinbruch wieder in Betrieb genommen hat.



Abb. 241: Blockzurichten unter großen Schwierigkeiten in einem Kösseine-Steinbruch.

9.4.5 Trachytsteinbruch Weidenhahn

Die Trachyte des Westerwaldes sind vorherrschend säulenförmig abgesondert, wobei in den größeren Vorkommen stärkere Säulen aufzutreten pflegen [49]. Anders die Lagerstätte Weidenhahn bei Selters, wo der Trachyt (von hellbrauner Farbe und feinkörnig) nicht säulenförmig ausgebildet, sondern von seinen Lagerungsverhältnissen her eher durchaus mit denen von Graniten vergleichbar ist.
Demzufolge bilden die Rohblockhöffigkeit und der Durchschnittsblock keine Probleme. In diesem Steinbruch ergeben sich aber zunehmend Schwierigkeiten beim Abbau durch auftretende Spannungen des Gesteins.
Früher erfolgte die Gewinnung mit Handbohrhämmern. Für den Einsatz des Wasserschneidens ist das Gestein zu feinkörnig ausgebildet. Da der Anteil an Abrasiven relativ gering ist (Quarz Vol-% = 1 %) erschien es günstig, das Seilsägeverfahren zu wählen.

a) Die reinen Seilkosten sind dennoch relativ hoch. Der Seilsägeschnitt von 12 mm wird von im Berg vorhandenen Spannungen zusammengedrückt, das Seil klemmt ein.

Außerdem werden durch den auflagernden Gebirgsdruck oft Blöcke entsprechend der Einfallsrichtung aus dem Gesteinsverband herausgedrückt. Die Folge sind Hangsturz oder Hangverschiebungen. Ursache: die etwas schräg einfallende Klüftung. Die Abb. 242 zeigt die vorherrschende Streichrichtung der Klüfte. Hier wird deutlich, daß die meisten Klüfte NW-SE streichen. Die Anlage der Gewinnungsstelle selbst in dieser Richtung ist daher richtig gewählt (siehe Abb. 243). Angesichts solcher Klüftung sollten aber keine so hohen Abbauwände errichtet werden.

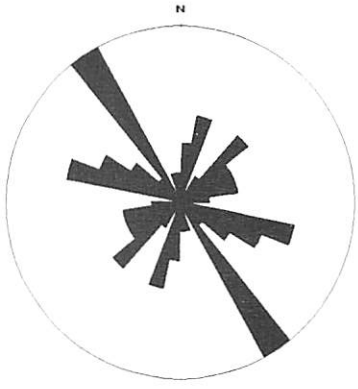


Abb. 242: Die Kluftrose zeigt die Streichrichtung der steil stehenden Klüfte.

b) Auch in diesem Steinbruch ist der Kranbetrieb problematisch: wegen der begrenzten Reichweite des Auslegers wird automatisch und unbewußt dort abgebaut, wo der Derrick steht. Es werden also "Löcher" angelegt (man beachte die Lage der Gewinnungsorte und des Derricks in Abb. 243). Abgesehen davon, daß man bei Ausfall des Krans unter Umständen mit allen Abbaugeräten festsitzt und bis zur Wiederbeschaffung der gesamte Steinbruch lahmgelegt

ist, also die Existenz des Betriebes gefährdet wird, sollte (und kann) von den morphologischen Bedingungen her der Steinbruch so angelegt sein, daß theoretisch jede Stelle zumindest auch mit einem Radlader zu erreichen wäre.

c) Die erzeugten "Löcher" haben aber noch weitere Folgen:
Da hier ein lokales spannungsfreies Feld entstanden ist, können sich die im Gestein

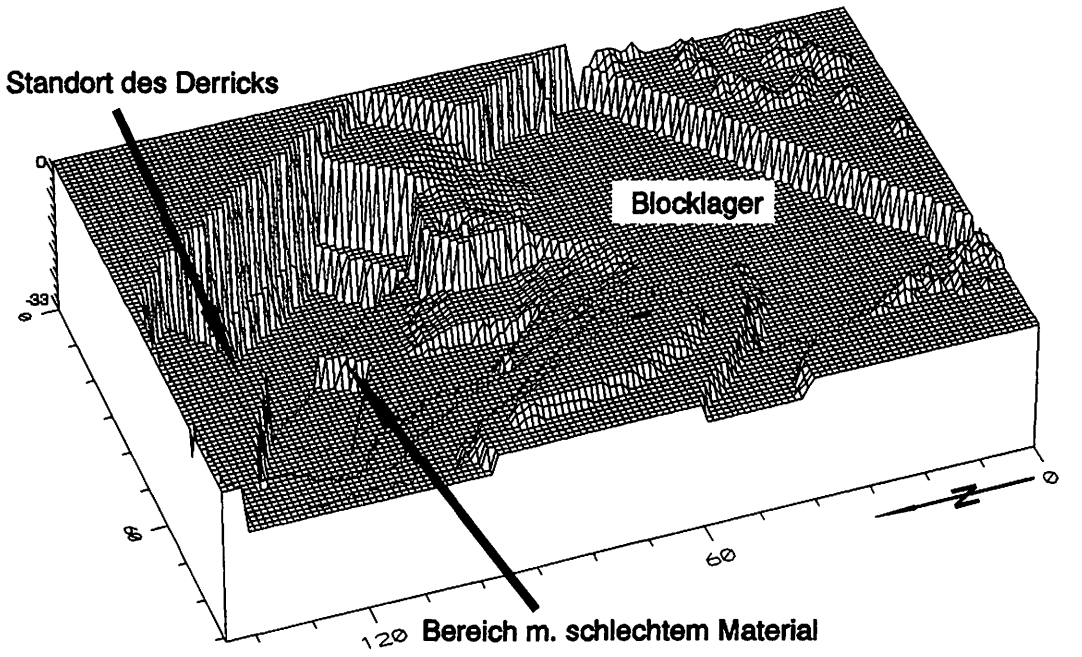


Abb. 243: Darstellung des Trachytsteinbruchs nach eigener Vermessung (Entfernungsangaben in m).

vorhandenen Spannungen nur in eine Richtung entladen, so daß es hier zur Auflockerung des Gesteins kommt. Im Randbereich der Abbaustelle wird es brüchig und unbrauchbar. Dies ist auch im Steinbruch zu beobachten (siehe Pfeil in Abb. 243), aber wie so oft wird die Ursache hierfür rein naturell gesehen ("schlechtes Gestein in diesem Bereich"). Hier hat es aber abbaubedingte Ursachen.

Eine materialschonende Spannungsentlastung wäre zu empfehlen. Dies kann durch eine große freie Abbaufläche und zusätzliche Entspannungsschlitze erreicht werden. Auch dürfen die Seilsägeschnitte nicht zu tief gesetzt werden, solange in dem Gestein hier noch keine Entspannung stattfinden konnte.
Deshalb kann dem Betrieb Weidenhahn nur empfohlen werden, - rechtzeitig - einen neuen Abbauplan zu erstellen, der dies berücksichtigt, und schrittweise die entsprechende Umstellung so vorzunehmen, daß später ein weitgehend spannungsfreies Schneiden (Reduzierung der Seilrisse) in einem weiten Abbaufeld bei nicht zu hohen Abbauwänden ermöglicht wird.

9.4.6 Sandsteinbruch Udelfangen

Um nicht nur Kritik zu üben oder gar die Arbeit mit einem negativen Beispielen abzuschließen, soll kurz der Betrieb Udelfangen skizziert werden. Dieser lebt vorwiegend von der Gewinnung und dem Verkauf von Rohblöcken (vgl. Typ 1 in Kapitel 9.1).
Der Udelfanger Sandstein ist ein in Deutschland viel verwendeter Naturwerkstein, der auch schon für das Reichstagsgebäude in Berlin sowie die Porta Nigra aus der Römerzeit in Trier verbaut wurde. Weiterhin wird er für Bildhauerarbeiten gewählt.
Abgebaut wird der Sandstein nur in einer Lagerstätte bei Udelfangen/Trier. Die in der Umgebung anstehenden Sandsteine (Luxemburger) sind zumeist stärker geklüftet.

Die Lagerstätte ist begünstigt durch relativ große Trennflächenabstände. Nur wenige (ca. 15 - 20 % liegen im Bereich < 0,1 m. Demzufolge wurde in dem vermessenen Teil des Steinbruchs die Rohblockhöffigkeit von η = 73 % errechnet und auch vom Betrieb bestätigt.
Insgesamt erbringt die Lagerstätte jedoch wesentlich schlechtere Zahlen.
Das liegt nun keineswegs an zu hohen verfahrensabhängigen Gewinnungsverlusten (wie das zuvor ausführlich in Kapitel 8 erörtert wurde). Vielmehr ist das bedingt durch die differenzierte Qualität des Gesteins:
Anstehend sind zwei Bänke, der Udelfanger Sandstein (Kernbank) und im Hangenden der Kerscher Sandstein. Die Bänke werden bis zu 2 m mächtig; sie sind oft durch Zwischenmittel von 0,2 - 0,4 m getrennt. Manchmal ist der Kernstein gar nicht ausgebildet. Bereiche, in denen beide Bänke nicht mehr voneinander getrennt sind, können qualitativ nicht verwertet werden, was ca. ein Drittel des Anstehenden ausmacht.
Die beiden Bänke weisen Material von unterschiedlicher Qualität auf. Der Betrieb produziert im Jahresschnitt rund 4.000 m^3 ! Rohblöcke und muß dafür aber mehr als 11.000 m^3 des Anstehenden abbauen. Damit stellt die Ausbeute nur etwa 38 % dar (30 % aus Udelfanger Sandstein und 8 % aus der Kerscher Bank).
Damit der Betrieb dennoch rentabel produzieren kann, verlangt das eine hervorragende Organisation und vor allem ein optimal ausgerichtetes Gewinnungsverfahren, zumal bei der geringen Werksteinmächtigkeit und Abraumüberlagerungen von 9 - 15 m.
Die Lagerstätte fällt mit 10° ein. Der Abbaufortschritt erfolgt in Streichrichtung. Die Wand wird möglichst lang (über 200 m) in Hauptkluftrichtung abgebaut. Eingesetzt wird ein pneumatisches Eigenbau-Reihenbohrgerät, welches an eine Raupe montiert ist. Abgebohrt wird die Gesamtmächtigkeit mit einem weiten! Seitenabstand von 30 - 35 cm, das nachgeschaltete Lösen erfolgt mit Sprengschnur, z. T. auch mit Federkeilen. Die Blockgewinnung geschieht mit relativ geringen Abbauverlusten.

Beim Bewerten einer solchen Lagerstätte auf ihren geologischen bzw. technischen Vorrat hin sind hier aber hohe Abschläge für diejenigen Verluste zu machen, die aus dem großen Anteil unbrauchbaren Gesteins resultieren.

9.5 Nutzbarer Inhalt einer Naturwerkstein-Lagerstätte

Im ersten Teil dieser Arbeit ist anhand der Rohblockhöffigkeit der geologische Vorrat einer Naturwerksteinlagerstätte (Kapitel 5.7) ermittelt worden. Es wurde aufgezeigt, wie man diese wichtige Kennzahl aus den gemessenen Trennflächenabständen ermitteln kann: über den Wert des Durchschnittsblock-Volumens mit graphischer Auswertung oder über zwei Näherungsformeln bzw. eine entsprechende Computersimulation aus den aufgenommenen Trennflächen der Lagerstätten.

Der zweite Teil der Arbeit befaßt sich ausführlich mit allen bergtechnischen Gesichtspunkten der Gewinnung von Naturwerkstein-Rohblöcken. Umfangreiche Detail-Untersuchungen zeigten, daß abhängig vom Gestein und den gewählten Gewinnungsverfahren bzw. -maschinen mit

- Abbauverlusten (Zwischenmittel, Vertaubungszonen) und

- Gewinnungsverlusten (Schnittverlusten)

gerechnet werden muß.
Um diese Verlustanteile ist der aus dem Produkt von Fläche und Mächtigkeit resultierende Lagerstätteninhalt zu kürzen. Der technisch gewinnbare und voll nutzbare Inhalt einer Naturwerksteinlagerstätte ergibt sich somit aus folgender Formel (18).

$$Vorrat_t\ (\ m^3\ ) = (\ Fläche \cdot Mächtigkeit \cdot (\ \frac{\eta - f}{100}\ ) - V$$

(18): Technisch verwertb. Vorrat einer Naturwerksteinlagerstätte (m^3). (η = Rohblockhöffigkeit, f = ggf. Korrekturfaktor, V = Abbau- , Gewinnungsverluste).

Damit wird das eingangs gesteckte Ziel erfüllt, eine generelle Bewertungsgrundlage für Naturwerkstein-Vorkommen zu geben, verbunden mit der Erkenntnis, daß von dem insgesamt anstehenden Gestein auch bei guten Lagerstätten nur ⅔, bei den meisten Steinbrüchen nur etwa die Hälfte oder gar noch weniger als plattenfähiges Produkt gewonnen werden kann. Umsomehr sollten zur Schonung der Lagerstätten und gleichzeitig zur Steigerung der Rentabilität der Betriebe dieses Industriezweiges alle nur möglichen Anstrengungen unternommen werden, die anstehenden Vorräte so sorgsam als möglich auszubeuten. Hierzu soll diese Ausarbeitung mit zahlreichen Anregungen beitragen.

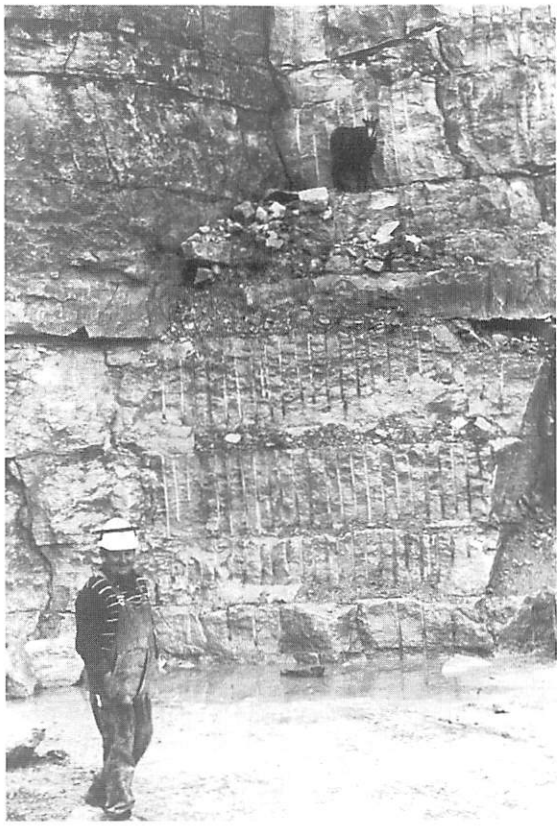


Abb. 244: Gamsbock in einer Steinbruchwand bei Rehlingen, Fränkische Alb (im Vordergrund der Betriebsleiter Herr K. Betz).

10 Schlußbemerkungen

Die Naturwerkstein-Industrie ist ein kleiner, aber zukunftsträchtiger Zweig der deutschen Steine- und Erden-Industrie. Sie ist gekennzeichnet durch eine hohe Zahl von Kleinbetrieben mit einem starken Interesse an der Weiterverarbeitung und Vermarktung. Die Abbautechnik hingegen ist noch weitgehend von Zufällen geprägt (wozu die Lieferanten der Geräte nicht wenig beitragen).
Nach anfänglicher Skepsis vor Ort gegenüber der vorliegenden Untersuchung hat sich vieles geändert: durch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Befahrungen, Messungen und Diskussionen nahm das Interesse in den Betrieben immer mehr zu. Inzwischen hat sich ein reger Kontakt entwickelt. Leider war es in den "neuen" Bundesländern zur Zeit der Geländearbeiten noch völlig verwehrt, dortige Lagerstätten mit in diese Arbeit einzubeziehen.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen erkennen, daß es notwendig ist, sich über jede einzelne Naturwerkstein-Lagerstätte bestmögliche Klarheit zu verschaffen, also über ihre potentiellen Chancen und Probleme - ihre Rohblockhöffigkeit, die hier einheitlich anhand des sogenannten Mindestblocks definiert wurde, ihr Durchschnittsblock-Volumen und ihre maximale Wirtschaftlichkeit. Es wird im internationalen Wettbewerb zwingend, ist aber dank der guten Nachfrage auch lohnend, die Abbauleistungen zu steigern, Gewinnungs- und Verschnittverluste zu minimieren und gegenüber den Betriebskosten zu optimieren. Hierfür wurden zahlreiche Beispiele gegeben. Nicht immer bringt das Billigste die besten Betriebsergebnisse, trotz des enormen Gespürs und Könnens der in den Steinbrüchen tätigen Männer.
Mit dieser Arbeit sollte erstmals zusammenfassend ein naturwissenschaftlich-technisches Fundament geschaffen werden, das die beiden eng voneinander abhängigen Disziplinen Geologie und Tagebautechnik miteinander verknüpft, von der Erfassung aller Verfahrensschritte der Exploration bis hin zur Auslieferung der formgerechten Rohblöcke im Sägegatter. Aufnahme und Vermessung von Klüftigkeit und Trennflächenabständen, z. T. mit modernsten (Radar), aber auch mit kostengünstigsten, dem Praktiker zur Verfügung stehenden Methoden (Bandmaß) führten zum Erfassen der notwendigen Werte, um daraus durch eine neu entwickelte, relativ einfache Methode die Rohblockhöffigkeit aller Naturwerksteinbrüche einheitlich zu entwickeln. Die hier vorgestellte Rechenmethode konnte durch gut übereinstimmende Befunde in einer Vielzahl von Betrieben bestätigt werden. Damit wurden zahlreiche deutsche Naturwerkstein-Lagerstätten quantitativ bewertet, entsprechende Folgerungen aus positiven Arbeitsweisen gezogen, aber auch Kritik in entgegengesetzten Fällen geübt.
Das Echo auf die Tätigkeit während dieser Arbeit läßt hoffen, daß hierauf aufbauend die bestehenden beachtlichen Chancen der gesamten deutschen Naturwerkstein-Industrie gemeinsam genutzt werden mögen, zur Steigerung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Eine der zuständigen Industrie- und Handelskammern hat bereits die Initiative ergriffen. Für den gesamten Naturwerksteinbereich von Dresden bis Trier werden jetzt in Seminaren für Material- und Gesteinskunde sowie Gewinnungstechnik Fachkräfte geschult.
Das bisher Erreichte kann aber nur ein Teilschritt sein und ist als Anregung an die Naturwerkstein-Industrie zu verstehen, auf der geschaffenen Basis weiterzuarbeiten. In diesem Industriezweig, dem überwiegend Kleinbetriebe angehören, können die hier angesprochen planerischen und betrieblichen Probleme kaum von den einzelnen Betrieben im Alleingang gelöst werden. Ein zentraler geologisch-technischer Beratungsdienst, wie er in ähnlicher Form in anderen Zweigen der Grundstoff-Industrie bereits existiert, könnte diese Aufgaben übernehmen. Bei einem Jahresumsatz der Naturwerkstein-Industrie von einer halben bis einer dreiviertel Milliarde DM (westliche Bundesländer) würde weniger als ein Promille dieses Betrages ausreichen, einen solchen Dienst aufzubauen und zu betreiben. Da die Arbeit dieses Dienstes nicht nur für die Betriebe, die ihn in Anspruch nehmen, betriebswirtschaftlich von Bedeutung wäre, sondern auch der Ressourcenschonung und dem Umweltschutz dienen würde, käme auch eine öffentliche Förderung in Frage.

11 Literaturverzeichnis

[1] ACIMM (Associazione costruttori italiani macchine per il marmo e affini) (Hrsg.) (1984): Il taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il filo elicoidale. (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. The helicoidal wire.) - Acimm Marmo, **1**: 39-59; 20 Abb.; Milano (Acimm).

[2] ACIMM (Hrsg.) (1984): Andamento import/export del settore lapideo e considerazioni sulle variazioni riscontrata negli ultimi due anni. 1983. (Import/Export trend of the stone sector and considerations on the variations encountered in the last two years. 1983.) - Acimm Marmo, **2**: 13-19, 4 Tab.; Milano (Acimm).

[3] ACIMM (Hrsg.) (1984): Ex-import marmifero italiano nel primo trimestre '84. (Italian marble ex-import in the first three months of 1984.) - Acimm Marmo, **2**: 21-25, 2 Tab.; Milano (Acimm).

[4] ACIMM (Hrsg.) (1984): Il Taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il filo diamantato. (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. The diamond coated wire.) - Acimm Marmo, **2**: 65-79, 9 Abb.; Milano (Acimm).

[5] ACIMM (Hrsg.) (1985): Il taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il taglio della roccia con la fiamma. (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. Blow-torch rock cutting.) - Acimm Marmo, **3**: 65-67, 2 Taf.; Milano (Acimm).

[6] ACIMM (Hrsg.) (1985): Il taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il taglio con tagliatrici continue. (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. Cutting with continuous cutters.) - Acimm Marmo, **3**: 68-77, 12 Abb.; Milano (Acimm).

[7] ACIMM (Hrsg.) (1985): Movimentazione. (Moving.) - Acimm Marmo, **4**: 59-63, 2 Abb.; Milano (Acimm).

[8] ACIMM (Hrsg.) (1985): Il taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il taglio continuo (1). (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. Block cutting (1).) - Acimm Marmo, **4**: 105-112, 5 Abb., 2 Taf.; Milano (Acimm).

[9] ACIMM (Hrsg.) (1985): Il taglio della rocce per la produzione di blocchi nelle pietre ornamentali. Il taglio continuo (2). (Stone cutting for the production of blocks of ornamental stone. Block cutting (2).) - Acimm Marmo, **5**: 99-104, 5 Abb.; Milano (Acimm).

[10] ACIMM (Hrsg.) (1986): Camerun, Costa d'avorio, Senegal, Guinea, Indonesia, Malesia. - Acimm Marmo, **7**: 71-77; Milano (Acimm).

[11] ACIMM (Hrsg.) (1986): Germania e il suo trend. - Acimm Marmo, **7**: 79-87, 4 Taf.; Milano (Acimm).

[12] ACIMM (Hrsg.) (1987): Avanti ... Adagio. Un po' meglio il settore dei veicoli industriali da cava. (Onward .. but slowly. A small improvement in the quarry vehicles industry.) - Acimm Marmo, **13**: 53-59, 1 Abb., 2 Tab.; Milano (Acimm) 1987.

[13] ACIMM (Hrsg.) (1987): Italia prima della classe nell' export in Germania. (Italy, top of the class for exports to germany.) - Acimm Marmo, **13**: 71-75; Milano (Acimm).

[14] ACIMM (Hrsg.) (1988): Cordoba, citta della pietra. - Acimm Marmo, **16**: 28-29, 6 Abb.; Milano (Acimm).

[15] ACIMM (Hrsg.) (1989): Ancora su Cordoba. (More about Cordoba.) - Acimm Marmo, **19**: 55-61, 8 Abb.; Milano (Acimm).

[16] APPEL, M. (1986): Satellitenbild-Lineare auf der östlichen Altmühlalb und ihre Bedeutung für die angewandte Geologie. - Z. dt. geol. Ges., **137**: 657-667, 5 Abb.; Hannover.

[17] ATLAS COPCO (1988): Bench Drilling. Know-how and equipment. - 96 S.; Stockholm (Atlas Copco).

[18] BALAKRISHNA, S. (1967): Experimental study of fracture mechanism in sandstones. - Geophys. J. R. astr. Soc., **14**: 119-128, 9 Abb., 2 Tab.

[19] BAUMANN, H. (1982): Spannung und Spannungsumwandlung im Rheinischen Schiefergebirge. - 232 S., 62 Abb., 138 Taf., 1 Anl.; Koblenz (Numismatischer Verlag).

[20] BELKA, H. P. (1986): Gutachten über die Ermittlung der Verkehrswerte des Steinbruchs "Neuheilenbacher Rotsandstein". - 31 S., 2 Tab..

[21] BENTZ, A. & MARTINI, H.-J. (1961): Lehrbuch der Angewandten Geologie, Bd. I, Teil 4, Methoden der angewandten Geophysik. - 423-956; Stuttgart (Enke).

[22] BERTOLINI, R. (1985): Le tagliatrici a filo diamantato per la cava: evoluzione e classificazione. (Diamond saw wire cutters for quarrying: their evolution and classification.) - Acimm Marmo, **3**: 37-57, 11 Abb.; Milano (Acimm).

[23] BERTOLINI, R. (1985): La perforazione delle rocce e dei terreni - "A". Perforatrice rotativa con motore oleodinamico/idrostatico in fondo al foro per roccia o qualsivoglia terreni. (Rock and earth drilling - "A". Hydraulic/hydrostatic powered down-the-hole rotating drill for rock or any kind of terrain.) - Acimm Marmo, **6**: 65-73, 3 Abb.; Milano (Acimm).

[24] BIASCO, G. (1985): Applicazione degli impianti a filo dimantato nel taglio dei materiali lapidei. (Using diamond saw wire for cutting stone.) - Acimm Marmo, **4**: 43-55, 9 Abb.; Milano (Acimm).

[25] BIASCO, G. (1987): Utilizzazione del filo diamantato nel tagliodi graniti, arenarie ed altre rocce dure di natura magmativa, sedimentaria o metamorfica. (Using diamond wire to cut granites, sandstones and other hard rocks of a magmatic, sedimentary or metamorphic nature.) - Acimm Marmo, **11**: 69-77, 9 Abb., 1 Tab.; Milano (Acimm).

[26] BIASCO, G. (1989): L'utilizzazione del filo diamantato nel taglio al monte dei materiali non calcarei. (Using diamond wire for quarrying non-calcareous stone.) - Acimm Marmo, **21**: 89-103, 26 Abb., 1 Tab.; Milano (Acimm).

[27] BIRLE, J. D. & RATTERMAN, E. (1988): The sawability of stone. - Stone Ind., **6**: 24-29, 1 Abb., 4 Tab.; Berks, England.

[28] BLOOM, A. L. (1976): Die Oberfläche der Erde. - 200 S., 50 Abb.; Stuttgart (Enke).

[29] BOCK, H. (1971): Über die Abhängigkeit von Kluftabständen und Schichtmächtigkeiten. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 517-531, 9 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

[30] BORTOLUSSI, A., CICCU, R., MANCA, P. & MASSACCI, G. (1988): Metodi in uso nelle cave di granito per estrarre e preparare i blocchi. - Suppl. Inform. Marmista, **320**: 93-112, 5 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Verona.

[31] BOSSI, J. & NAVARRO, R. (1986): I "graniti neri (microgabbri)" dell'eocambriano dell'uruguay. Quinto Congresso Latinoamericano di geologia. (The eocambrian "black granites" (microgabbros) of Uruguay. Fifth latin-american congress on geology.) - Acimm Marmo, **10**: 49-61, 3 Abb., 2 Tab.; Milano (Acimm).

[32] BRISTAR (1989). Persönl. Mittlg.

[33] BRISTAR (1990): Anleitung zur Anwendung von Bristar 2000. - Informationsblatt.

[34] CAPELLI, G. (1985): Materiali tecnoplastici Angst & Pfister nell' industria delle macchine per la lavorazione del marmo. (Angst & Pfister technoplastic materials for marble-cutting machine plant.) - Acimm Marmo, **6**: 59-61; Milano (Acimm).

[35] CAPUZZI, Q. (1989): La tecnologia del diamante nelle cave di granito. (Diamond cutting technology for quarrying granite.) - Acimm Marmo, **24**: 71-75, 6 Abb.; Milano (Acimm).

[36] CLAR, E. (1939): Zur Darstellung der Klüftigkeit von Felsaufschlüssen. - Geol. u. Bauw., **1**: 1-3, 2 Abb.; Wien.

[37] CLAUSER, G. & VALLE, A. (1986): Nuove frontiere negli utensili diamantati: La saldatura al laser. (Advancing the frontiers of diamond tools technology: laser welding.) - Acimm Marmo, **9**: 34-43, 11 Abb., 2 Tab.; Milano (Acimm).

[38] Con una conferma dei miglioramenti registrati alla fine del 1987. L'export del primo semestre 1988 ha superato i 900 miliardi di lire. Con una conferma dei miglioramenti alla fine del 1987. (Market consolidation of the favourable trends seen at the end of 1987. Exports in the first half of 1988 totalled more than 900 billion lire.) - Inform. Marmista, **325**: 19-20, 2 Abb.; Verona 1989.

[39] CONTI, G., MANNONI, T., MONTANI, C., PINZARI, M., PUCCI, R. & RICCI, A. (1990): Il marmo nel mondo. Industria e commercio dei materiali lapidei. - 2. Aufl., 256 S., 259 Abb., 16 Tab.; Carrara (Società Editrice Apuana).

[40] COSTA, C. (1988): Modern Trends in Technology for Marble Quarrying and Processing. - Suppl. Acimm Marmo, **17**, 4 Abb.; Milano (Acimm).

[41] COSTA, C. & PIZZICARA, R. (1987): Problemi di ripristino ambientale relativo alle cava di pietra ornamentale nelle formazioni "Corna" del lias inferiore bresciano Bacino marmifero di Botticino (Brescia) e comuni limitrofi. (Problems posed by environmental reclamation of ornamental stone quarries in the "Corna" formations of the lower lias in the province of Brescia.) - Acimm Marmo, **11**: 49-63, 5 Abb.; Milano (Acimm).

[42] CUCCHI, F. & GERDOL, S. (1989), m. Beitr. v. BERTACCHI, L., & PAULI, DE, S., PADOVINI, R. F., LOPREATO, P., SCOTTI, F. M., PAVAN, G., POZZETTO, M. & SISTO, R.: Der Naturstein aus dem Triester Karst. - 195 S., 186 Abb.; Triest (Camera Commercio Indust. Artigianato Agricoltura).

[43] CURRIER, L. W. (1960): Geologic appraisal of dimension-stone deposits. - Geol. Survey Bull., **1109**, 78 S.; Washington (U.S. Govt. Print. Off.).

[44] DANIEL, P. (1989): In certe zone estrattive altri sistemi risulterebbero antieconomici. L'importanza del filo diamantato nell'escavazione dei marmi greci. (In certain quarrying areas, different methods would be too expensive. The importance of diamond wire in quarrying greek marbles.) - Inform. Marmista, **326**: 45-52, 6 Abb.; Verona.

[45] DANNENBERG, F. K. (1986): Zwei neue Verfahren zur Bestimmung von Gesteinsfestigkeiten: Ultraschall- und Los-Angeles-Test. - Felsbau, **1**: 13-20, 18 Abb.; Salzburg.

[46] DIAMANT BOART (1989): Diamantseil und Maschinen für den Granitabbau. - Informationsbl.

[47] DIAMANT BOART (1990), Pers. Mittlg., Herr Langhardt, Haan.

[48] Diamantseilsäge für Granit. - Steinmetz u. Bildhauer, **2/90**: 58; München (Callwey) 1990.

[49] DIENEMANN, W. & BURRE, O. (1929): Die nutzbaren Gesteine Deutschlands und ihre Lagerstätten mit Ausnahme der Kohlen, Erze und Salze. II. Band: Feste Gesteine. - 485 S., 45 Abb., 20 Tab.; Stuttgart (Enke).

[50] DIN 1 053: Mauerwerk. Berechnung und Ausführung. - Berlin (Beuth) 1974.

[51] DIN 18 332: VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen. Teil C: Allgemeine Technische Vorschriften für Bauleistungen. Naturwerksteinarbeiten. - Berlin (Beuth) 1979.

[52] DIN 18 515, Beiblatt: Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonwerkstein und keramischen Baustoffen. Richtlinien für die Ausführung. Erläuterungen. - Berlin (Beuth) 1973.

[53] DIN 18 515: Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonstein und keramischen Baustoffen. Richtlinien für die Ausführung. - Berlin (Beuth) 1970.

[54] DIN 52 100: Prüfung von Naturstein. Richtlinien zur Prüfung und Auswahl von Naturstein. - Berlin (Beuth) 1939.

[55] DIN 52 103: Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Wasseraufnahme. - Berlin (Beuth) 1972.

[56] DIN 52 104: Prüfung von Naturstein. Frostwechselversuch. - Berlin (Beuth) 1976.

[57] DIN 52 105: Prüfung von Naturstein. Druckversuch. - Berlin (Beuth) 1965.

[58] DIN 52 106: Prüfung von Naturstein. Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit. - Berlin (Beuth) 1972.

[59] DIN 52 108: Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe. Verschleißprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme. - Berlin (Beuth) 1968.

[60] DIN 52 112: Prüfung von Naturstein. Biegefestigkeit. - Berlin (Beuth) 1942.

[61] DITTRICH, E. (1970): Beobachtungen über den Kluftkörper. - Bergakademie, **22**: 151-160, 14 Abb.; Leipzig.

[62] EGGERT, P., HÜBENER, J. A., PRIEM, J., STEIN, V., VOSSEN, K. & WETTIG, E. (1986): Steine und Erden in der Bundesrepublik Deutschland - Lagerstätten, Produktion und Verbrauch. - Geol. Jb. **D 82**, 3-879, 17 Abb., 156 Tab., Hannover.

[63] EISENLOHR, H. & STEIN, V. (1981): Abbauplanung, Aufschlußplanung, Gewinnungsarbeiten. - In: Lagerstätten der Steine, Erden und Industrieminerale (Vademecum 2). - Schriftenreihe der GDMB, **38**: 29-51; Weinheim (Verl. Chemie).

[64] ELBERTON GRANITE ASSOCIATION INC. - Pers. Mittlg., T. A. ROBINSON, General Manager, Georgia.

[65] EMMERT, U. (1977): Faziestypen der Schilfsandstein-Schichten (Mittlerer Keuper) und ihre Genese. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **59**: 195-203, 2 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

[66] FALK, L. (1989): Bohrlochradar-Tomographie zur Abbildung von Kluftzonen. - Referat am Symposium "Rock at great depth"; Pau.

[67] FECKER, E. & REIK, G. (1987): Baugeologie. - 418 S., 486 Abb., 69 Tab.; Stuttgart (Enke).

[68] FISCHER, H.-J. (1986): Marmorgewinnung in Carrara einst und heute. - Steinmetz u. Bildhauer, **5/86**: 17-21, 15 Abb.; München (Callwey).

[69] FORNASER, D., MORANDINI, A. F. & MANCINI, R. (1988): Petrografia e durezza dei graniti ai fini della segabilita al telaio. - Suppl. Inform. Marmista, **320**: 88-92, 2 Tab.; Verona.

[70] FRANCHINI, P. (1988): Sono innumerevoli gli scrittori che hanno trattato l'argomento. Il mondo del marmo in letteratura, un viaggio che non conosce confini. - Suppl. Inform. Marmista, **320**: 189-193, 5 Abb.; Verona.

[71] FRANK, H. W. (1983): Ingenieurgeologische Aspekte bei der Verwendung von Natursteinen in der Altstadt von Goslar. - Ber. 4. Nat. Tag. Ing.-Geol., 63-73, 9 Abb., 5 Tab.; Goslar.

[72] FRANK, H. W. (1983): Verwitterungserscheinungen an Bauwerken aus Naturstein, Möglichkeiten der Restaurierung und Konservierung. - Z. dt. geol. Ges., **134**: 317-343, Hannover 1983.

[73] FREBOLD, G. (1937): Wichtige natürliche Hochbaugesteine Niedersachsens und ihre Verwendung an Bauten des Mittelalters. - Jb. Geograph. Ges., 167-203, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover.

[74] FREYBERG, B.v. (1965): Der Coburger Bausandstein (Mittl. Keuper) von Zeil-Ebelsbach als Beispiel einer epikontinentalen Schichtenfolge. - Erlanger geol. Abh., **58**, 60 S., 16 Abb., 20 Taf.; Erlangen,

[75] FREYBERG, B.v. (1968): Übersicht über den Malm der Altmühl-Alb. - Erlanger geol. Abh., **70**, 40 S., 5 Abb., 4 Taf.; Erlangen.

[76] FREYBERG, B.v. (1969): Tektonische Karte der Fränkischen Alb und ihrer Umgebung. - Erlanger geol. Abh., **77**, 81 S., 10 Abb., 8 Taf.; Erlangen.

[77] General Electric Superabrasives (1991): Sägedraht mit MBS Diamant bringt fünffache Steigerung in der Steinbruchproduktion. - Informationsblatt.

[78] GILLI, M. (1988): La segagione dei graniti al telaio con l'uso di graniglie metalliche. - Inform. Marmista, **320**: 23-26, 2 Abb., 8 Tab.; Verona.

[79] GIORGIO, C. (1989): Georgia USA: A trip to an important stone area. Five "lithonia" granite quarries near the enormous "Stone Mountain". - Inform. Marmista, **329**: 16-18, 8. Abb.; Verona.

[80] GOCHT, W. (1983): Wirtschaftsgeologie und Rohstoffpolitik. - 295 S., 44 Abb.; Berlin (Springer).

[81] GOERGEN, H. (1987): Festgesteinstagebau. - 253 S.; Clausthal-Zellerfeld (Trans Tech Publ.).

[82] GOVERNO DELLA PROVINCIA DI MENDOZA (ARGENTINA). DIREZIONE GENERALE DELLE MINIERE (1987): "Marmi" e "Graniti" e loro possobilita' di sfruttamento. (Marble and granite deposits in the province and the prospects for exploiting them.) - Acimm Marmo, **14**: 60-67, 1 Abb.; Milano.

[83] GRIMM, W.-D. (1984): Zur Verwitterung von Naturwerksteinen insbesondere bayerischer Provenienz. - Geologica Bavarica, **86**: 507-550; München.

[84] GRIMM, W.-D. (1990): Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine in der Bundesrepublik Deutschland. - 656 S., 200 Taf.; München (Bayr. L.-Amt f. Denkmalpflege).

[85] GRIMM, W.-D. & VÖLKL, J. (1983): Rauhigkeitsmessungen zur Kennzeichnung der Naturwerksteingewinnung. - Z. dt. geol. Ges., **134**, 387-411, 11 Abb.; Hannover.

[86] GROESSENS, E. (1988): From the famous blue petit granit to the speciality black marbles. (I principali materiali lapidei coltivati nelle cave del belgio Dal blu del rinomato "petit granit" alla specialita dei vari marmi neri.) - Suppl. Inform. Marmista, **320**: 145-157, 11 Abb.; Verona.

[87] GROESSENS, E. (1988): Marble production dates back to roman times. The glorious past and future prospects for belgian stone. (Con una produzione che risale addirittura all'eta romana. Ieri glorioso e domani da scoprire per i materiali lapidei del Belgio.) - Inform. Marmista, **320**: 8-15, 9 Abb., 1 Tab.; Verona.

[88] GUICCIARDI, C. (1988): Un settore che ha conosciuto momenti di particolare sviluppo. Le cave della provincia di sondrio e le fasi dell'attivita estrattiva. - Inform. Marmista, **320**: 30-36, 9 Abb.; Verona.

[89] Guidelines for noise protection. - Intern. Mining, **7/2**: 30-33, 4 Abb.; London (1990).

[90] HAKENBERG, W. (1990): Gutachten über die Sandstein-Lagerstätte Obernkirchen. - 125 u. IX S., 3 Kt., 10 Anl.; Osnabrück.

[91] HESEMANN, J., PIETZNER, H., PROKOP, F. W., SAGHEER, M., SCHRÖDER, G., STADLER, G., STRECK, W., TSCHOEPKE, R. W., VOGLER, H., WALTHER, H. W. & WERNER, H. (1981): Untersuchung und Bewertung von Lagerstätten der Erze, nutzbarer Minerale und Gesteine. - 2. neubearb. Aufl., 236 S., 3 Abb., 14 Tab., 25 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt. Nordrhein-Westf.)

[92] HINZ, K. (1991): Fassaden planen und ausführen. Prüfung von Naturwerksteinen. - Steinmetz u. Bildhauer, **1/91**: 34-38; München.

[93] HOFFMANN, U. (1967), mit Beitr. von BERGER, K. & WITTMANN, O.: Erläuterungen zu Blatt 6225 Würzburg Süd. - Geol. Kt. Bayer. 1:25 000: 134 S., 17 Abb., 2 Tab., 4 Beil.; München.

[94] HOLLINGER, J. (1990): Pfälzer Werksandsteine. Vorkommen, Verarbeitung, Verwendung. - Mitt. Pollichia, **77**: 101-109, 1 Abb., 1 Taf.; Bad Dürkheim.

[95] HOLTZ, S. (1977): Geophysikalische und geologische Untersuchungen für das Hochwasserrückhaltebecken Mackenzell/Nüst, Kreis Fulda. - Giessener Geolog. Schrift., **12**: 123-140, 4 Abb.; Giessen.

[96] HOTTES, K. (1967): Die Naturwerkstein-Industrie und ihre standortprägenden Auswirkungen. - Giessener geograph. Schriften, **12**, 270 S., 8 Abb., 1 Anh.; Gießen (Schmitz).

[97] INTERNAZIONALE MARMI MACCHINE DI CARRARA (1987): L'import/export lapideo nel primo semestre 1986. Studi e ricerche dell'Internazionale Marmi Macchine di Carrara. (Stone imports exports in the first hale of 1986. Surveys and research from International Marble Machines, Carrara.) - Acimm Marmo, **11**: 81-83, 1 Tab., 1 Taf.; Milano.

[98] ISTITUTO COMMERCIO ESTERO (1982): Marmi Italiani. - **I+II**, 79+146 S., Mailand (Fratelli Vallardi).

[99] KAISER, W. (1979): Ultraschallmessungen zur Gesteins- und Gebirgserkundung. - Z. Bodenmech., **2/1**: 46-47, 3 Abb.

[100] KIESLINGER, A. (1957): Zur Spaltbarkeit von Granit. - Montanrdsch, **5**: 237-243, 6 Abb.; Wien.

[101] KIESLINGER, A. (1958): Restspannung und Entspannung im Gestein. - Geol. u. Bauw., **24**: 95-112, 21 Abb.; Wien.

[102] KIESLINGER, A. (1960): Gesteinsspannungen und ihre technischen Auswirkungen. - Z. dt. geol. Ges., **112**: 164-170, 4 Abb.; Hannover.

[103] KIESLINGER, A. (1968): Spannungen und Entspannungen im Steinbruchbetrieb. - Berg- u. Hüttenmänn. Mh., **113**: 298-304, 10 Abb.; Wien.

[104] KLEMM, R. & KLEMM, D. (1981): Die Steine der Pharaonen. - 48 S., 45 Abb., 12 Taf.; München (Staatl. Smlg. Ägypt. Kunst).

[105] KLÖSSER, U. (1984): Die Kelheimer Steinbrüche. - Steinmetz u. Bildhauer, **5/84**: 27, 5 Abb.; München.

[106] KNETSCH, G. (1952): Geologie am Kölner Dom. - Geol. Rdsch., **40**: 57-73, 10 Abb.; Stuttgart.

[107] KOTOLA, M. (1982): Leichte Hydraulik-Bohrhämmer und ihre Anwendungsbereiche. - Nobelh., **48**: 62-68, 18 Abb.; Troisdorf, Haltern.

[108] KUDERA, F. (1982): Zusammenhänge zwischen Bohrgeschwindigkeit und Brutto-Bohrleistung bei Bohrarbeiten. - Nobelh., **48**: 186-191, 2 Abb., 1 Taf.; Troisdorf, Haltern.

[109] Landesgewerbeanstalt Bayern (1991): Gebühren für die Prüfung von Naturwerkstein.

[110] Landesgewerbeanstalt Bayern (1991): Prüfantrag für Naturwerkstein.

[111] La tagliablocchi arriva ad una resa d'oltre otto metri quadrati all'ora. - Inform. Marmista, **342**: 24-25, 2 Abb.; Verona 1990.

[112] La X legislatura forse decisiva per una definizione della materia. Presentata altra proposta di legge che disciplina l'attivita di cava. - Informatore Marmista, **326**:, 25-33, 4 Abb.; Verona.

[113] Le normative in vigore risalgono ormai a cinquant'anni or sono. Le Prove tecniche per determinare le proprieta dei materiali lapidei. (Current regulations date back more than fifty years. Technical testing to measure properties of stone materials.) - Inform. Marmista, **324**: 63-70, 4 Abb., 2 Tab.; Verona 1988.

[114] LEPPER, J. (1976), mit Beitr. von KNAPP, G., MÖKER, H., NEUMANN-REDLIN, C., OELKERS, K.-H., ROHDE, P., SCHLÜTER, W. & STEIN, V.: Erläuterungen zu Blatt 4322 Karlshafen. - Geol. Kt. Nordrhein-Westf. 1:25 000, 190 S., 14 Abb., 11 Tab., 6 Taf.; Krefeld.

[115] MADER, D. (1982): Sedimentologie und Genese des Buntsandsteins in der Eifel. - Z. dt. geol. Ges., **133**, 257-307, 10 Abb., 5 Tab., 3 Taf.; Hannover.

[116] MANNONI, L. & MANNONI, T. (1978): Il Marmo - Materia e Cultura. - 234 S., 327 Abb., 1 Anh.; Genua (Sagep).

[117] MEHLING, G. (1986): Natursteinlexikon für Handwerk und Industrie. - 655 S.; München (Callwey).

[118] MEISSER, O. (1954): Geophysikalische Anomalien. - Geologie, **3**: 867-875; Berlin.

[119] MEYER, R. (1985): Explosivstoffe. - 6. Aufl., Weinheim (Verlag Chemie).

[120] MEYER, R. K. F. (1972): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits (Malm). 1. Teil: Nördliche Frankenalb. - Erlanger geol. Abh., **91**, 28 S., 25 Abb., 5 Taf.; Erlangen.

[121] MEYER, R. K. F. (1974): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits (Malm). 2. Teil: Mittlere Frankenalb. - Erlanger geol. Abh., **96**, 34 S., 12 Abb., 3 Taf.; Erlangen.

[122] MEYER, R. K. F. (1977): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits und der Massenkalke (Malm). 3. Teil: Südliche Frankenalb. - Erlanger geol. Abh., **104**, 40 S., 10 Abb., 5 Taf.; Erlangen.

[123] MEYER, R. & SCHMIDT-KALER, H. (1984): Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. - 2. Aufl., München (Bay. Geol. Landesamt).

[124] MEYERS COMPANY, Bedford, Indiana; Informationsblatt.

[125] MIELKE, H. (1982), m. Beitr. von BADER, K., RÜCKERT, G., SALGER, M., SCHUCH, M. & LAFORCE, W.: Erläuterungen zu Blatt 6037 Ebnath. - Geol. Kt. Bayer. 1:25 000, 115 S., 19 Abb., 4 Tab., 4 Beil.; München.

[126] MILITZER, H., SCHÖN, J. & STÖTZNER, U. (1986): Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau. - 2. Aufl., 419 S., 341 Abb., 53 Tab.; Stuttgart (Enke).

[127] MOLTENI, L. & SALSI, G. (1987): Ci mancava anche questa. (This was all we needed.) - Acimm Marmo, **14**: 73-77; Milano.

[128] MOTZKA-NÖRING, R. (1987): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000, Blatt 4925 Sontra. - 2. Aufl., Erl. geol. Kt. Hessen, 296 S., 91 Abb., 14 Tab., 6 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).

[129] MÜLLER, B. (1972): Die Erarbeitung gebirgsmechanischer Kennziffern und ihre Beziehungen zum sprengtechnischen Verhalten des Gebirges. - Informationsbl. Erzeugnisgruppe Schotter und Splitt, **9**: 1-16, 9 Abb., 6 Tab.; Leipzig.

[130] MÜLLER, B. (1978): Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung, gesteinstechnischen Eigenschaften und dem Trennflächengefüge in Karbonatgesteinen. - Z. geol. Wiss., **6/7**: 897-914, 20 Abb., 4 Tab.; Berlin.

[131] MÜLLER, F. (1987): Gesteinskunde. - 2. Aufl., 261 S.; Ulm (Ebner).

[132] MÜLLER, F. (1989): Internationale Naturstein Kartei - INSK. **1-10**; Ulm (Ebner).

[133] MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau. Theoretischer Teil. Felsbau über Tage 1. Teil. - Bd. 1: 624 S., 307 Abb., 22 Taf.; Stuttgart (Enke).

[134] MÜLLER, L. (1978): Der Felsbau. Tunnelbau. - Bd. 3, 945 S., 612 Abb., 50 Taf.; Stuttgart (Enke).

[135] NEGENDANK, J. F. W. (1983), m. Beitr. von BÜCHEL, G., DEGEN, H., JUNG, L., LORENZ, V., SCHMIDT, W. & WAGNER, W.: Trier und Umgebung. - Sammlg. geol. Führer., **60**, 195 S., 29 Abb., 6 Tab., 5 Kt.; Stuttgart (Borntraeger).

[136] Operazione da "Guinness dei primati" in una cava di colonnata. Tagliati in una settimana di lavoro quasi 2 mila metri quadrati di marmo. (An entry for the "Guinness book of records" in a colonnata quarry. 2000 square metres of marble cut in just one week of work.) - Inform. Marmista, **324**: 34, 1 Abb.; Verona 1988.

[137] PANDOLFI, D. & PANDOLFI, O. (1989): La cava. - 879 S.; Belforte Grafica (Livorno).

[138] Per la prima volta a Carrara l'import supera l'escavato locale. Ora l'antica "capitale del marmo" e diventata l'emporio del granito. (Carrara: For the first time ever, imports exceed local quarrying. The ancient "capital of marble" has now become an "emporium of granite.) - Inform. Marmista, **326**: 37-40, 2 Abb., 1 Tab.; Verona 1989.

[139] Per rilanciare le pietre pregiate si e ricorsi a una pietra preziosa. Il diamante all'origine del "boom" nel comparto lapideo. - Inform. Marmista, **334**: 25, 1 Abb; Verona 1989.

[140] PESCHEL, A. (1971): Die Ausnutzung festigkeitsmechanischer Anisotropien der Gesteine bei der Gewinnung in der Naturwerksteinindustrie. - Wiss. Z. Hochsch. Archit. Bauwes. Weimar, **18**: 381-383, 2 Abb.; Weimar.

[141] PESCHEL, A. (1977): Natursteine. - 1. Aufl.: 390 S., 151 Abb., 140 Tab.; Leipzig (VEB Verl. Grundstoffind.).

[142] PETERSON, G. (1986): Zielgenaues Kernbohren. - Nobelh., **52**: 55-62, 12 Abb., 2 Taf.; Troisdorf, Haltern.

[143] PIETSCH, H. (1980): Entwicklungsrichtungen bei Gesteins-Bohrwerkzeugen. - Nobelh., **46**: 63-71, 21 Abb.; Troisdorf, Haltern.

[144] PORSFELD, F. (1983): Hydraulisches Bohren von Perforations-Bohrungen zur Blockgewinnung. - Steinmetz u. Bildhauer, **10/83**: 855-857, 1 Abb.; München (Callwey).

[145] POWER, W. R. (1973): An evaluation of building dimension stone deposits. - Mining Engineering, **24**, 6: 42-44, 6 Abb.; New York.

[146] POWER, W. R. (1983): Dimension and Cut Stone. - In: LEFOND, S. J.: Industrial Minerals and Rocks: 161-181, 6 Abb., 2 Tab.; New York (Amer. Inst. Mining, Metall. and Petrol Eng., Inc.).

[147] PRAYER, V. (1988): Traditions of our forefathers. (Si rinnovano a Carrara le tradizioni dei padri.) - Marmor, **21**: 50-58, 5 Abb.; Verona.

[148] RICHTER, P. & STETTNER, G. (1979): Geochemische und petrographische Untersuchungen der Fichtelgebirgsgranite. - Geologica Bavarica, **78**, 144 S., 70 Abb., 7 Tab., 9 Beil.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

[149] RÖSING, F. (1969): Erläuterungen zu Blatt 4622 Kassel-West. - 3. Aufl. Geol. Kt. Hess. 1:25 000: 205 S., 9 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.

[150] RUTTE, E. (1962): Erläuterungen zu Blatt 7037 Kelheim. - Geol. Kt. Bayer. 1:25 000: 243 S., 25 Abb., 3 Beil.; München.

[151] SCHMIDT-KALER, H. (1968), mit Beitr. von BADER, K., DIEZ, T., HOHENSTÄTTER, E., VIDAL, E. & NATHAN, E.: Erläuterungen zu Blatt 7136 Neustadt a. d. Donau. - Geol. Kt. Bayer. 1:25 000: 167 S., 34 Abb., 6 Tab., 2 Taf., 1 Beil.; München.

[152] SCHMIDT-KALER, H. (1976): Erläuterungen zu Blatt 7031 Treuchtlingen. - Geol. Kt. Bayer. 1:25 000: 145 S., 36 Abb., 2 Tab., 2 Beil.; München.

[153] SCHMITZ, B. (1975): Die Steine der Pharaonen. Vom Steinbruch zum Kunstwerk. Lagerstätten, Materialien, Werkstücke Altägyptens. - Inform. u. Einführungen f. d. Museumsbesucher, **2**, 63 S., 28 Abb.; Hildesheim (Pelizaeus-Museum).

[154] SCHÖNE, D. & PESCHEL, A. (1974): Die Gewinnbarkeit von Rohblöcken für die Naturwerksteinindustrie und ihr Einfluß auf das Abbausystem. - Neue Bergbautechnik, **4**: 214-223, 5 Abb.; Leipzig.

[155] SELMO, M. (1990): Visita alle cave di Alpalhão e Borba e alla fabbrica d'utensili diamantati (Visits to Alpalhão and Borba quarries as well as to the diamond tool factory). - Inform. Marmista, **342**: 11-18, 14 Abb.; Verona.

[156] SINGEWALD, C. (1989): Gesteinskunde. Kompendium für Industrie-Betriebswirt, Fachrichtung Naturwerkstein. - IHK-Koblenz; **403**: 38 S., 28 Abb., 2 Tab.; Mayen-Koblenz (Steintechn. Inst.).

[157] SNETHLAGE, R. (1984): Konservierungsmöglichkeiten von Natursteinen. - Geologica Bavarica, **86**: 551-563, 4 Tab.; München.

[158] SOCIETÁ EDITRICE APUANA (1984): Il marmo ... ieri e oggi. Storia fotografica della lavorazione del marmo. - 247 S.; Carrara (Societá Editrice Apuana).

[159] SÖLLER, M. (1985): Der rote Mainsandstein. - Steinmetz u. Bildhauer, **5/85**: 36-40, 5 Abb.; München (Callwey).

[160] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1983): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe. Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe des In- und Auslandes. Jahr 1982. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[161] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1988): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe. Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe des In- und Auslandes. Jahr 1987. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[162] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1989): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe. Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe des In- und Auslandes. Jahr 1988. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[163] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1990): Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe. Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe des In- und Auslandes. Jahr 1989. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[164] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1989): Fachserie 7: Außenhandel. Reihe 2 Außenhandel nach Waren und Ländern (Spezialhandel). Dezember und Jahr 1988. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[165] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (1990): Fachserie 7: Außenhandel. Reihe 2 Außenhandel nach Waren und Ländern (Spezialhandel). Dezember und Jahr 1989. - Stuttgart (Metzler - Poeschel).

[166] STEIN, V. (1981): Naturwerksteine im niedersächsischen Kirchenbau. - Geol. Jb., **D 44**: 3-22, 1 Abb., 2 Taf.; Hannover.

[167] STINY, J. (1922): Technische Geologie. - 789 S., 463 Abb., 1 Kt.; Stuttgart (Enke).

[168] STINY, J. (1930): Die Anlage von Steinbrüchen und Baustoffgruben. - Geol. u. Bauw., **2**: 1-78, 93 Abb.; Wien.

[169] TAMROCK (Hrsg.) (1988): Surface drilling and blasting. - 479 S.; Tamrock.

[170] THIERBACH, R. (1974): Electromagnetic Reflections in Salt Deposits. - J. Geophys. **40**: 633-637, 3 Abb..

[171] THUM, W. (1978): Sprengtechnik im Steinbruch- und Baubetrieb. - Wiesbaden (Bauverlag).

[172] Uffizien, Florenz.

[173] Vollhydraulische Reihenbohrgeräte. - Steinmetz u. Bildhauer; **5/86**: 71-72; München (Callwey).

[174] WAGNER, F. C. & ENGLER, R. (1986): Die Bestimmung der Spaltdichte von Gesteinsproben mittels Ultraschallmessungen. - Z. angew. Geol., **32/7**: 181-184, 4 Abb.; Berlin.

[175] WALDECK, H. (1975), mit Beitr. von CLAUS, M., GOLDBERG, G., GRAMANN, F., HOFRICHTER, E., KOSMAHL, W., ROHDE, P., SIMON, P., STEIN, V., STRIEBEL, H. & WOLFART, R.: Erläuterungen zu Blatt 4023 Eschershausen. - Geol. Kt. Niedersachs. 1:25 000, 189 S., 8 Abb., 20 Tab., 1 Kt.; Hannover.

[176] WARSCHEID, T., PETERSEN, K. & KRUMBEIN, W. E. (1989): Die Besiedlung unterschiedlicher Sandsteine durch chemoorganotrophe Bakterien und deren Einfluß auf den Prozeß der Gesteinszerstörung. - Z. dt. geol. Ges., **140**: 209-217, 1 Abb., 3 Tab.; Hannover.

[177] Water also quarries stone. - Stone World, **5/91**: 47, 2 Abb.; Oradell/NY 1991.

[178] WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. - Geologica Bavarica, **86**: 563 S., 2 Beil.; München.

[179] WELLMER, F.-W. (1989): Rechnen für Lagerstättenkundler und Rohstoffwirtschaftler. Teil 2: Lagerstättenstatistik, Explorationsstatistik einschließlich geostatistischer Methoden. - Clausthaler Tekton. H., **26**, 462 S., 103 Abb., 52 Tab.; Clausthal (E. Pilger).

[180] WINKLER, E. M. (1975): Stone: Properties, Durability in Man's Environment. - 2. Aufl., 230 S., 150 Abb., 38 Tab.; New York (Springer).

[181] WOLTER, K. E. (1988): Ergebnisse von in situ-Spannungsmessungen in Graniten Süddeutschlands. - Z. dt. geol. Ges., **139**: 161-175, 6 Abb., 3 Tab.; Hannover.

[182] WUNDERLICH, M. (1991): Rohstoffsicherung und -gewinnung wird immer schwieriger. - Naturstein, **5/91**: 101-106, 9 Abb.; Ulm (Ebner).

[183] ZARO, R. C. (1988): Importanza dell'analisi petrografica per una corretta valorizzazione e gestione dei materiali lapidei. (Importance of petrographic analysis for a correct assessment and management of stone materials.) - Acimm Marmo, **15**: 25-43, 14 Abb., 2 Taf.; Milano.

[184] ZIEGLER, K., FRANKE, W. & SPEICHER, G. (1983): Untersuchungen über das Detonationsverhalten von Sprengstoffen in Verbindung mit Sprengschnüren. - Nobelh., **49**: 1-20, 6 Abb., 4 Taf.; Troisdorf, Haltern.

[185] Zwei für die Technologie. Eine Synergie zum besseren Einsatz von Diamant-Werkzeugen zur Natursteinverarbeitung. - Marmomacchine, **86**: 128-132; Milano 1989.

Erläuterung einiger in der Arbeit verwendeter Begriffe

Arkose:	Gestein, welches vorwiegend aus Quarzsand- und > 25 % aus Feldspatkörnern besteht.
Bankung:	Gliederung eines durch horizontale Fugen geteilten Tiefengesteins in dickere Bänke. Hier wird nicht von Schichtung gesprochen.
basisches Gestein:	Gestein mit einem Kieselsäuregehalt von 45 - 52 Vol.-%.
durchschlagende Klüftung:	Klüftung, die durch alle anstehenden Bänke durchgeht.
Einfallen:	Einfallsrichtung, liegt senkrecht zum Streichen.
Grauwacke:	Sedimentgestein, welches vorwiegend aus Quarz- und Feldspatkörnern, Phyllosilikaten (Glimmer) und Karbonaten besteht.
Hangendes:	Schichten, die über der jeweils betrachteten Schichtengruppe lagern, bzw. ursprünglich abgelagert wurden.
Horst:	eine von Verwerfungen begrenzte Hochscholle.
Kluft:	trennende Fugen, an denen keine wesentlichen Verschiebungen stattgefunden haben.
Liegendes:	Schichten die unter der jeweils betrachteten Schichtengruppe lagern bzw. ursprünglich abgelagert wurden.
mafische Minerale:	dunkle Minerale, z. B. Olivin, Pyroxen, Amphibol, Biotit.
Marmor:	metamorphes Gestein, vorwiegend aus Calcit oder Dolomit.
Migmatit:	Gesteine, die aus einem metamorphen Anteil und einem aufgeschmolzenen und wiederkristallisierten Anteil bestehen.
Orthogneis:	metamorphes Gestein (Gneis), das aus einem Sedimentgestein durch Metamorphose hervorgegangen ist.
Paragneis:	metamorphes Gestein (Gneis), das aus einem Magmatit durch Metamorphose hervorgegangen ist.
Petrographie:	Gesteinskunde.
Pikrit:	Melabasalt mit hohem Olivingehalt. Das Verhältnis von Olivin zu Pyroxenen ist etwa gleich oder größer.
saures Gestein:	Gestein mit einem Kieselsäuregehalt > 65 % Vol.-%.
Schichtung:	Ablagerung in Schichten, sichtbar durch verschiedene Erscheinungen wie z. B. Komponentengrößen oder Wechsel der Ablagerungsbedingungen.

Schlotten:	durch Auslaugung hervorgerufene Verkarstungserscheinungen in Form von steil stehenden meist länglichen Vertiefungen; meist durch Lösungserweiterung bereits verfügbarer Spalten entstehen.
Serpentinit:	metamorphes (gelegentlich auch metasomatisches) Gestein, welches vorwiegend aus Serpentinmineralen besteht (Antigorit, Chrysotil).
Störung:	allgemein ein Vorgang, der die ursprüngliche Lagerungsform verändert.
Streichen:	Horizontale auf einer geneigten Fläche (senkrecht zum Einfallen).
Sumpf:	Auffangbecken, dient zur Sammlung von Steinbruchwässern.
Tektonik:	Lehre vom Bau der Erdkruste; bezieht sich auch auf die Entstehung und Art aller auftretender Brüche (Klüfte, Verschiebungen usw.).
Trennflächenschar:	Trennflächen, die die gleiche Streichrichtung aufweisen und daher als eine Einheit betrachtet werden. Im Idealfall (für Naturwerksteine) stehen drei Trennflächenscharen im rechten Winkel zueinander.
Verwerfung:	(Störung) Verschiebung zweier Gesteinsschollen längs eines Bruches.

Sachverzeichnis

Abbau
  unter Tage 221
Abbau über Umgebungsniveau 220
Abbau unter dem Umgebungsniveau 220
Abbauart 219
Abbaufront 223
Abbauführung 223
Abbaulöcher 223
Abbauplan 222
Abbauplanung 19, 32, 217, 219, 222
Abbauprobleme 228
Abbaurichtung 219, 224
Abbauschema 218
Abbausohlen 223
Abbautechnik 239
Abbauverlust 188
Abbauverluste 51, 237
Abbauwände 223
Ablösungsebenen 225
Abrasiv-Wasserschneidverfahren 174
Abrasivmittel 169
Abraum 21, 25
  Aufhaldung 220
Abraumbeseitigung 221
  Sprengarbeit 221
Abraumlagerung 222
Abraumüberdeckung 221
Abschreibung
  kalkulatorische 209
Abtragung 220
Ägypten 221
Amelungsborn 67
Ammon-Gelit 221
Anlage
  Naturwerksteinbrüche 217
Anröchte 149
Anröchte/Soest 122
Anröchter Kalkstein 122
Arbeitsorganisation 217
Arbeitsschutzgesichtspunkte 182
Arholzen 68
Arithmetisches Mittel 44, 45, 53
Auflockerungen 226
Auflockerungszonen 226
Ausbeute 213
Ausbeuteverlust 214
Ausfallzeiten 155
Ausfuhr 11
Aushebung 219
Bad Karlshafen 69, 142, 147
Bank 225
Bankmächtigkeit 223, 224
Bankmächtigkeiten 222
Bankung 225
Basaltgewinnung 178
Basisbank 106
Bausteine 4
Bebauung 219
Bedienungspersonal 155
Betriebsmittel
  Auswahl 219
Blockabschieber 173
Blocklager 179
Bodenwerder 65
Bohrfortschritt 155, 202
Bohrkronen 154
Bohrlängenaufwand 202
Bohrmaterialkosten 210
Bohrmeißelkosten 210
Bohrstangenkosten 210
Bohrverfahren 191, 197, 202
Bordsteine 4
Botticino 224
Botticino-Kalkstein 177
Brechmaterial 188
Brechprodukte 5, 217
Bronzemeißel 154
Brutto-Leistungen 202
Büchsen 224
Burgpreppach 94
Calcitadern 35
Carrara 153
Carrara-Marmor 177
  Wasserschneidverfahren 206
Coburger Bausandstein 90
Computersimulation 49, 50, 142
Cornberg 59
Cornberger Sandstein 142
Crevoladossola/Italien 233
Deflagrierender Sprengstoff 163
Dehnungsprozesse 226
Dekorationssteine 4
Derrick 179, 181, 220, 221, 223
  dreibeinig 181
  Goliath-Kräne 181
  windstabilisiert 181
Diamantseilsäge 215, 228
Dietenhan 78
Diorit 54
Dolomitstein 124, 194
  Schrämverfahren 204

Seilsägeverfahren 205
Drahtseilsägeverfahren 169
Drückendes Gebirge 223
Druckfestigkeit 29, 187
Druseltal/Habichtswald 131
Durchschnittsblock 45, 46, 50, 53, 141, 215
Volumen 48, 137
Effektiv-Leistungen 202
Effektiv-Schneidleistungen 206
Eiblstadt 98, 101
Eichenbühl 77
Einblattgatter 5
Einfallen 223
Einfallsrichtung 223, 233
Einfuhr 11
Einrichtzeiten 202
Elektromagnetische Reflexionsmessungen 29, 37
Energiekosten 209
Entfernungsmesser 37
Entfernungsmessung 37
Entlastungsklüfte 223
Entlastungsschlitze 228
Entspannung 226
Entspannungstendenzen 226
Entstaubungsverfahren 183
Eppingen 82
Epprechtstein-Granit 177
Erkertshofen 117, 118
Erschütterungen
pneumatische Bohrhämmer 182
Eschershausen 66
Etterzhausen/Regensburg 124
Ettringen 131, 149
Ettringer Tuffstein 128
Expansivstoffe 154
Expansivzement 165, 166, 211
Exploration 21, 220
Explosivstoffe 154, 162, 163
Fallgewichtsseismik 27
Farbverteilungen 222
Federkeile 161, 166
Fehlbeurteilungen 228
Feldeszuschnitt 219
Flächenhafter Abbau 219
Flammenschneiden 154
Flammenschneidverfahren 173, 174, 186, 191, 193, 198, 199, 205, 227, 228
Flutfazies 81-83
Formatierung 34
Frankendolomit 125
Freudental 83, 88, 142
Gang 225
Gänge 224
Gebirgsspannung 193
Gebirgsspannungen 25, 172, 224
Abbau 226
Steinbruchanlage 226
Gefüge 202
Gefügeauswertung 223
Gefügeregelung 161, 225
Gefügerichtungen 155
Gehörschutz 183, 184
Gehwegplatten 4
Geländegängigkeit 155, 191
Gelber Mainsandstein 92
Genehmigungsverfahren 20
Geoelektrik 28
Geologische Kartierung 23
Geomagnetik 27
Geometrisches Mittel 44, 45, 53
Geräuschdämpfung 186
Gereuth 95
Gesteinsart 191
Gesteinskunde 239
Gesteinssprengstoff 221
Gesundheitsschäden 182
Gewinnungsebenen 220, 222, 223
Gewinnungsverfahren
Auswahl 187, 190
Gesteinsart 191
Kombination 215
Kosten 208
Leistungen 202
Morphologie 191
Gewinnungsverluste 51, 238
Gipfelbrüche 220
Glaser 106
Granit 56, 207, 212
Bohrverfahren 203
Flammenschneidverfahren 205
Seilsägeverfahren 205
Wasserschneidverfahren 206
Granodiorit 56
Gravimetrie 28
Grubenabbau 220
offener 221
Grundwasser 220
Grundwasserspiegel 220
Grüner Mainsandstein 83
Gundelsheim 108
Haarrisse 35
Halbfabrikate 10
Hammer und Meißel 154, 190
Hammerschlagseismik 27
Handbohrgerät 156
Handbohrhammer 161, 185, 190, 197, 216

Handbohrverfahren 214
Hang-Steinbrüche 220
Hangabbau 219
Hangaufschlüsse 220
Hangbrüche 220
Hangsteinbruch 224
Häufigkeitsverteilung 43
Hauptkluftschar 223
Hauptkluftscharen 222
Hauptkluftstellung 223
Heber 225
Hebgang 225
Heiligersdorf 93
Herchenrode 54
Heuchelberg 87-89
Histogramm 43, 53, 132
Hochquarzmodifikation 173
Hohlraumspalten 227
Holzkeile 153, 154, 161
Homogenität 187
Hügelabbau 219
Hydraulikbagger 158, 178, 192
Hydraulische Bohrhämmer 154
Hydraulisches Steinspaltgerät 161
Impulsschallpegelmesser 184
Inhalt
    nutzbarer 237
Instandhaltungskosten 209, 210
Isoliniendiagramme 24
Jura-Kalkstein 105
Jura-Kalksteine 136
Kaldorf 113, 114
Kalkstein 194, 207, 211
    Bohrverfahren 203
    Schrämverfahren 204
    Seilsägeverfahren 204
Kammer-Festenbau 221
Karrette 158
Kassel 131, 142, 149, 229
Keilbacken 161
Keilbüchsen 224
Keile 154
Keillanze 161
Keillochspalten 154
Keilspaltung 226
Kelheim 231
Kerben 224
Kernbohrungen 26
    Bohrraster 26
    Horizontalbohrungen 26
    Kernaufnahme 27
    Kerndurchmesser 26
    Mindestausbringen 27
    Vertikalbohrungen 26
Kerscher Sandstein 79
Kettenvorschublafetten 156
Kippstabilität 33
Kirchheim 98, 99
Klammbildung 234
Klassifikation von Gesteinen 30
Kleinrinderfeld 98
Kleinziegenfeld 124, 125, 149
Klüftigkeitsziffer 46
Kluftrosendarstellung 222
Kluftrosendiagramm 24
Konglomerat
    Wasserschneidverfahren 206
Konusstangen 154
Körnung 187
Kösseine 233
Kosten 213
    Gewinnungsverfahren 208
Kreuzschneide 154
Kritische Minerale 30
Ladearbeiten 219
Ladedichte 164
Laderaupe 179
Lager 155, 225
Lagerhaltung 228
Lagerklüfte 225-227
Lagerstätteninhalt 238
Lagerungsverhältnisse 217, 222
    flache 223
    steile 223
Landschaftsbild 221
Lärmschutzwatte 184
Laserschneidverfahren 177, 178
Lassensprengen 163
Leitsprengschnur 164
Lohnkosten 210
Lohnnebenkosten 210
Lösefläche
    Breite 196
    Güte 196
Löseflächenausbildung 196
Lösen
    nachgeschaltetes 198
Löser 225
Luftbilder 23
Marching 231
Markt
    Anforderungen 219
Markteinführung 25
Marktstudie 23
Marmor 10, 194
Maschinenarbeitszeit 202
Massenkalk 231
Massenkalke 223
Massenrohstoffe 35
Maulbronn 83

Medianwert 44, 53
Meißelhämmer 154
Meißelschneide 154
Mikrobrüche 226
Mikroskopische Untersuchung 51
Miltenberg 74
Mindestblock 34, 46
Mindestblockgröße 33
Mineralbestand 202
Monoblocstangen 154
Monumental-Steine 4
Morphologie 191, 219, 222, 223
Mühlbach 86
Mühlsteine 4
nachgeschaltete Verfahren 154
Nachgeschaltetes Lösen 198
Naturschutzgebiete 219
Naturwerkstein
  Definition 4
  Produktion 10
  Verbrauch 15
Naturwerksteinbetriebe
  Typen 217
Naturwerksteinbrüche
  Anlage 217
Nebenzeiten 202, 215
Nephelin 30
Netto-Arbeitszeit 202
Netto-Schneidleistungen 202
Nettoblock 8
Neubrunn 90, 147
Neuheilenbach 61, 146, 228
Niederhofen 87
Nutzbarer Inhalt 238
Nutzgestein 21
Nüxei 124, 142
Nüxeier Dolomitstein 124
Oberflächennutzung
  konkurrierende 219
Oberflächenwasser 220
Oberfrauenwald 58
Obernkirchen 147
Obernkirchener Sandstein 96
Osteifel 128
Paläomorphologie 227
Pappenheim 112
Parallelbau 223
Petersbuch 114-116
Petrographie 222
Petrographische Untersuchungen 25
Pflastersteine 4, 188
  zuhauen 224
Pflastersteinherstellung 225
Pneumatische Bohrhämmer 154
Probenahme 29
Produktion 11, 14, 15
Produktionsstatistik 9
Prüfkörper 30
Prüfverfahren 29, 30
Prüfzeugnisse 29
Pyrit 30
Quaderkalk 36, 38, 98, 133
Quaderkalkstein 155
Qualität 228
Quarzadern 35
Quarzanteil 187
Quarzgehalt 208
Radarreflexionsverfahren 42
Radlader 179-181
Rampen 221, 222
Rauchgase 31
Rauhabfall 8, 198
Rauhkantenabfall 34
Raumstellungen
  bevorzugte 227
Raupe 158, 180
Raupenfahrwerk 158
Rechenmethoden
  Vergleich 143
Reflexionsseismik 27
Refraktionsseismik 27
Rehlingen 110, 148
Reihenbohren 197
Reihenbohrgerät 156, 190, 216, 224
  fahrbares 190, 234
  mit Trägerfahrzeug 157
  ohne Trägerfahrzeug 157
Reihenbohrgeräte 185
  fahrbare 191
Reihenbohrverfahren 214
Rekultivierungsauflagen 222
Remlingen 76
Rentabilität 238
Reparaturkosten 209, 210
Reserven
  Mindestreserven 25
Restspannung 228
Restspannungen 227, 228
Rhätolias 92
Rhätsandstein 92
Rhyolith
  Wasserschneidverfahren 206
Rohblock 8
Rohblockhöffigkeit 46, 48, 54, 140, 141, 188, 201, 215, 217
  Computersimulation 54, 142, 143, 144, 237
  Faustformel 47, 143
  Grafische Darstellung 49

Nutzvolumen 50
Vorrat 51
Rohblockproduktion 10
Rostflecke 30
Roter Eifelsandstein 61
Roter Mainsandstein 74
Rüstzeiten 202
Sägegatter 6
Sand am Main 83, 84
Sandstein 59, 207, 211
Bohrverfahren 203
Seilsägeverfahren 205
Wasserschneidverfahren 206
Sankt Egid 119
Satellitenbildauswertungen 23
Saughaube 183
Saugschlauch 183
Schallemissionen 182-184
Schichtmächtigkeiten 222
Schiefer 4
Schilfsandstein 82
Flutfazies 83
Schleerieth 81
Schlitzbohren 159, 192, 198, 203, 227, 228
Schneidplaketten 211
Schnittbreiten 189
Schnittverluste 188, 189, 201, 238
Schrämen 154
Schrämmaschine 167-169, 185, 190, 215, 216
Schneidelemente 167
umstellen 180
Schrämverfahren 183, 192, 198, 203, 214
Schürfgraben 26
Schwarzpulver 163, 221
Schwundrisse 232
Seilbahn 182
Seilkosten 211
Seilsäge 191, 224
umstellen 180
Seilsägen 154
Seilsägeverfahren 169-171, 183, 185, 193, 198, 204, 214
Distanzstücke 172
Schneidelemente 171
Seilkonstruktion 171
Standzeit 172
Verbindungsstücke 172
Seitenabstand 155, 163
Seitenabstände 158
Silikoseerkrankungen 183
Sodalith 30
Sohlenabstand 219
Sohlenbreite 223
Solnhofener Kalkstein 177
Solnhofener Steinbrüche 154
Sommerberg 154
Spaltbarkeit 227
Spaltbarkeiten
bevorzugte 224
Spaltgerät 161
Spaltgeräte 154, 162
Spaltsprengen 163
Spaltverfahren 155
Spannungsentlastung 227
Spannungsumlagerung 226
Spannungsverhältnisse 25
Sprengmomentzünder 164
Sprengschnur 163-165
Abstandshalter 164
Sprengschwaden 163
Stahlkeil-Treibsatz 161
Standfestigkeit des Gebirges 223
Staub 182
Staubabsaugung 183
Staubabsaugungsanlagen 183
Staubabscheider 183
Stehgang 225
Steigerwald 91
Steilhänge 220
Steinbruchansicht 223
Steinbruchwände
Stabilität 223
Steinfallgefahr 234
Stiftbohrkronen 154
Stone Mountain 227
Stratiforme Lagerstätten 223
Streichen 223
Streichrichtung 223, 233
Strossenhöhe 223
Stutzgang 225
Sumpf 220
Technisch gewinnbarer Inhalt 238
Technische Prüfung 29, 31
Teilbarkeit
latente 161
Tektonik 23, 187, 222
Tektonische Verhältnisse 219
Thüste 142
Thüste/Salzhemmendorf 121
Thüster Kalkstein 121
Tittling 57
Tonminerale 30
Trachyt 27
Wasserschneidverfahren 206
Trägerfahrzeug 158
Trägerfahrzeuge 192
Traktor 158

Transport 182
Transportarbeiten 219
Transportgeräte 178
Trennen
nachgeschaltetes 154
Trennflächen 24, 35, 202
Abstände 36, 42, 43
Histogramme 132
Öffnungsweite 35
potentielle 45
Raumlage 223
Trennflächenanalyse 24
Trennflächengefüge 188
Trennflächenschar 24, 35, 51
Treuchtlingen 106, 109
Tuffstein 127, 194, 230
Tunnelbau 227
Udelfangen 147, 237
Udelfanger Sandstein 79
Ultraschallmessungen 28, 42
Umsetzzeiten 155, 202
Umweltschutzgesichtspunkte 182
Untersberger Marmor 228
Untertagebetrieb 221
Verfüllung der Lagerstätte 222
Verkarstungserscheinungen 24
Verkehrswege 219
Verluste 189
Addition 200
Verschwendung 218
Vertaubungszonen 237
Verzinsung
kalkulatorische 209
Vorgabe 163
Vorrat 228
Mindestvorratsmenge 25
Vorratsermittlung 33
Vorschublafetten 156
Wachenzell 124, 125
Wandhöhe 219
Wandhöhen 222
Wasserbaublöcke 13
Wasserbausteine 218
Wasserschneiden 154
Wasserschneidverfahren
174-177, 183, 185, 191, 193, 199, 205, 211, 214, 216, 223, 227, 228
Düsendurchmesser 175
Wasserzuflußmengen 220
Wegebau 179
Weibern 131
Weiberner Tuffstein 130
Weidenhahn 235
Weiler 85
Weißer Mainsandstein 90
Weltproduktion 9
Werksandstein 81
Wertheim 74
Wesersandstein 63, 133
Wesersandsteinbrüche 154
Winterhausen 102
Wirtschaftliche Gesichtspunkte 217
Wirtschaftlichkeit 217
Wülmersen 73
Würzburg 74
Zentralwert 44
Zuflußmengen 220
Zugrisse 234
Zwischenmittel 237



Dr.-Ing. Christian Singewald, Diplom-Geologe, studierte zunächst an der Georg-August-Universität Göttingen Geologie und Chemie. Nach dem Vordiplom wechselte er an die Technische Universität Clausthal-Zellerfeld und beendete dort das Studium der Geologie mit den Schwerpunkten Montangeologie und Lagerstättenkunde.
Anschließend Institut für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre, Abteilung Tagebautechnik, Promotion zum Doktor-Ingenieur. Der Verfasser ist beratend und gutachterlich tätig und seit 1989 als Dozent am Steintechnischen Institut der Industrie- und Handelskammer zu Koblenz.

Rudolf Müller
FACHBÜCHER

ISBN 3-481-00521-0