

Natursteinabbau aktuell:

3D-Block-Expert

Geologen präsentieren mit dem Computerprogramm 3D-Block-Expert ein neues Verfahren zum optimierten Abbau von Natursteinen auf der Basis von Rohblockgrößen.

Der Wirtschaftlichkeit und der Umwelt zuliebe sollte jeder Bruchbetreiber die Natursteingewinnung auf möglichst hochwertiges Rohgestein konzentrieren. Dazu braucht er genaue Kenntnisse der Ressourcenbeschaffenheit und -qualität. Die Qualität eines Werksteinvorkommens wird durch die lagerstättegeologischen Voraussetzungen und das Trennflächensystem bestimmt. Der Abbau des Gesteins sollte daher vollständig auf die lagerstättegeologischen Vorgaben abgestimmt sein. Der Steinbruchbesitzer und die an der Abbauplanung Beteiligten benötigen daher zuverlässige Informationen über das Volumen und die Geometrie der zu erwartenden Rohblöcke. Mit der neuen Software 3D-Block-Expert steht der Naturwerksteinindustrie ein Hilfsmittel zur Verfügung, das auf der Grundlage von Trennflächendaten die zu erwartenden Blockgrößen und Blockformen sowie deren Verteilung innerhalb einer Lagerstätte bestimmt. Damit lässt sich die Lagerstättenausbeute optimieren und das Abfall- zu Werksteinaufkommen positiv beeinflussen. Eine Testversion steht unter www.geomasek.de für Interessenten zur Verfügung.

Die Blockgröße ist wichtig, weil ...

Bei der Steinverarbeitung mit modernen Sägen sind Abfälle unvermeidlich. Für wirtschaftliches Arbeiten sind bestimmte Blockabmessungen erforderlich. Optimale Bedingungen sind gegeben, wenn die Blöcke in etwa 6–8 m³ messen (Primavori 1999). Rahmenwerte der Vereinten Nationen (1976) sehen für zu exportierende Natursteinblöcke ein Mindestvolumen von 1–6 m³ und Abmessungen von 2 x 1 x 0,5 bis 3 x 2 x 1 m vor. Die Abmessungen eines Rohblocks sind auch hinsichtlich des Dekors von Bedeutung. Während die Blockbreite für die Anzahl der Platten je Block verantwortlich ist, bedingen die Höhe sowie die Länge des Nettoblocks die Größe der Platten (Abb. 1a). Bei der Gewinnung von Rohplatten aus einem Gestein mit ausgeprägten Strukturen sollte sich das interessanteste Dekor auf der Längsseite des Rohblocks abzeichnen (Abb. 1b). Bei Gesteinen mit einheitlicher Struktur spielt die Blockgröße diesbezüglich keine Rolle (Abb. 1c).

Neben der Blockgröße wirkt sich auch die Blockform auf die Wirtschaftlichkeit der Verarbeitung aus. Kostengünstig arbeitet, wer möglichst



Abb. 2: Formatierung von Rohblöcken in thailändischen Granit-Lagerstätten

a) Granit in der Provinz Tak

b) Oranger Granit in der Provinz Nakhon Sawan

quaderförmige Blöcke gewinnt und damit die Zeit für das Ansägen in den Gattersägen verkürzt. In diesem Zusammenhang sollte der ausgebrachte Rohling ein ideales Verhältnis von Rohblock zum Nettoblock aufweisen (Singewald 1992). In vielen der weltweit existierenden Lagerstätten ist dieser Idealfall jedoch nicht gegeben. Die ausgebrachten Blöcke müssen dann in zusätzlichen zeit- und kostenaufwändigen Arbeitsschritten formatiert werden (siehe auch Hoffmann 2006) (Abb. 2). Der für die Naturwerksteingewinnung günstigste Fall ist bei einem annähernd rechtwinkligen Kluftsystem gegeben, da hier eine Zerlegung in entsprechende Blöcke naturgemäß vorgegeben ist. Bei gravierenden Abweichungen von der Rechtwinkligkeit ist eine wirtschaftli-

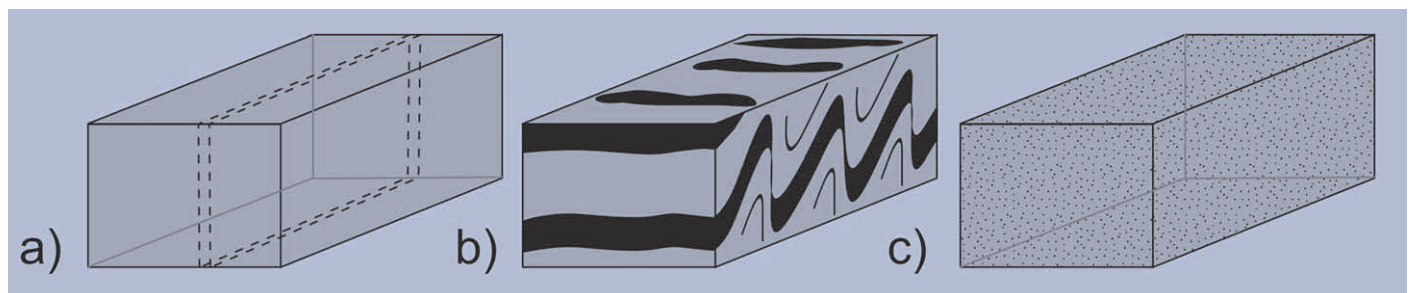


Abb. 1: Beziehung zwischen Entnahmerichtung und Dekor

a: Maße des Natursteinnettoblocks in Abhängigkeit von der Sägerichtung (gestrichelte Linie)

b: Ausgeprägte Strukturen sollten die Längsseite des Rohblocks dominieren.

c: Rohblock mit einheitlichen Strukturen

che Gewinnung von Naturwerkstein-Rohblöcken ausreichender Dimensionen oft nur schwer zu erreichen.

Vom Einfluss der Trennflächen auf die Blockqualität

Die Bildung von Blöcken in einem intakten Gestein, sog. in-situ Blöcken (Lu & Latham 1999), geht auf das gegenseitige Schneiden von Trennflächen mit unterschiedlicher Orientierung zurück. Als Trennflächen werden in den Lagerstätten alle Oberflächen wie beispielsweise Störungen, Klüfte, Risse, Brüche, Haarrisse, Schichtflächen oder Scherflächen berücksichtigt (Abb. 3). Zum Stein gehörende Charakteristika wie Quarz- oder Calcitadern werden ebenfalls dem Trennflächengefüge zugeordnet, wenn abzusehen ist, dass sich die Flächen im Zuge des Blockausbringens öffnen.

Die Größe von in-situ Blöcken erster Wahl (siehe Nelles 1996) wird von den Abständen bestimmt, in denen in der Lagerstätte Klüftflächen oder Risse auftreten. Trennflächen zerlegen eine Naturwerkstein-Lagerstätte, die man als 3-dimensionalen Körper betrachten kann, in mehrere kleine Einheiten und begrenzen die gewinnbaren Rohblöcke in ihrer Form und ihrem Volumen (Abb. 4). Deshalb kommt dem Trennflächengefüge bei der Bewertung eines Abbaugebiets eine entscheidende Bedeutung zu. Es ist auch deshalb wichtig, weil es mit offenen und mineralisierten Klüften alle definierten Qualitätsansprüche an einen Rohblock beeinträchtigen kann.

Wenn die Abstände zwischen den in einer Lagerstätte festgestellten Trennflächen groß sind, stehen die Chancen für die Gewinnung großformatiger Blöcke i. d. R. gut. Aus Lagerstätten, die in zwei Dimensionen ein weitständiges Kluftsystem, aber in der dritten Dimension eine relativ engständige Klüftung aufweisen, lassen sich nur verhältnismäßig flache Rohblöcke gewinnen; aus ihnen kann man evtl. nur Pflastersteine und keine Maßware für Bauobjekte produzieren. Ist das Kluftsystem in allen drei Raumrichtungen engständig ausgebildet, können nur sehr kleine Rohblöcke gewonnen werden, die »günstigstenfalls« für den Einsatz als Wasserbausteine und »ungünstigstenfalls« für die Schotter- oder Splittproduktion geeignet sind (Smith

1999). Bei sedimentären Lagerstätten bestimmen die Schichtflächen die maximale Größe der gewinnbaren Blöcke.

Kurzum: Die Analyse des Trennflächensystems ist für die Erschließung und Erweiterung von Werksteinbrüchen unerlässlich.

Analyse von Trennflächen

Für die Aufnahme von Trennflächen in einer Lagerstätte gibt es verschiedene Methoden. Zum einen sind dies geophysikalische Messmethoden wie beispielsweise Georadar (siehe auch Singewald 1992). Aussagen zu der Abstandsverteilung von Klüften kann

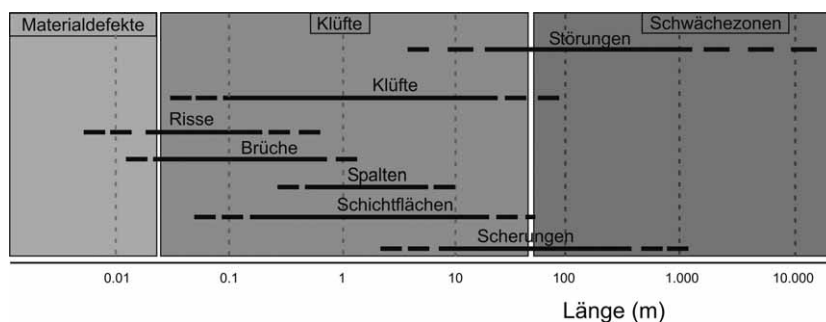


Abb. 3: Grundtypen von Trennflächen in Abhängigkeit ihrer räumlichen Ausdehnung (nach Palmström 1995)

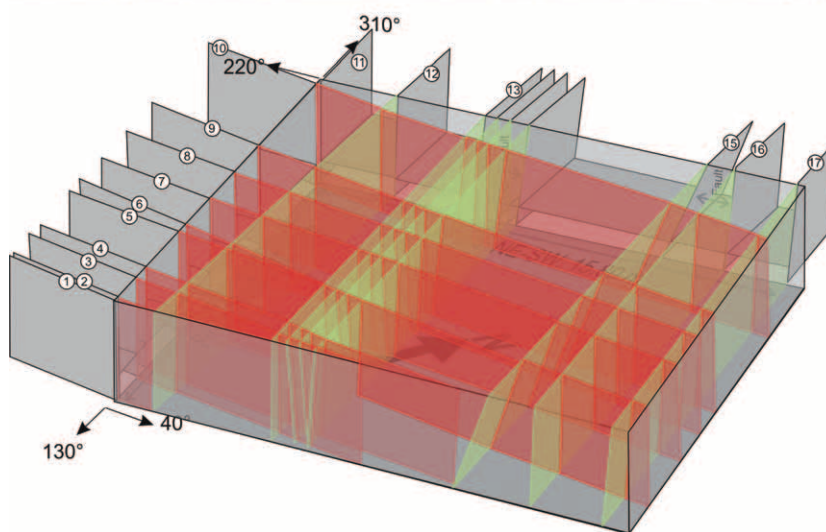
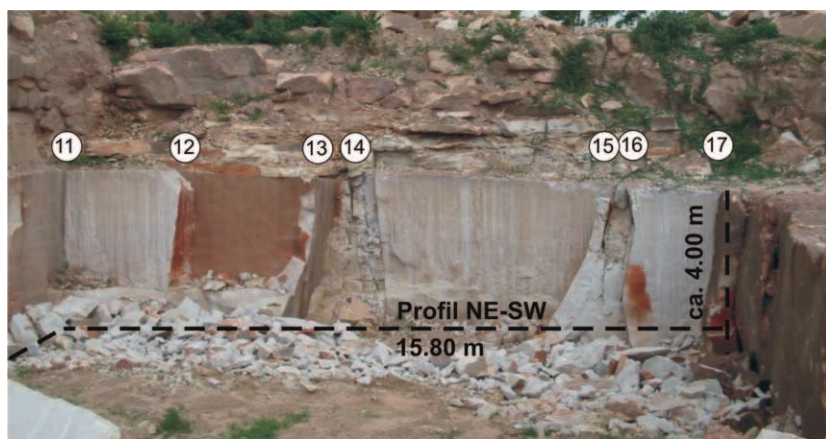


Abb. 4: Einfluss des Trennflächengefüges. Oben: Sandsteinlagerstätte mit ausgeprägtem Kluftsystem. Unten: Schematische Darstellung von zwei Kluftscharen (rot und grün), die mit steilem Einfallswinkel die Lagerstätte segmentieren (aus Hoffmann 2006)

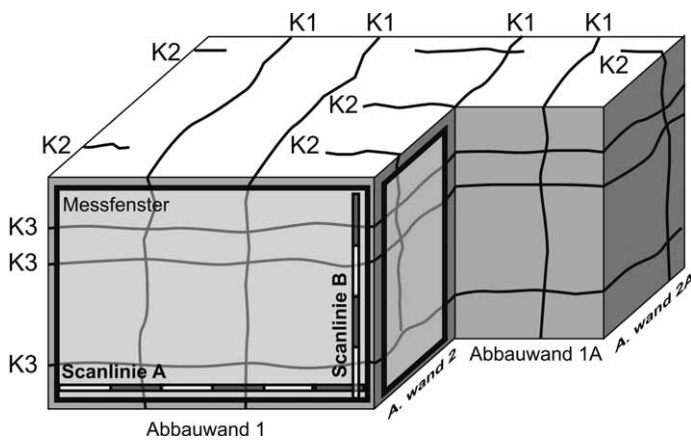


Abb. 5: Schematische Darstellung zur Aufnahme des Trennflächengefüges (modifiziert nach Smith 1999).



Abb. 6: Zergliederung eines Lagerstättenbereichs in mehrere in-situ Blöcke verschiedener Größen. Zur Veranschaulichung der mit 3D-Block-Expert möglichen Modellierungen (vgl. Abb. 7) sind einzelne Blockpartien farblich dargestellt.

man jedoch auch aufgrund einer analytischen Beobachtungen und Bewertung übertägiger, bzw. untertägiger Aufschlüsse treffen (z. B. »scanline sampling« bzw. »window sampling techniques«; ISRM 1978, Priest 1993). Hierfür werden in der Lagerstätte verschiedene Messlinien und Messfenster angelegt (Abb. 5), entlang derer die Position und (soweit möglich) die Orientierung und die Ausbildung der jeweiligen Trennflächen aufgenommen werden. Die räumliche Anordnung der Trennflächen wird dabei konventionell mit einem Gefügekompas erfasst.

Die Aufnahme von Unregelmäßigkeiten ist deshalb schwierig, weil Lagerstätten dreidimensional ausgebildet sind, ihre Trennflächen jedoch nur zweidimensional. Um auch Trennflächen zu erfassen, die parallel zum Messfenster verlaufen und auf der Bruchwand nicht austreichen (Klufte K2 in Abb. 5), muss man eine

zweite Messlinie bzw. ein zweites Messfenster im rechten Winkel zur bereits aufgenommenen Lagerstättenwand beproben (Abbauwand 2 in Abb. 5). Nur so lässt sich die räumliche Verteilung des Trennflächensystems einschätzen. Partien oberhalb der Messlinien (weiße Fläche in Abb. 5) können zudem mit Abraum bedeckt oder in ihrem Aufbau stark strukturiert sein. In diesem Fall kann man die räumliche Ausdehnung der Trennflächen nicht vollständig nachvollziehen. Unter Umständen geht man dann von einer Klufte in der Größenordnung mehrerer zehn Meter aus, obwohl diese bereits nach wenigen Dezimetern hinter der Abbauwand endet (Klufte K2 in Abb. 5).

3D-Block-Expert

In den 1990er-Jahren begann man damit, Blockgrößenverteilungen auf der Grundlage moderner Computersysteme zu ermitteln (siehe auch Lu & La-

tham 1999). Im Rahmen des CAD-PUMA Projekts wurde darüber hinaus ein computer-gestütztes Programm für die Planung und Entwicklung untertägiger Marmorproduktion entwickelt (siehe Germann et al. 2001, Koch-Moock 2005), das durch die Analyse von Blockgrößen entscheidend zu einem kosteneffektiven Abbau beiträgt.

Das Computerprogramm 3D-Block-Expert ist eine Anwendersoftware, die Klufteigenschaften auswertet und aus den Ergebnissen Aussagen zur Verteilung, zur Größe und zur Form von Rohblöcken im Festgestein ableitet. Es ermöglicht die Verarbeitung aller Raumlagen von Trennflächen und ist somit nicht nur auf senkrecht zueinander stehende Klüfte begrenzt. Das Programm betrachtet den abzubauenen Bereich einer Lagerstätte als einen geometrischen Körper, der aus sechs paarweise in parallelen Ebenen liegenden Parallelogrammen besteht.

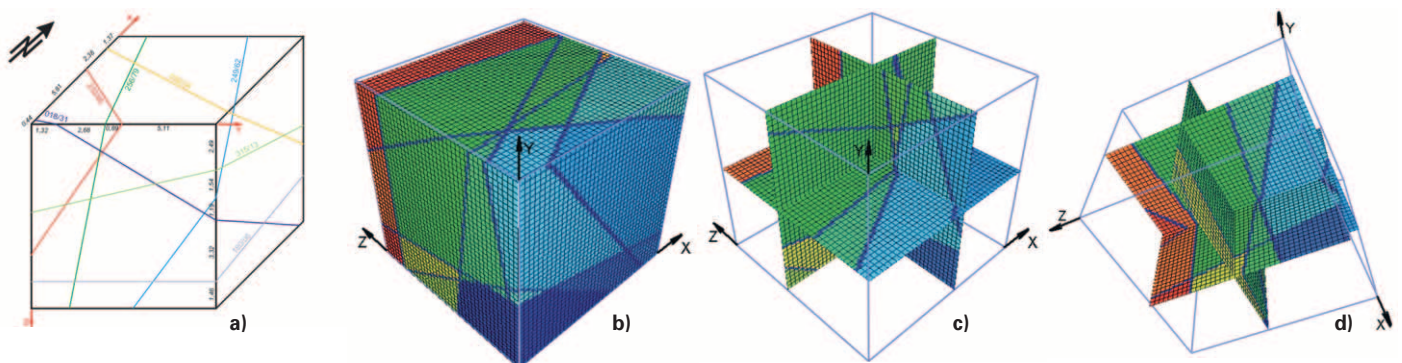


Abb. 7: a) Exemplarisches Modell eines regellos zerklüfteten Großblocks

b) Mit 3D-Block-Expert durchgeführte Modellierung des Großblocks mit colorierter Darstellung der sich ergebenden in-situ Blöcke

c) Die Möglichkeit zur freien Auswahl von Schnittflächen parallel zu den Außenflächen ermöglicht Rückschlüsse zum Verlauf der verschiedenen Grenzflächen im Großblock.

d) 3D-Block-Expert erlaubt die multivariante Ansicht des Körpers durch freie Rotation.

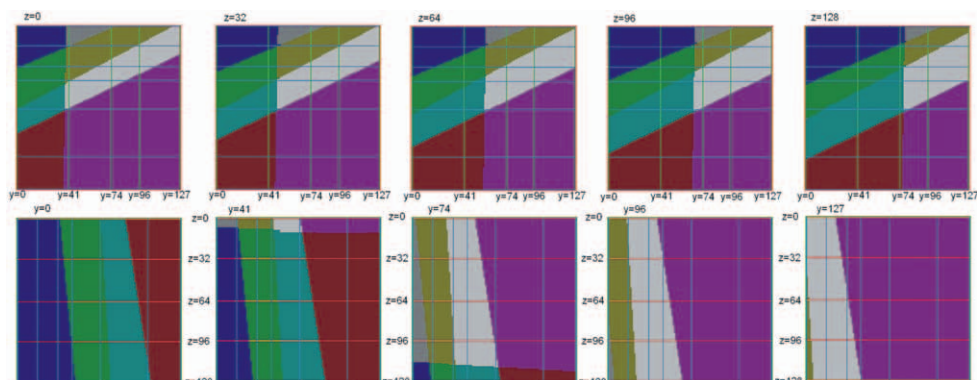
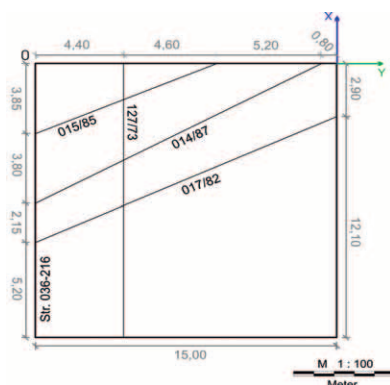


Abb. 9: Modellierte Schnittflächen für verschiedene Bereiche parallel (obere Reihe) und senkrecht (untere Reihe) zu der in Abb. 8 dargestellten Oberfläche. Deutlich zu erkennen ist dabei die Zu- bzw. Abnahme unterschiedlicher Farbanteile, über die wiederum die einzelnen Blockgrößen errechnet werden können.

Abb. 8: Aufnahme des an der Oberfläche austreichenden Trennflächengefüges im angrenzenden Bereich der Lagerstätte

Unregelmäßigkeiten (z. B. Klüfte), die diesen Körper zerschneiden, werden im Rahmen einer lagerstätten-geologischen Erkundung eingemessen und in der Modellierung als mathematisch einfach definierte Flächen dargestellt. Für Spezialisten: Das Programm konstruiert den betrachteten Bereich einer Lagerstätte (Abb. 6) aus gleichdimensionierten Voxeln. Dabei ist es in der Lage, nach dem primären Dateninput die Orientierung der Trennflächen (Abb. 7 a) in die geometrische Modellierung zu integrieren, woraus sich eine dreidimensionale Segmentierung des Großkörpers ergibt. Diese Zergliederung in in-situ Blöcke wird übersichtlich coloriert dargestellt (Abb. 7 b). 3D-Block-Expert ermöglicht die freie Rotation des Körpers bei gleichzeitiger freier Auswahl von Schnittflächen parallel zu den Außenflächen (Abb. 7 c, d). Eine benutzerfreundliche 3D-Oberfläche erlaubt dann die Betrachtung der Lagerstätte und ihrer prognostizierten Rohblöcke aus allen möglichen Blickwinkeln und Raumlagen. Auf Wunsch ist die Analyse der zu erwartenden Blockgrößen abrufbar.

Eine fundierte Datengrundlage erhält man, wenn man mindestens zwei, besser drei senkrecht zueinander stehenden Wände analysiert. Anhaltspunkte für die zu erwartenden in-situ Blöcke können sich jedoch auch ergeben,

wenn eine Kluftaufnahme lediglich auf einer Fläche erfolgen kann. Anhand eines Vorkommens in Argentinien (Abbaugbiet Potrerillos, San Luis) konnte dies beispielhaft demonstriert werden. Der zurzeit größte Bruch in dieser Region befindet sich in einem grobkörnigen, porphyrischen Granit. In direkter Nachbarschaft zu diesem Bruch erfolgte die zweidimensionale Aufnahme des Klufinventars, da es dort möglich ist, im Bruch den Verlauf der horizontalen Trennflächen einzuschätzen. Das Programm 3D-Block-Expert wurde hier zur Abschätzung der zu erwartenden in-situ Blöcke verwendet. Die Testfläche weist eine Größe von 15 x 15 m auf. Zur Berechnung und

Visualisierung mit 3D-Block-Expert wurde eine Voxelanzahl von 1283 gewählt, was einer Auflösung von 11,7 cm pro Voxel entspricht. Abb. 8 zeigt das aufgenommene Trennflächensystem mit den entsprechenden Richtungsdaten, auf denen die modellhafte Umsetzung (Abb. 9) unter Verwendung des Programms basiert.

Warum 3D-Block-Expert?

3D-Block-Expert erleichtert die Gewinnung von Werksteinblöcken in für die jeweilige Lagerstätte optimaler Größe. Die Leistungsfähigkeit des Programms, das sich durch eine relativ geringe Rechenzeit auszeichnet, wird derzeit in verschiedenen Lagerstätten erprobt.

Siegfried Siegesmund, Dmitry Nikolayev, Andreas Hoffmann und Stephan Mosch

Literatur siehe www.natursteinonline.de

KURZINFO:

Das leistet das neue Programm 3D-Block-Expert

- Multivariable Modellierung von Lagerstätten zur Optimierung der Natursteingewinnung
- Visualisierung und aussagekräftiger Nachweis von Lagerstättenvorräten im Rahmen von Genehmigungsverfahren
- Verbesserte Abbauführung durch systematisches und detailliertes Entdecken von Trennflächen und die Erfassung großvolumiger in-situ Blöcke zur bedarfsorientierten Gewinnung
- Quantifizierung von Abraum mengen zum Ausschluss nicht abbaubarer

Bereiche für eine vollständige Gewinnung qualitativ hochwertigen Rohstoffs

- Steigerung der Blockausbeute und damit der Wirtschaftlichkeit des Abbaus
- Verantwortungsvoller Umgang mit der Natur durch effektive Gewinnung und Nutzung des Rohstoffs Naturwerkstein

Eine Testversion steht allen Interessenten unter www.geomasek.de zur Verfügung. Weitere Auskünfte bei Prof. Dr. Siegfried Siegesmund (Universität Göttingen) oder unter ssieges@gwdg.de