



HESSEN



Rohstoffsicherungskonzept Hessen

Fachbericht Natursteine und Naturwerksteine



Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
www.hlug.de

HESSEN



Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
www.hmulv.hessen.de



Umweltallianz Hessen - Bündnis für nachhaltige Standortpolitik –
www.umweltallianz.de

Vorwort

Der vorliegende Fachbericht Natursteine und Naturwerksteine wurde von der Projektgruppe Rohstoffsicherungskonzept Hessen unter Federführung des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) verfasst. Er ist integraler Bestandteil des im Rahmen der Hessischen Umweltallianz von Verwaltung und Industrie gemeinsam erarbeiteten Rohstoffsicherungskonzeptes, das insgesamt aus folgenden Bausteinen besteht:

1. Rohstoffsicherung in Hessen (allgemeiner Teil)
2. Fachbericht Gipsrohstoffe
3. Fachbericht Kalk- und Zementrohstoffe
- 4. Fachbericht Natur- und Naturwerksteine**
5. Fachbericht Sand und Kies
6. Fachbericht Tonrohstoffe
7. Karte Rohstoffsicherung
8. Faltblatt „Wege zur Versorgung mit mineralischen Rohstoffen“

Auf der Website des HLUG können die Bausteine 1 – 6 eingesehen und von dort heruntergeladen werden:

(www.hlug.de/medien/geologie/rohstoffe/rohstoffsicherungskonzept/index.html)

Zu den Bausteinen 1-6 wurden zudem rohstoffgeologische Themenkarten im Übersichtsmaßstab 1:300.000 erstellt, die beim HLUG erhältlich sind. Die Karte Rohstoffsicherung wird digital blattschnittfrei in den Maßstäben 1:25.000 und 1:100.000 beim HLUG geführt und laufend fortgeschrieben. Das Faltblatt „Wege zur Versorgung mit mineralischen Rohstoffen“ liegt in gedruckter Form vor und kann beim HLUG angefordert werden.

Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Begriffsbestimmung	9
1.1. Natursteine	9
1.2. Naturwerksteine	10
2. Lage	10
3. Untersuchungsstand	13
4. Geologie und Mineralogie	13
4.1. Magmatische Gesteine	13
4.2. Metamorphe Gesteine	15
4.3. Sedimentgesteine	16
5. Eigenschaften und Qualitätskriterien	17
5.1. Natursteine	18
5.2. Naturwerksteine	21
6. Abbausituation und Verwendung	22
6.1. Natursteine	22
6.1.1. Produktion	23
6.1.2. Produkte und Verwendung	24
6.2. Naturwerksteine	29
6.2.1. Produktion	29
6.2.2. Produkte und Verwendung	31
7. Vorräte und Rohstoffsicherung	31
7.1. Vorräte	31
7.2. Rohstoffsicherung	31
7.2.1. NATURA 2000-Flächen	32
7.2.2.1 Vertragsnaturschutz	32
7.2.2. Grundwasserschutz	34
7.2.2.1 Verfüllung	36
7.2.3. Forstschutz	36
7.2.4. Windkraftanlagen	37

8. Transportlage	38
9. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	38
10. Folgenutzung	38
11. Substitution und Recycling	39
11.1. Natursteine	42
11.2. Naturwerksteine	43
12. Vorkommen von Natur- und Naturwerksteinen in Hessen	44
12.1. Basaltische Vulkanite	44
12.1.1. Lage	44
12.1.2. Untersuchungsstand	44
12.1.3. Geologie und Mineralogie	45
12.1.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	56
12.1.5. Abbausituation und Verwendung	58
12.1.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	61
12.1.7. Transportlage	63
12.1.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	63
12.2. Basaltische Metavulkanite (Metabasalte/“Diabase”, Metadolerite, Metapikrite)	64
12.2.1. Lage	64
12.2.2. Untersuchungsstand	64
12.2.3. Geologie und Mineralogie	64
12.2.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	70
12.2.5. Abbausituation und Verwendung	72
12.2.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	74
12.2.7. Transportlage	74
12.2.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	74
12.2.9. Substitution und Recycling	74
12.3. Phonolithe und Trachyte	75
12.3.1. Lage	75
12.3.2. Untersuchungsstand	75
12.3.3. Geologie und Mineralogie	75
12.3.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	77

12.3.5. Abbausituation und Verwendung	78
12.3.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	79
12.3.7. Transportlage	79
12.3.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	79
12.3.9. Substitution und Recycling	79
12.4. Rhyolithe	79
12.4.1. Lage	79
12.4.2. Untersuchungsstand	79
12.4.3. Geologie und Mineralogie	80
12.4.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	80
12.4.5. Abbausituation und Verwendung	80
12.4.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	81
12.4.7. Transportlage	81
12.4.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	81
12.4.9. Substitution und Recycling	81
12.5. Metarhyolithe und-trachyte	81
12.5.1. Lage	81
12.5.2. Untersuchungsstand	82
12.5.3. Geologie und Mineralogie	82
12.5.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	84
12.5.5. Abbausituation und Verwendung	84
12.5.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	84
12.5.7. Transportlage	85
12.5.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	85
12.5.9. Substitution und Recycling	85
12.6. Vulkaniklastite	85
12.6.1. Lage	85
12.6.2. Untersuchungsstand	85
12.6.3. Geologie und Mineralogie	86
12.6.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	87
12.6.5. Abbausituation und Verwendung	88
12.6.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	90
12.6.7. Transportlage	90

12.6.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
12.6.9. Substitution und Recycling	
12.7. Metavulkaniklastite	90
12.7.1. Lage	90
12.7.2. Untersuchungsstand	90
12.7.3. Geologie und Mineralogie	90
12.7.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	91
12.7.5. Abbausituation und Verwendung	91
12.7.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	91
12.7.7. Transportlage	92
12.7.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	92
12.7.9. Substitution und Recycling	92
12.8. Sandsteine, Grauwacken und Quarzite	92
12.8.1. Lage	92
12.8.2. Untersuchungsstand	94
12.8.3. Geologie und Mineralogie	94
12.8.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	102
12.8.5. Abbausituation und Verwendung	108
12.8.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	113
12.8.7. Transportlage	114
12.8.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	115
12.8.9. Substitution und Recycling	115
12.9. Tonschiefer und Kieselschiefer	116
12.9.1. Lage	116
12.9.2. Untersuchungsstand	116
12.9.3. Geologie und Mineralogie	117
12.9.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	118
12.9.5. Abbausituation und Verwendung	120
12.9.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	121
12.9.7. Transportlage	122
12.9.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	122
12.9.9. Substitution und Recycling	122
12.10. Kalksteine und Marmore	122

12.10.1. Lage	123
12.10.2. Untersuchungsstand	123
12.10.3. Geologie und Mineralogie	123
12.10.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	124
12.10.5. Abbausituation und Verwendung	126
12.10.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	129
12.10.7. Transportlage	129
12.10.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	129
12.10.9. Substitution und Recycling	130
12.11. Granite und Granodiorite	130
12.11.1. Lage	130
12.11.2. Untersuchungsstand	131
12.11.3. Geologie und Mineralogie	132
12.11.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	133
12.11.5. Abbausituation und Verwendung	135
12.11.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	136
12.11.7. Transportlage	136
12.11.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	136
12.11.9. Substitution und Recycling	136
12.12. Gabbros, Diorite und Quarzdiorite	137
12.12.1. Lage	137
12.12.2. Untersuchungsstand	137
12.12.3. Geologie und Mineralogie	137
12.12.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	138
12.12.5. Abbausituation und Verwendung	138
12.12.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	139
12.12.7. Transportlage	140
12.12.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	140
12.12.9. Substitution und Recycling	140
12.13. Gneise und Migmatite	140
12.13.1. Lage	140
12.13.2. Untersuchungsstand	140
12.13.3. Geologie und Mineralogie	141

12.13.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	142
12.13.5. Abbausituation und Verwendung	142
12.13.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	143
12.13.7. Transportlage	143
12.13.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	143
12.14. Amphibolite und Kristalline Schiefer	143
12.14.1. Lage	143
12.14.2. Untersuchungsstand	143
12.14.3. Geologie und Mineralogie	144
12.14.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	144
12.14.5. Abbausituation und Verwendung	144
12.14.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	144
12.14.7. Transportlage	145
12.14.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	145
12.15. Quarz	145
12.15.1. Lage	145
12.15.2. Untersuchungsstand	146
12.15.3. Geologie und Mineralogie	146
12.15.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	147
12.15.5. Abbausituation und Verwendung	148
12.15.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	150
12.15.7. Transportlage	151
12.15.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	151
12.15.9. Substitution und Recycling	151
13. Literatur	151
14. Nützliche Websites	154

1 Einleitung und Begriffsbestimmung

Natur- und Naturwerksteine sind mit einer Förderung von 16,4 Mio. t (Stand: 2004) nach den Sanden und Kiesen die zweitwichtigste Rohstoffgruppe in Hessen.

Hessen ist reich an sehr unterschiedlichen Fest- oder Hartgesteinen (nachfolgend als *Hartgesteine* zusammengefasst), wie z.B. Graniten, Gneisen, Basalten, Metabasalten (=Diabasen), Gabbros, Quarziten, Grauwacken, Sandsteinen oder Kalksteinen. Insbesondere verfügt Hessen wegen seiner geologischen Entstehungsgeschichte über die größte Verbreitung an basaltischen Gesteinen in Deutschland. Der Vogelsberg als größter zusammenhängender Vulkankomplex Europas liegt zur Gänze in Hessen.

1.1. Natursteine

Natürliche Hartgesteine, die in gebrochener wie gemahlener Form z.B. im Hoch- und Tiefbau (Verkehrswege- und Wasserbau, Betonzuschlag), in der Zement- und Kalkindustrie sowie weiteren Industriebranchen Verwendung finden, werden hier als gebrochene Natursteine (Abb. 1), kurz **Natursteine** bezeichnet.

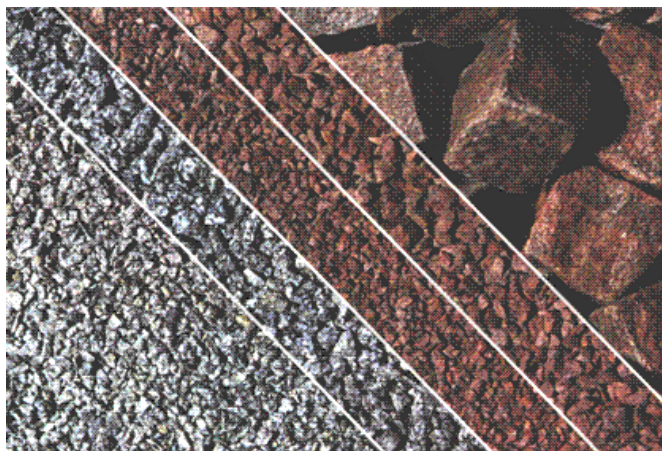


Abb. 1: Verschiedene Gesteinskörnungen aus Natursteinen. Quelle: Granitwerke Röhrig

Die Gesteine werden gebrochen und - je nach Verwendungszweck - in den unterschiedlichsten Körnungen eingesetzt. Für die jeweiligen Verwendungsarten gibt es zahlreiche Vorschriften wie z.B. die DIN 4226 oder die TL Min-StB (Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau, [1]), in denen bestimmte Materialanforderungen festgelegt sind.

1.2. Naturwerksteine

Naturwerksteine sind natürliche Hartgesteine, die durch Bearbeitung (z.B. Spalten, Behauen, Sägen, Fräsen, Schleifen) in eine präzise dimensionierte und maßgerechte Form gebracht werden können und überwiegend im Bau- und Monumentbereich verwendet werden (Abb. 2).

Die Benennung der Naturwerksteine erfolgt nach einer auf das Steingewerbe und den Handel ausgerichteten kommerziellen Nomenklatur. Diese **H a n d e l s n a m e n** basieren auf natürlichen Variationen innerhalb einer Gesteinsart, z.B. hinsichtlich Farbe, Größe und Anordnung der Gesteinsbestandteile, Erhaltungszustand und technischen Eigenschaften oder Herkunft. Teilweise sind auch wohlklingende Phantasienamen gebräuchlich.

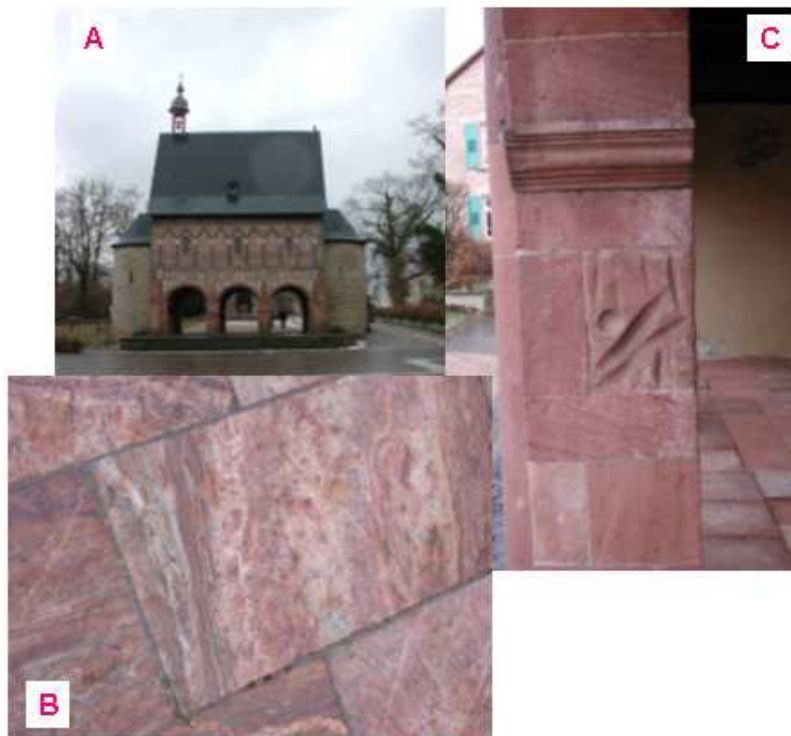


Abb. 2: Naturwerksteine am Kloster Lorsch. A: Kloster Lorsch. B: Bodenplatten aus Odenwald-Quarz. C: Säule aus Sandstein (Buntsandstein).

2. Lage

Hartgesteine als Rohstoffe für die Natur- und Naturwerksteingewinnung sind mit Ausnahme des Rhein-Main-Gebietes zwischen Wiesbaden und Hanau sowie im sich südlich anschließenden Rheingraben in ganz Hessen verbreitet (Abb. 3). Diese dezentrale Verbreitung spiegelt sich in der Verteilung der Abbaustellen wider. Gleichwohl gibt es große regionale Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der einzelnen Gesteinsarten, was geologisch bedingt ist. Die ältesten in Abbau stehenden Hartgesteine treten im kristallinen Odenwald und im Rheinischen Schiefergebirge auf. Im

Odenwald sind es Gneise, Granite, Granodiorite, Diorite und Gabbros. Die Quarze des Reichenbacher Quarzganges östlich Bensheim sind allerdings als Ganggestein viel jünger.

Im Rheinischen Schiefergebirge werden oder wurden Hartgesteine wie beispielsweise Quarzite und Metarhyolithe (*Serizitgneise*) des Taunus und Metabasalte (*Diabase*), Metapikrite und Kalksteine (Massenkalke) im Bereich des Lahn- und Dillgebietes abgebaut. Diese Lagerstätten treten der tektonischen Architektur des Rheinischen Schiefergebirges entsprechend überwiegend in Nordost-Südwest orientierten Gesteinsschuppen oder Faltenzügen auf.

Abbaustellen von Sandsteinen und Kalksteinen des Erdmittelalters (Mesozoikum) verteilen sich dagegen über eine große Fläche in Nord-, Mittel-, Ost- und Südosthessen mit Schwerpunkten im Raum Marburg, nordwestlich Kassel, in ganz Osthessen sowie im südlichen Odenwald.

Die jüngsten Hartgesteine sind in der Tertiärzeit entstanden. Basalte und verwandte Gesteine ähnlicher Zusammensetzung, untergeordnet Phonolithe sowie basaltische Vulkaniklastite (Tuffe und Schlackenagglomerate) verdanken ihre Existenz dem tertiärzeitlichen Vulkanismus. Ein markanter Gürtel basaltischer Gesteine erstreckt sich vom nördlichen Rhein-Main-Gebiet über den Vogelsberg und die Niederhessische Senke bis in den Kasseler Raum. Weitere Zentren liegen im Westerwald, der Rhön, auf dem Landrücken und bei Hohenzell östlich Schlüchtern. Daneben gibt es bedeutende Einzelvorkommen südöstlich Kassel, u.a. bei Wattenbach und am Hohen Meißner.

Ebenfalls tertiären Alters sind Einkieselungsquarzite. Diese treten in Sanden auf und sind häufig mit Braunkohlen assoziiert. Ihr Verbreitungsgebiet konzentriert sich auf die Niederhessische Senke und separate Teilsenken. Aber auch in der Wetterau und im Westerwald kommen solche Quarzite vor.

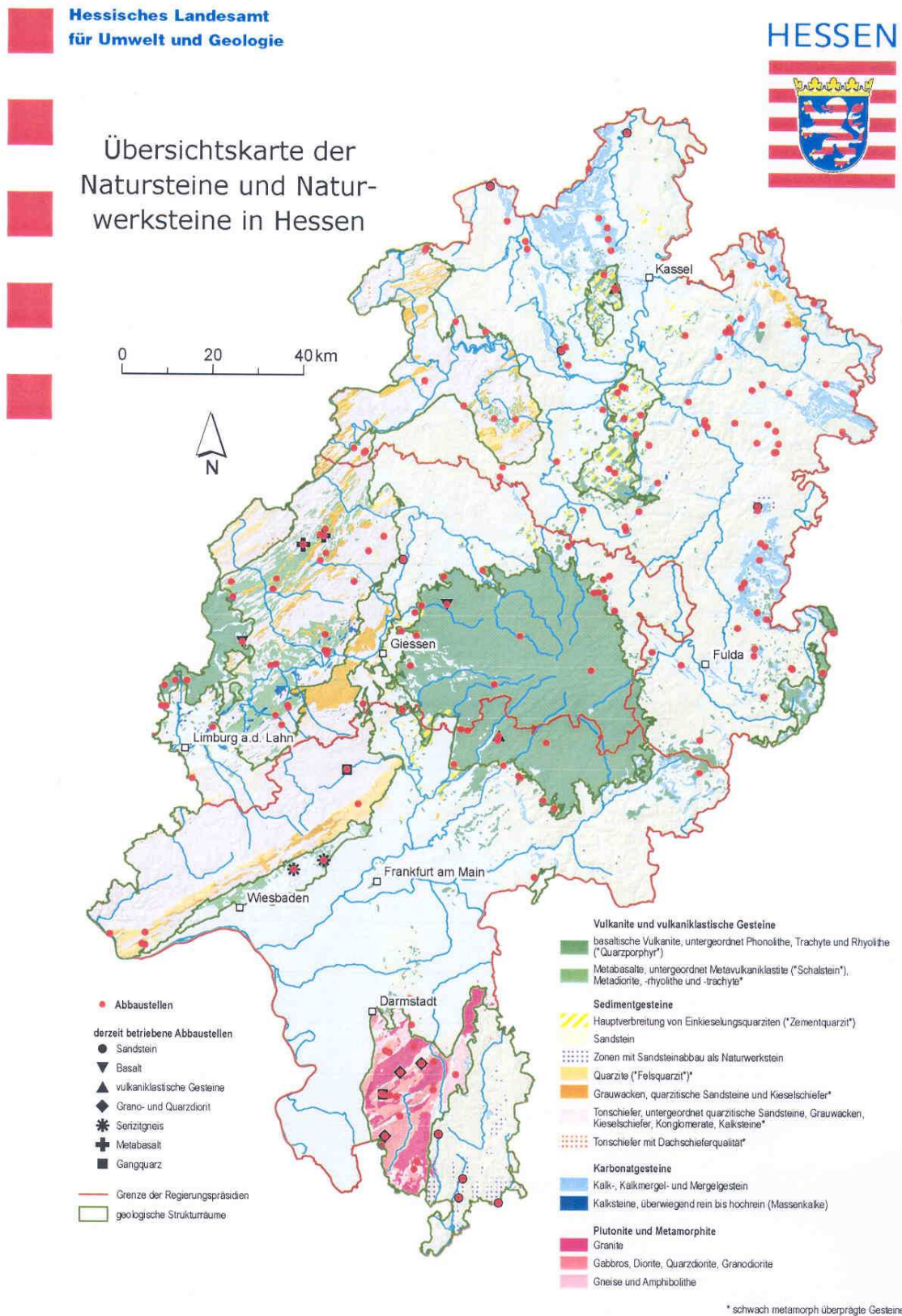


Abb. 3: Übersichtskarte der Natur- und Naturwerksteine. Detaillierte Informationen sind der dem Bericht zugeordneten Übersichtskarte im Maßstab 1 : 300000 zu entnehmen.

3. Untersuchungsstand

Der Untersuchungsstand ist je nach Gesteinsart und von Region zu Region unterschiedlich. Eine Beschreibung erfolgt daher in *Kapitel 12*.

4. Geologie und Mineralogie

Die Einteilung der Hartgesteine erfolgt nach ihrer Entstehung in drei Hauptgruppen *Magmatische Gesteine*, *Metamorphe Gesteine* und *Sedimentgesteine*. Die drei Gesteinsgruppen stehen über den Kreislauf der Gesteine miteinander in Beziehung (Abb. 4). In diesem Kreislauf gehen die einzelnen Gesteinstypen unter Einwirkung verschiedener Ursachen ineinander über.

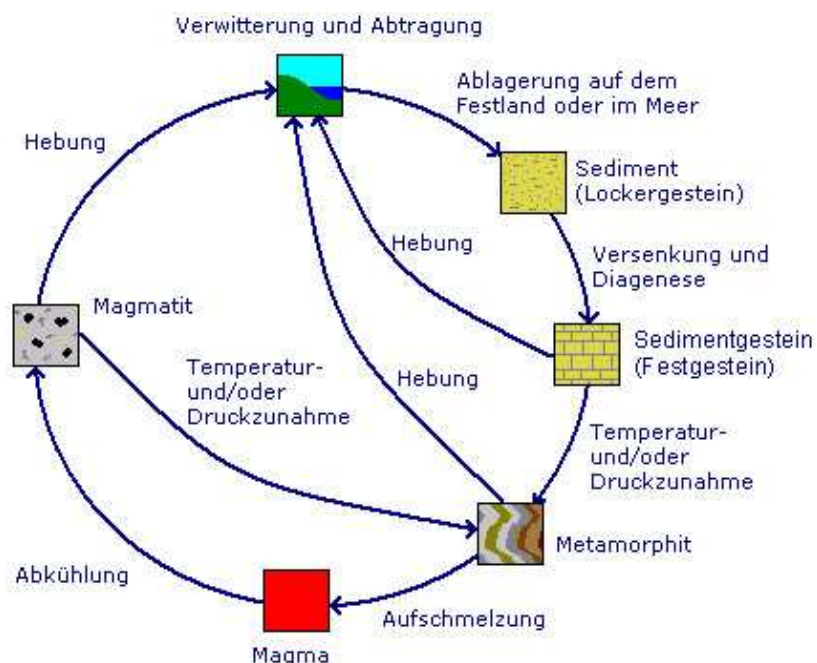


Abb. 4: Kreislauf der Gesteine ([2], modifiziert).

4.1. Magmatische Gesteine

Magmatite sind aus Gesteinsschmelzen (Magma) aus dem Erdinneren entstanden. Es werden zwei Untergruppen unterschieden:

- *Plutonite (Tiefengesteine)* kristallisieren langsam in großer Tiefe aus, wodurch große Kristallite wachsen können. Die Tiefengesteine sind in der Regel an ihrer grobkristallinen Struktur zu erkennen. Die Minerale bilden ein richtungsunabhängiges, gleichmäßiges dichtes Gefüge. Bekannte Beispiele in Hessen vorkommender Plutonite sind Granite, Diorite und Gabbros.

- *Vulkanite (Ergussgesteine)* erstarren beim Ausfluss von *Magma* an der Erdoberfläche oder unter Wasser. Durch die schnelle Abkühlung bleiben die Kristallite klein. sie bilden eine feinkörnige Grundmasse, in der ggf. schon in größerer Tiefe gewachsene größere Kristalle, *Einsprenglinge*, „schwimmen“ können. Die Vulkanite weisen z.T. Fließstruktur und kleine Hohlräume/Blasen auf. Typische Vertreter dieser Gruppe sind in Hessen z.B. Basalte, Basanite und Phonolithe. Auch die sog. Vulkaniklastite wie Tuffe und Schlackenagglomerate sind vulkanischen Ursprungs, allerdings aus verbackenem heißem vulkanischen Lockermaterial entstanden.

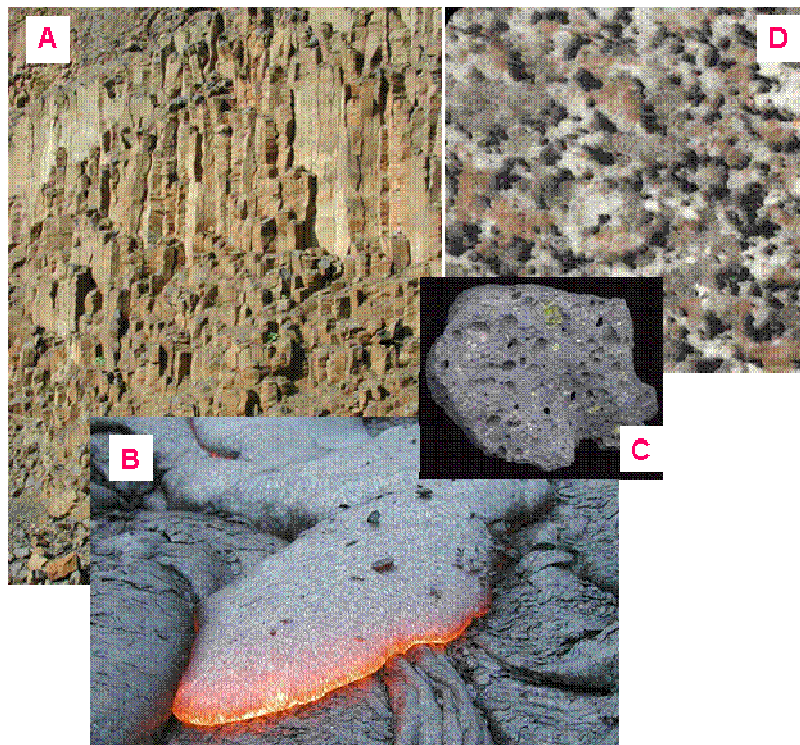


Abb. 5: Magmatite: A. Phonolith-Säulen, B. Basaltlava, C. erkaltete Basaltlava. D Plutonit (Granit).

Magmatische *Ganggesteine*, wie sie z.B. im hessischen Odenwald vorkommen, vermitteln vom Mineralgefüge her zwischen Plutoniten und Vulkaniten. Sie werden hier nicht näher behandelt, da sie in Hessen keine wirtschaftliche Bedeutung haben.



Abb. 6: Verwendung von Basaltsäulen als Hangbefestigung.

4.2. Metamorphe Gesteine

Einwirkung von hohem Druck und/oder Temperatur führen in geologischen Zeiträumen dazu, dass sich der ursprüngliche Mineralbestand und das Mineralgefüge eines Gesteins verändern. Die durch solch eine Umwandlung neugebildeten Gesteine werden metamorphe Gesteine oder kurz *Metamorphite* genannt.

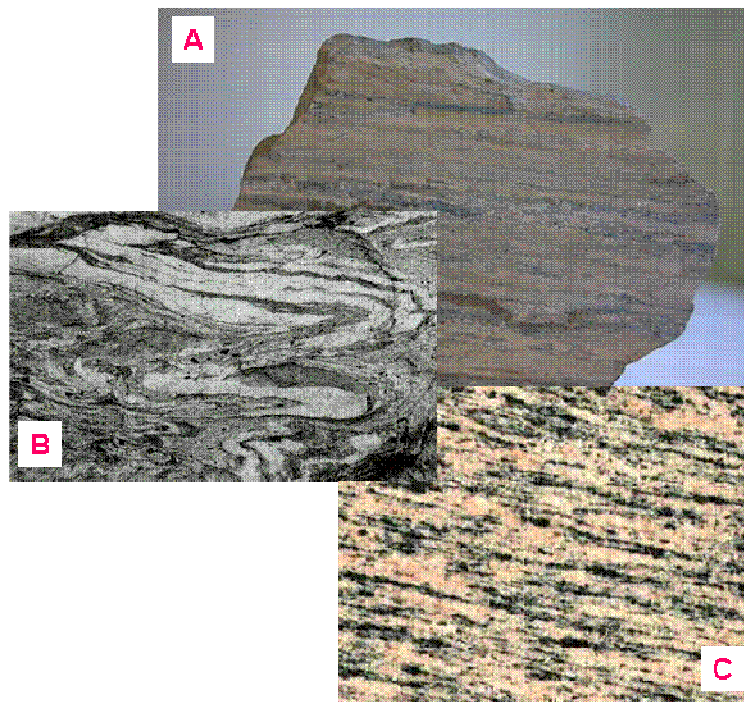


Abb. 7: Metamorphite: A und C: Gneis mit Lagenbau. B: Migmatit; aufgeschmolzener und verfalteter Gneis

Infolge des Gebirgsdruckes während der Bildung metamorpher Gesteine (Abb. 7) werden ihre Minerale zunehmend eingeregelt. Es entsteht so eine Schieferung. Bei weiter steigenden Metamorphosebedingungen lösen Aufschmelzungsprozesse diesen Lagenbau sukzessiv wieder auf. Aus Gneisen werden so Migmatite. Aus einem Migmatit kann bei vollständiger Aufschmelzung wieder Granitmagma entstehen. Die beschriebenen Prozesse können sich mehrfach wiederholen und durch zusätzliche Gesteinfaltung und -zerschering komplexe Gesteinsstrukturen erzeugen. So wurde z.B. aus Tonstein Tonschiefer, aus Kalkstein Marmor. Quarzsandstein wurde zu Quarzit, Granit und Grauwacke wandelten sich zu Gneis um und aus Basalt entstand bei schwacher Metamorphose Metabasalt (=Diabas), bei stärkerer Metamorphose Amphibolit.

4.3. Sedimentgesteine

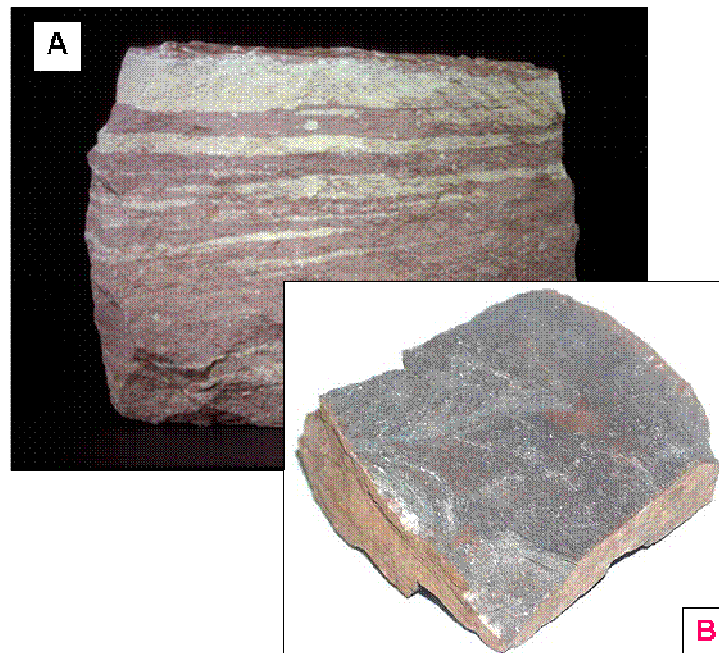


Abb. 8: Sedimentgesteine: A. Grauwacke, B. Sandstein

Die Gesteine dieser Gruppe entstehen durch Verwitterung und Abtragung bereits vorhandener Gesteine und Umlagerung des abgetragenen oder abgelösten Materials. Sedimentgesteine sind „Ablagerungsgesteine“. Sie zeigen von Ausnahmen (z.B. Massenkalke) abgesehen eine ausgeprägte Schichtung (Abb. 8). Man unterscheidet nach der Entstehungsweise zwischen chemischen und biogenen Sedimentgesteinen auf der einen Seite, wie z.B. Karbonatgesteine (Kalksteine, Dolomitsteine, Gipssteine), die durch Auskristallisieren von Mineralen aus einer wässrigen Lösung bzw. durch Ansammlung abgestorbener Kalkorganismen entstanden sind, und klastischen Sedimentgesteinen („Trümmergesteine“) auf der anderen Seite, wie z.B. Sandsteine, Grauwacken und Tonsteine. Diese entstehen durch Ablagerung von Gesteinsbruch. Das abgelagerte Sediment wird in geo-

logischen Zeiträumen und durch Überlagerung mit weiterem Material zu Sedimentgestein verfestigt.

Auf die einzelnen Gesteinsarten und ihren geologischen Rahmen wird im *Kapitel 12* näher eingegangen.

5. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die Variationsbreite der hessischen Hartgesteinsarten ist groß. Auf die Eigenschaften der einzelnen Gesteine wird daher in *Kapitel 12* näher eingegangen. Grundsätzlich gilt jedoch, dass je nach Einsatzgebiet unterschiedliche Qualitätsanforderungen an Hartgesteine gestellt werden, die nur von bestimmten Gesteinsarten eingehalten werden. Das heißt aber nicht dass die Qualität einer bestimmten Gesteinsart in allen Lagerstätten oder sogar innerhalb eines Steinbruchs stets gleich ist. Das zeigt sich ganz deutlich bei Basalten, die innerhalb eines Aufschlusses in Säulenform (Säulenbasalt) oder als z.T. blasenreiche Basaltschichten (Basaltlava) erstarrt sein können. Säulenartig erstarrte Basalte haben ein feinkörniges bis dichtes Gesteinsgefüge, die Rohdichten sind hoch, die Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit ist gering. Basalte die ausgeprägte Lavaschichten ausbilden sind dagegen poröser, die Wasseraufnahmefähigkeit ist deutlich höher und die Rohdichte ist geringer (Tab. 1).

Tab.1: Ausgewählte Gesteinseigenschaften von einigen Hartgesteinen die in Hessen vorkommen [3]. Die Eigenschaften einer Gesteinsart ist nicht überall gleich und wird daher in Intervallen angegeben.

	Gesteinsart	Rohdichte kg/dm ³	Porosität V. - %	Wasseraufnahme Gew. %	Druckfestigkeit N/mm ²	Biegefestigkeit N/mm ²	Abnutzung (Schleifen) cm ² /50cm ³
Magmatische Gesteine	Granit	2,6-2,8	0,4-1,5	0,2-0,5	160-240	10-20	5-8
	Diorit, Gabbro	2,8-3,0	0,5-1,2	0,2-0,4	170-300	10-22	
	Basalt	2,9-3,0	0,2-0,9	0,1-0,3	250-400	15-25	5-8,5
	Basaltlava	2,2-2,35	20-25	4-10	80-150	8-12	12-15
	Tuffstein	1,8-2,0	20-30	6-15	20-30	2-6	
Metamorphe Gesteine	Tonschiefer	2,7-2,8	1,6-2,5	0,5-0,6		50-80	
	Gneis	2,65-3,0	0,4-2,0	0,1-0,6	160-280	13-25	4-10
	Diabas	2,8-2,9	0,3-1,1	0,1-0,4	180-250	15-25	5-8
Sedimentgesteine	Kalkstein	1,7-2,6	0,5-30	0,2-10	20-90	5-8	35-100
	dichter Kalkstein, Dolomite, Marmor*	2,6-2,85	0,5-2,0	0,2-0,6	80-180	6-15	15-40
	Sandstein (Quarzsandstein)	2,0-2,65	0,5-25	0,2-9	30-180	3-15	10-14
	Quarzit, Grauwacke	2,6-2,65	0,4-2,0	0,2-0,5	150-300	13-25	7-8

Hauptgründe für Qualitätsunterschiede sind u.a. der Mineralbestand, die Porosität des Gesteins, das Korngefüge d.h. die Art und Weise der Mineralbindung und –orientierung und die geologischen Rahmenbedingungen während und nach der Gesteinsbildung. Von diesen grundlegenden Gesteinseigenschaften leiten sich die Dichte und die Porosität des Gesteins, seine Wasseraufnahmefähigkeit und Härte, die Druck- und Biegefestigkeit aber auch Verwitterungs-, Frost- und Hitzebeständigkeit, die Schlagfestigkeit, die Abriebfestigkeit bzw. Polierresistenz, die Beständigkeit gegen Säuren oder Laugen (Tausalz), die Affinität zu Bindemitteln u.s.w. ab.

5.1. Natursteine

Für die Verwendung gebrochener Natursteine werden die in Tab. 2 aufgeführten Gesteinskörnungen definiert:

Tab. 2: Bezeichnungen gebrochener Natursteine definierter Korngrößenzusammensetzungen („Gesteinskörnungen“) für den Verkehrswegebau nach [1] und [4]. Prozentangaben in Masse-Prozent (zitiert [5]).

Bezeichnung	Körnungsklassen	Korngrößen	zulässiger Anteil Unterkorn	zulässiger Anteil Überkorn	zulässiger Anteil abschlämmbare Bestandteile <0,063mm
Brechsand – Splitt	0/5	0 – 5 mm	– (Kornanteil < 0,09 mm ist anzugeben)	≤ 20 % bis 8 mm	
Splitt	5/11	5 – 11 mm	≤ 20 %	≤ 10 % bis 22,4 mm	≤ 1,5 %
	11/22	11 – 22 mm	≤ 20 %	≤ 10 % bis 31,5 mm	≤ 1,0 %
	22/32	22 – 32 mm	≤ 20 %	≤ 10 % bis 45 mm	≤ 1,0 %
Schotter	32/45	32 – 45 mm	≤ 20 %	≤ 10 % bis 56 mm	≤ 1,0 %
	45/56	45 – 56 mm	≤ 20 %	≤ 10 % bis 63 mm	≤ 1,0 %
Füller	0/0,09	0 – 0,09 mm	– (Kornanteil < 0,09 mm ist anzugeben)	≤ 20 % bis 2 mm	
Edelbrechsand	0/2	0 – 2 mm	– (Kornanteil < 0,09 mm ist anzugeben)	≤ 15 % bis 5 mm	
Edelsplitt	2/5	2 – 5 mm	≤ 10 %	≤ 10 % bis 8 mm	≤ 3,0 %
	5/8	5 – 8 mm	≤ 15 %, ≤ 5 % < 2 mm	≤ 10 % bis 11,2 mm	≤ 2,0 %
	8/11	8 – 11 mm	≤ 15 %, ≤ 5 % < 5 mm	≤ 10 % bis 16 mm	≤ 1,5 %
	11/16	11 – 16 mm	≤ 15 %, ≤ 5 % < 8 mm	≤ 10 % bis 22,4 mm	≤ 1,0 %
	16/22	16 – 22 mm	≤ 15 %, ≤ 5 % < 11,2 mm	≤ 10 % bis 31,5 mm	≤ 1,0 %

In der Praxis gibt es für alle Produkte und Verwendungsbereiche bundes- und europaweit genormte Materialanforderungen, die laufend der technischen Entwicklung angepasst werden. Eine Übersicht über gängige Prüfverfahren für die verschiedenen Gesteinseigenschaften gibt Tabelle 3.

Tab. 3: Allgemeine Anforderungen an die Eigenschaften gebrochener Natursteine für den Verkehrswegebau und zugehörige Prüfverfahren (zitiert nach [5]).

Eigenschaft	Prüfverfahren	Bestimmung	Einflussgrößen	Hinweis auf Normen (Beispiele)
Korngrößenverteilung	Sieben, Schlämmen	Korngrößenklassen, dazu auch Sortierung, Unter- und Überkorn, Anteil abschlämmbarer Feinanteile < 0,063 mm	u.a. Gesteinsstruktur/-gefüge, z.B. vorgegebene Spaltrichtungen, Anordnung der Minerale etc.	TL Min-StB TLSKG-StB DIN EN 13242 DIN EN 13043
Kornformkennzahl		Anteil ungünstig geformter Körner mit Länge:Dicke \geq 3:1	(s.o.)	DIN 4226 DIN EN 13043 DIN EN 13242
Plattigkeitskennzahl			(s.o.)	DIN EN 13043 DIN EN 13242 DIN EN 12620
Bruchflächigkeit		Anteil bruchflächiger Körner (nur bei Edelsplitt 8/11 und bei offenporigen Asphaltdecken)	(s.o.)	
Verwitterungsbeständigkeit - Frostbeständigkeit - Widerstand gegen Frost und Taumittel - Raumbeständigkeit	Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Na- oder Mg-Sulfat-Versuch u.a.	Wasseraufnahme, Anteil an Absplitterungen bzw. Unterkorn nach Versuch	Porosität, Anteil zersetzter oder zersetzungsanfälliger, chemisch reaktiver oder quellfähiger Minerale (z.B. Pyrit, Markasit, Gips, Smektit, Glimmer), „Sonnenbrenner“-Eigenschaft bestimmter basaltischer Gesteine	TL Min-StB DIN EN 1367
Festigkeit - Schlagzertrümmerungswert $SZ_{8/12}$ - Siebdurchgang SD10	SK 8/12 (für Splitt/Kies)*), SD 10 (für Schotter)**)	bei Schlagzertrümmerung entstehende Feinkornanteile	Gesteins Härte/-festigkeit, Bindemittel/Zement, Mineralverband/Gefüge, Anteil weicher Minerale u.a.	DIN EN 13242 DIN EN 13043 DIN EN 12620
Widerstandsfähigkeit gegen Polieren (auch „Polierwert“, „Polierbeiwert“), Widerstand gegen Abrieb (AAV)		PSV-Wert	Gesteins Härte/-festigkeit, Bindemittel/Zement, Mineralverband/Gefüge, Anteil weicher Minerale, Mineralgröße u.a.	DIN EN 13043
Reinheit - abschlämmbare Anteile - mergelige und tonige Bestandteile - organische Verunreinigungen - Gehalt an wasserlöslichem Chlorid - Gehalt an Sulfaten - Gehalt an sonstigen toxischen Stoffen (bei Recycling-Baustoffen und Schlacken)		Prüfung nur für bestimmte Produkte erforderlich		DIN EN 13242
Widerstandsfähigkeit gegen Hitzebeanspruchung (nur bei bituminösem Mischgut)		Absplitterungen und entstehende Feinanteile bei Schlagzertrümmerung nach Hitzebeanspruchung im Muffelofen	Mineralzusammensetzung u.a.	TL Min-StB
Affinität zu Bitumen				DIN 1996 T. 10

*) Siebdurchgang der Prüfkörnung 35/45 durch das Rundsieb \varnothing 10 mm nach dem Schlagversuch (nach [5]); **) Schlagzertrümmerungswert, berechnet aus den mittleren Siebdurchgängen durch die Prüfsiebe \varnothing 8; 5; 2; 0,63; 0,2 mm nach dem Schlagversuch an der Prüfkörnung 8/12 (nach [5]).

Für einzelne Produkte und Verwendungsbereiche gibt es zahlreiche bundesdeutsche und europäische Normen. Beispielsweise gelten Gesteinskörnungen in der Regel für die Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 als geeignet, wenn sie den Anforderungen

Tab. 4: DIN V 20000-103:2004 Tabelle 1 – Anforderungen für die Verwendung in Beton.

Zeile	Eigenschaft	DIN EN 12620	Regelanforderung
1	Kornzusammensetzung		
1a	Grobe Gesteinskörnungen mit $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$	4.32	G _C 85/20
1b	Feine Gesteinskörnungen	4.3.3	Toleranzen nach DIN EN 12 620, Tabelle 4
1c	Korngemische	4.3.5	G _{A90}
2	Kornform	4.4	FI ₅₀ oder SI ₅₀
3	Muschelschalengehalt	4.5	SC ₁₀
4	Feinanteile		
4a	Grobe Gesteinskörnung	4.6	f _{1,5}
4b	Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8	4.6	f ₃
4c	Korngemisch	4.6	f ₃
4d	Feine Gesteinskörnung	4.6	f ₃
5	Widerstand gegen Zertrümmerung	5.2	LA _{NR} oder SZ _{NR}
6	Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen	5.3	M _{DENR}
7	Widerstand gegen Polieren	5.4.1	PSV _{NR}
8	Widerstand gegen Oberflächenabrieb	5.4.2	AAV _{NR}
9	Widerstand gegen Abrieb durch Spike-Reifen	5.4.3	A _N NR
10	Frost-Tau-Widerstand	5.7.1	F ₄
11	Magnesiumsulfat-Wert	5.7.1	MS _{NR}
12	Chloride	6.2	Chloridgehalt $\leq 0,04$ % Massenanteil
13	Säurelösliches Sulfat für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	6.3.1	AS _{0,8}
14	Säurelösliches Sulfat Hochofenstückschlacken	6.3.1	AS _{1,0}
15	Gesamtschwefel für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	6.3.2	$\leq 1\%$ Massenanteil
16	Gesamtschwefel für Hochofenstückschlacken	6.3.2	$\leq 2\%$ Massenanteil
17	Leichtgewichtige organische Verunreinigungen		
17a	Feine Gesteinskörnung	6.4.1 und G.4	$\leq 0,5\%$ Massenanteil
17b	Grobe Gesteinskörnung, natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 und Korngemisch	6.4.1 und G.4	$\leq 0,1\%$ Massenanteil

nach DIN EN 12620 entsprechen. Festlegungen hierfür sind in der DIN V 20000-103 getroffen worden (Tab. 4).

5.2. Naturwerksteine

Bei der Naturwerkstein-Gewinnung und -Verarbeitung spielen neben einigen schon genannten Eigenschaften wie z.B. der Härte und der Polierbarkeit des Gesteins weitere Eigenschaften eine Rolle, die sich auf optische Kennzeichen (Farbe, Struktur, Homogenität, Musterung etc.) und Oberflächeneigenschaften beziehen.

Die Gefügestruktur von Naturwerksteinen bildet sich auf der Oberfläche ab. So sind große Poren, offene Stellen, Quarzadern usw., soweit im Stein vorhanden, immer sichtbar. Sie sind Bestandteil des Steines und seines Charakters. Je "offener" die Oberfläche ist, desto höher ist die Gefahr der Verschmutzung und der Aufwand für Schutz und Pflege des Steines.

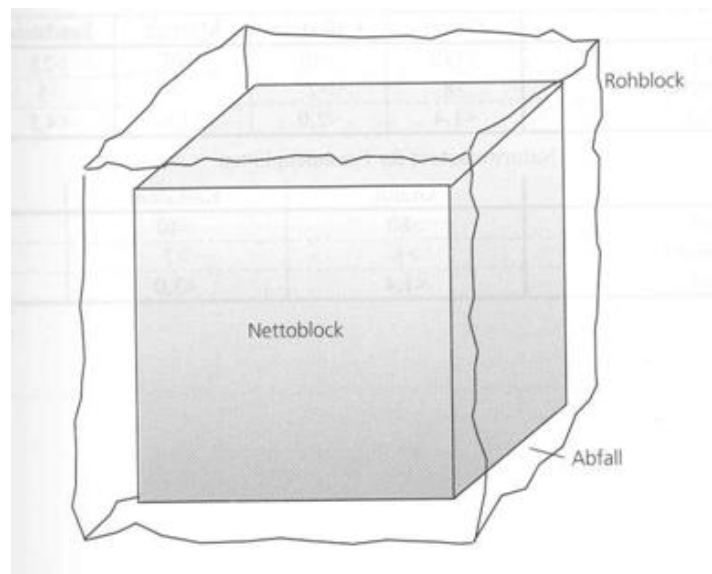


Abb. 9: Rohblock und Abbauverlust (Abfall) durch für die Weiterverarbeitung nicht ideale Form und Abmessungen [5].

Die Gewinnung von großvolumigen Blöcken in möglichst rechteckiger Form ist anzustreben, weil diese verlustarm von Blocksägen und Sägegattern weiterverarbeitet werden können. Hierzu ist die Analyse der Trennflächensysteme d.h. Art, Orientierung und Abstände von Klüften, Störungen und Schichtung notwendig. Um die Abbauverluste - bedingt durch kaum jemals ideale Rohblock-Abmessungen (Abb. 9) – zu minimieren, ist eine Mindestblockgröße von $0,4 \text{ m}^3$ einzuhalten. Besser und wirtschaftlicher sind Blockgrößen, die erheblich größer als 1 m^3 sind. Wichtige Kennwerte in diesem Zusammenhang sind das *Durchschnittsblockvolumen* (durchschnittliche Blockvolumen einer Lagerstätte) und die *Rohblockhöflichkeit* (Anteil der Rohblöcke, die die Mindestanforderungen erfüllen). Diese Anforderung hat Einfluss auf die Anlage des Steinbruchs sowie die Art der Gewinn-

nung. Bereits die Erschließung einer reinen Naturwerksteinlagerstätte unterscheidet sich daher deutlich von einer reinen Natursteinlagerstätte.

6. Abbausituation und Verwendung

Auf die spezielle Abbausituation der einzelnen Hartgesteine wird in *Kapitel 12* näher eingegangen. An dieser Stelle soll allgemein auf Gewinnung, Produkte, Verwendung von Natur- und Naturwerksteinen eingegangen werden.

6.1. Natursteine

Bereits die Römer verwendeten Basalt und andere Hartgesteine für die Anlage ihrer Straßen. Heute sind diese Baustoffe für Hoch- und Tiefbau sowie im Verkehrswegebau unentbehrlich. Sie werden ungebunden als Brechsande, Splitte, Schotter oder Steine eingebaut, fungieren andererseits als Zuschlag im Beton. Produkte aus gebrochenen Hartgesteinen zeichnen sich durch ein hohes spezifisches Gewicht sowie eine hohe Festigkeit und Witterungsbeständigkeit aus.

Tab. 5: Prozentuale Verwendung von Gesteinskörnung in den Bundesländern
 im Zeitraum 2004/2005
 (Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V., nach Meldungen der Mitglieder [6]).

Bundesländer	Edelsplitt, Edelbrechsand	Schotter, Splitt, Brech- sand	Gleisschotter	Mineralbeton	Wasserbausteine	Sonstiges
Baden-Württemberg	9,1	28,6	1,1	40,6	1,8	1,2
Bayern	16,8	23,3	2,4	44,2	2	1,1
Brandenburg	38,1	25,3	11,9	17,2	0,2	7,3
Hessen	31,7	13,3	4,7	35,3	1	0,6
Niedersachsen	24,6	16,2	4,2	35,7	2,2	3,8
Nordrhein-Westfalen	37	14,3	0,2	38,1	0,8	2,5
Rheinland-Pfalz	29,4	25,5	3,5	25,7	1,6	4,1
Saarland	27,3	8,2	0	47,7	0,7	8,1
Sachsen	21	14,2	6,8	46	3,3	0,8
Sachsen-Anhalt	24,5	29,3	2,2	22,9	1,4	16,8
Thüringen	26,9	23,2	1,9	34,1	0,7	10,6
Deutschland	23	21,4	2,9	37,2	1,7	3,4

Im Jahr 2004 wurden in Hessen 16,4 Mio. t Natursteine gefördert. Im Vergleich zu 2003 ist dies ein deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von -3,1% nur geringer Rückgang um 0,6%.

Damit liegt Hessen bei der Naturstein-Förderung nach Bayern und Baden-Württemberg an 3. Stelle. Betrachtet man die einzelnen Erzeugungsgruppen so wird die allgemein hohe Qualität hessischer Hartgesteine auch statistisch deutlich. Der Löwenanteil der im Land produzierten Natursteine sind wird zu hochwertigen Edelsplitten und Edelbrechsanden sowie in Mineralbeton verarbeitet.



Abb. 10: Basaltsteinbruch Breitenborn Anfang des 20. Jh. (oben) und heute (unten). Fotos: Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG.

In Hessen werden folgende Gesteine als Natursteine genutzt: Vulkanische Ergussgesteine (Basalte, Phonolithe, Trachyte etc.), Tiefengesteine (Granite, Granodiorite, Diorite, Gabbros etc.), metamorphe Gesteine (z.B. Metabasalte, (=Diabase), Metarhyodacite und -rhyolithe, (=Serizitgneise), Gneise, Amphibolite, Quarzite) und Sedimentgesteine (z.B. Grauwacken, quarzitisches Sandsteine, Kalksteine, Dolomitsteine).

6.1.1. Produktion

Die Herstellung von Gesteinskörnungen erfordert – zusätzlich zu Abbau- und Fördertechnik im Steinbruch – einen erheblichen maschinellen Aufwand (Abb. 11).

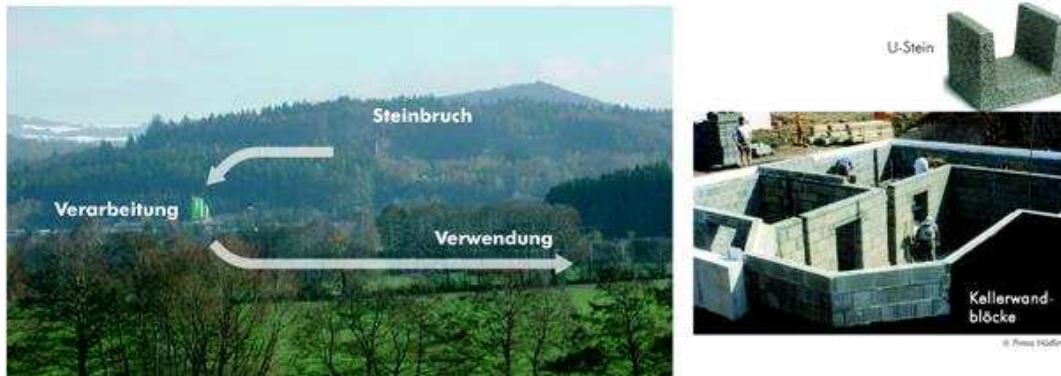


Abb.11: Produktionskette: 1. Abbau im Steinbruch, 2. Verarbeitung im Betrieb, 3. Verwendung z.B. als U-Stein im Kellerbau

Das Gestein wird in der Regel durch Großbohrlochsprengungen gewonnen. Dabei entsteht ein Haufwerk, das meist ohne weitere Arbeitsschritte verladen und transportiert werden kann. Der Transport von der Bruchwand zum Brecher erfolgt durch Schwerlastkraftwagen (SKW). Das geladene Haufwerk wird in den Aufgabetrichter des Vorbrechers abgekippt und läuft über eine Vorabsiebung, in der Abraumanteile separiert werden, in den Vorbrecher. Dort wird es – je nach Spaltweite – zu einem Korn 0/150 – 0/600 mm herunter gebrochen. Dem Vorbrecher folgt die Nachbrecherstufe. Die hier erzeugten Körnungen werden in der Splittanlage durch Siebung in Brechsand-, Splitt- und Schotterkörnungen bis 56 mm getrennt und in Silos bevorratet. Ein Teil dieses Materials wird in einer weiteren Brechstufe, der Edelsplittanlage, zu Edelbrechsand und Edelsplitt mit Korngrößen bis 22 mm nach gebrochen, klassiert und in Silos gelagert. Zum Schutz der Umwelt vor Emissionen werden alle Brech- und Siebvorgänge entstaubt. Der Staub wird als Gesteinsmehl (Füller) weiterverwendet. Für den qualifizierten Straßenbau werden darüber hinaus Füller gezielt durch Mahlen hergestellt.

6.1.2. Produkte und Verwendung

Aus der Aufbereitung gehen in der Regel folgende Produkte hervor:

Tab. 6: Produkte und Gesteinskörnungen aus Naturstein

Produkte	Gesteinskörnung
Schotter	32/45, 45/56 mm
Splitt	5/11, 11/22, 22/32 mm
Edelsplitt	2/5, 5/8, 8/11, 11/16, 16/22 mm
Brechsand	0/5 mm
Edelbrechsand	0/2 mm
Gesteinsmehl (Füller)	0/0,09 mm
Korngestufte Mineralstoff- Gemische	0/32, 0/45, 0/56 mm
Ufer-, Wasserbau- und Schüttsteine	
Schrotten (grobe, unklassierte Gesteinsstücke)	

Die Produkte finden vor allem im Hoch- und Tiefbau Verwendung. Im Straßenbau werden gebrochene Natursteine als ungebundenes oder gebundenes Material eingesetzt. Abhängig von der Konstruktionsweise bestehen Straßenbefestigungen aus zwei bis drei Tragschichten sowie der Decke, die sich aus Binder- und Deckschicht zusammensetzt. Die Tragschichten werden aus Mineralstoffgemischen ohne Bindemittel hergestellt. Hierbei dient die unterste Tragschicht in der Regel als Frostschutzschicht. In der Decke werden ausschließlich Edelsplitt, Edelbrechsand und Füller eingesetzt. Besondere Anforderungen an die Gesteinseigenschaften werden bei Deckschichten von Straßen der Bauklasse SV I und II gestellt.

Aber auch für viele weitere Anwendungen des täglichen Lebens sind gebrochene Natursteine unentbehrlich. Ihr Einsatz reicht von der mineralischen Düngung nährstoffarmer Böden durch Gesteinsmehle über Filtration in der Trinkwasseraufbereitung bis zur Verwendung als Rohmaterial für Dämmstoffe (Steinwolle). Gesteinsmehle werden auch in der keramischen Industrie verwendet. Nachstehend sollen einige häufig verwendete Produkte näher erläutert werden:

Gesteinsmehl

Bei diesem Material handelt es sich um ein aus natürlichen Mineralstoffen durch Mahlen hergestelltes oder bei der Aufbereitung anfallendes Korngemisch der Lieferkörnung 0/0,09 mm (mit maximal 20 Masse-Prozent Überkorn bis 2 mm), das keine organischen und quellfähigen Bestandteile in schädlichen Mengen enthalten darf.



Abb. 12: Einsatzgebiete für Naturstein: Hochbau, Straßenbau und Gleisbau.

Brechsand-Splitt

Brechsand-Splitt ist ein gebrochener Mineralstoff der Lieferkörnung 0/5 mm mit einem zulässigen Überkornanteil von 20 Masse-Prozent bis 8 mm. Die Lieferkörnung 0/5 kann entweder durch direkte Absiebung über ein 5-mm-Sieb oder durch Zusammensetzen von Edelbrechsand 0/2 mm und Edelsplitt 2/5 mm hergestellt werden.

Edelbrechsand

Erfüllt gegenüber Brechsand-Splitt veränderte Anforderungen hinsichtlich Korngröße und Überkorn.

- Überkorn:
15 Masse-Prozent bis 5 mm
- Unterkorn:
Keine Anforderung, aber Kornanteil < 0,09 mm ist anzugeben

Splitt

Splitt sind entweder Lieferkörnungen, die die erhöhten Anforderungen an die Edelsplitt nicht erfüllen, oder alle Lieferkörnungen, bei denen die untere und die obere Nennsiebweite nicht direkt benachbart sind. Sie können durch direkte Absiebung oder durch Zusammenführen von benachbarten Edelsplittkörnungen hergestellt werden. Bei Zusammenfassung von mehreren Splittkörnungen sind unter Umständen Anforderungen an ein oder mehrere Zwischensiebe zu beachten (Beispiel Splitt 5/32: Der Durchgang durch das 11,2-mm-Sieb (unteres Zwischensieb) muss 25 bis 40 Masse-Prozent betragen und der Durchgang durch das 22,4-mm-Sieb (oberes Zwischensieb) 60 bis 75 Masse-Prozent.

Betonsplitt

Betonsplitt kommen als Gesteinskörnungen bei der Herstellung von Transportbeton, Fertigbetonteilen und Spannbeton zum Einsatz. Seit der Antike dient das Pantheon in Rom als klassisches Beispiel für das Bauen mit Beton. Seine Baumeister verwendeten bereits Betonarten unterschiedlicher Dichte, um den jeweiligen statischen Anforderungen zu genügen. Gebrochener Naturstein erzielt dank seiner scharfkantigen Kornform eine hervorragende Verzahnung im Beton; der Beton erreicht dadurch besonders hohe Endfestigkeiten.

Edelsplitt

Edelsplitt sind Körnungen, die erhöhten Anforderungen in Bezug auf Kornform, Über- und Unterkorn, mechanische Widerstandsfähigkeit und Reinheit gerecht werden. Nicht jedes Gestein kann

die Anforderungen eines Edelsplittes erfüllen. Zu Edelsplitt werden überwiegend Hartgesteine wie Granit, Diorit, Gabbro, Gneis, Quarzit, Basalt, Diabas oder Grauwacke verarbeitet.

Gleisschotter

Für den Gleisbau (Oberbau) werden besonders hochwertige Natursteinschotter benötigt. Es handelt sich um gebrochenes Festgestein der Lieferkörnung 22,4/63.

Edelbrechsande

Edelbrechsand wird bei der Herstellung von Asphalt und Transportbeton eingesetzt.

Mineralgemische

Überall dort, wo Verkehrswege oder Bauwerke eine solide Basis benötigen, werden nach optimierten Rezepturen hergestellte Mineralgemische eingebaut, die, vor Ort verdichtet, die gewünschte Tragfähigkeit erzielen. Je nach Anspruch an Belastbarkeit, Wasserdurchlässigkeit oder Frostbeständigkeit kommen Gemische wie Schottertragschicht oder Frostschuttschicht zum Einsatz. Für untergeordnete Zwecke können nicht qualitätsüberwachte Gemische wie Steinerde, Vorsiebmaterial, Auffüllmaterial oder Rohsprenggut verwendet werden.



Abb. 13: Transportbetonanlage. Foto: Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG.

Korngestufte Mineralstoffgemische

Korngestufte Mineralstoffgemische sind Kornhaufwerke aus Schotter, Splitt, Brechsand und /oder Natursand, deren Korngrößenverteilung eine dichte Aneinanderlagerung der Einzelkörner ermöglicht und die aufgrund rauer Kornoberflächen und scharfkantiger Kornformen ein standfestes, tragfähiges Korngerüst bilden. Mineralstoffgemische werden im Lieferwerk im vorgesehenen Sieb-

schnitt direkt hergestellt oder unter Wasserzugabe aus Einzelkörnungen zusammengesetzt und als einbaufertiges Mischgut zur Herstellung bindemittelfreier Tragschichten für Straßen und Wege verwendet.

Wasserbausteine

Wasserbausteine dienen dem Küsten- und Uferschutz. Steinbrocken unterschiedlicher Abmessungen und Gewichte (bis mehrere Tonnen) werden zur Befestigung von Uferböschungen und Deichen verwendet. Besonders geeignet sind dafür Hartgesteine mit hoher Dichte, Festigkeit und Frostbeständigkeit wie Gabbro und Basalt. Wasserbausteine sind Steine unterschiedlicher Größe und unregelmäßiger Form, die für wasserbauliche Schutz- und Regulierungsbauwerke verwendet werden. Sie müssen eine hohe Trockenrohdichte aufweisen und verwitterungsbeständig sein. Sie müssen gegen chemische Einflüsse des Grund- und Oberflächenwassers unempfindlich und gegen mechanische Beanspruchung widerstandsfähig sein. Ihre Verwendung darf sich nicht nachteilig auf den Gütezustand von Gewässern auswirken. Nach den „Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine“ werden folgende Größenklassen unterschieden:

Tab.7: Größenklassen für Wasserbausteine

Größen- klasse	Abmessungen (Größe Steinlänge in cm)
0	5 – 15
I	10 – 20
II	10 – 30
III	15 – 45
IV	20 – 60
V	35 - 100

Asphaltmischgut

Asphaltmischgut ist ein vielseitiger Baustoff, der in Brücken, Straßen, Radwegen, Autobahnen, Trinkwasserspeichern etc. unter tropischen bis arktischen Klimabedingungen einsetzbar ist. Asphaltmischgut besteht aus den drei Grundstoffen Gesteine, Sand und Bitumen. Jeder dieser Werkstoffe ist für sich und auch im Verbund umweltfreundlich. Asphaltmischgut ersetzt heute den Teer, der wegen seiner Umweltschädlichkeit seit 1965 nicht mehr verarbeitet wird. Asphalt ist außerdem vielfältig anwendbar und kann hervorragend den jeweiligen örtlichen Bedingungen angepasst werden.



Abb. 14: Asphaltmischanlage Frankfurt-Osthafen.
Foto: Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG.

Kunststeine

Aus unterschiedlich fein gebrochenem und gemahlenem Naturstein werden heute industrielle Kunststeine erzeugt, die Naturwerksteinen in Farbe sowie Musterung verblüffend ähnlich sehen können und eine preiswerte Alternative zu diesen darstellen. Bei der Kunststeinherstellung werden unterschiedliche Natursteinkörnungen, z.B. Granit und Kalkstein, sowie Sandkörnungen, mit Bindemittel vermischt und zu Dekorsteinen aller Art verarbeitet. Je nach Bindemittel unterscheidet man zwischen zement- und harzgebundenen Kunststeinen. Zur optischen Gestaltung werden Glas, Spiegelemente, Metalle und Farbpigmente bei der Produktion zugeführt. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften kommen darüber hinaus Kunststoffe und Fasern zur Anwendung.

6.2. Naturwerksteine

Hessen besitzt aufgrund seiner geologischen Vielfalt an Hartsteinen ein großes und vielfältiges Natursteinpotenzial. Regionale Gewinnungsschwerpunkte liegen in Odenwald, Taunus, Lahn-Dill-Gebiet, Vogelsberg, der Rhön, im Westerwald, Knüll, Habichtswald und in den Buntsandsteingebieten, die einen großen Teil der Landesfläche von Hessen einnehmen.

In keinem anderen Bundesland jedoch hatte das Ende der 50er Jahre dieses Jahrhunderts einsetzende Steinbruchsterben so drastische wirtschaftliche Folgen. In erster Linie betroffen waren weltweit exportierte und für berühmte Bauwerke verwendete Sorten, z.B. der als „Lahnmarmor“ bekannte *Villmarer* und *Schupbacher Kalkstein*.

6.2.1. Produktion

In Hessen erfolgt der Abbau von Naturwerksteinen wie der von Natursteinen heute ausschließlich im Tagebau. Je nach technischen Anforderungen und Gesteinsmusterung erstreckt sich die Gewinnung auf das gesamte Steinbruchareal oder beschränkt sich auf bestimmte Bereiche im Steinbruch. Mit Hilfe hydraulischer Keile werden die als geeignet angesehenen Gesteinspartien entlang natürlicher Trennflächen getrennt. Häufig kommen dabei auch Sägen oder Spaltgeräte zum Einsatz (Abb. 15). Man versucht die Blöcke für den Transport und die Weiterverarbeitung möglichst rechtwinklig zu gewinnen. Die so gewonnenen Rohlinge werden im Steinbruch vor Ort oder im nahe liegenden

Natursteinwerk weiterverarbeitet. Im Werk werden die Rohblöcke entweder mittels Gattersägen, Taglia-Blocchi-Sägen oder Blockseilsägen in Scheiben segmentiert. In Gattersägen werden üblicherweise Gesteinstafeln ab 2 cm Stärke hergestellt. Diese sind das Vorprodukt für Fensterbänke, Treppen, Arbeitsplatten und Waschtische. Taglia-Blocchi-Sägen produzieren häufig das Vorprodukt für die Fliesen (von 8 mm bis 15 mm Stärke). Mittels Blockseilsägen oder Blockkreissägen werden ferner dickere Tranchen und Formstücke für Bildhauerarbeiten und Grabmale aus einem Block gesägt.

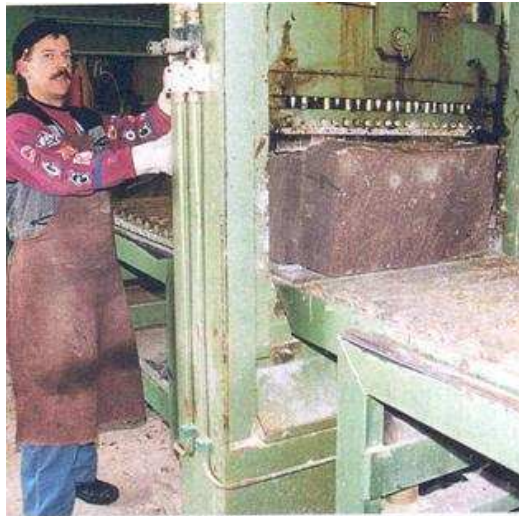


Abb. 15: Spalten von Naturwerkstein; Friedewalder Quarzsandstein

Naturwerkstein kommt normalerweise nicht mit "natürlicher" oder "bruchrauer" Oberfläche in den Handel, da heute fast alle Steine in den Brüchen maschinell gewonnen werden und entsprechend glatte Kanten und Oberflächen haben. In den meisten Fällen werden deshalb Produkte mit bearbeiteter Oberfläche hergestellt. Naturwerksteine werden in Polieranlagen geschliffen und poliert. Nicht jeder Stein ist mit jeder Oberflächenbearbeitung erhältlich. Manche Steine lassen sich nur schwer, gar nicht oder nicht wirtschaftlich polieren. Eine polierte Oberfläche ist nicht ausreichend rutschfest für Fußböden und daher in öffentlich zugänglichen Bereich nicht zulässig; sie sollte auch im privaten Bereich auf nicht überdachten Terrassen und Eingangspodesten keine Verwendung finden. Geeignet sind hier geschliffene, geflammte oder gestrahlte Oberflächen. Dunkle Steine verlieren jedoch bei diesen Oberflächenbearbeitungen eventuell ihren optischen Reiz. Mittels chemotechnischer oder physikalischer Laser-Verfahren können polierte Oberfläche rutschfester gemacht werden.

6.2.2 Produkte und Verwendung

Die Verwendung von Naturwerksteinen ist sehr vielseitig. Sie dienen als Pflastersteine im Straßenbau, als Block- und Bruchsteine im Mauerbau, als Platten unterschiedlicher Dicke und Form für Außen- wie Innenfassaden (Abb. 16), für Fensterbänke und Treppenanlagen und als Fliesen für Fußböden oder Kaminverkleidungen. Naturwerksteine sind als Grabmal- und Skulpturrohstoff kaum zu ersetzen. Im Garten- und Landschaftsbau werden zunehmend Naturwerksteine nachgefragt. Zur Dachdeckung werden sie dagegen heute nur noch regional verwendet.

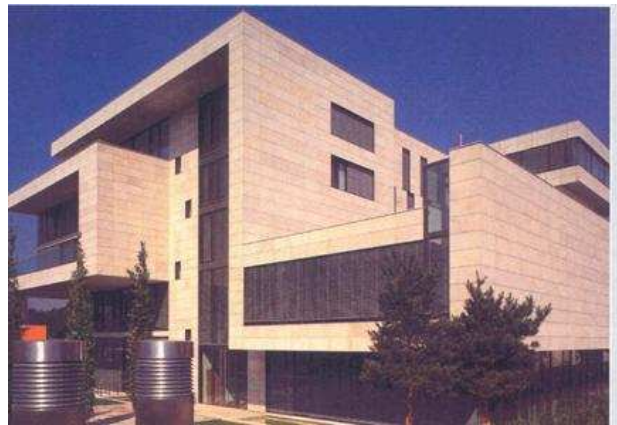


Abb. 16: Außenfassade der hessischen Landesvertretung in Berlin:
Friedewalder Quarzsandstein

7. Vorräte und Rohstoffsicherung

7.1. Vorräte

Die geologischen Vorräte in ausgewiesenen Rohstoffsicherungsflächen der Regionalpläne sind beträchtlich, aber nicht bezifferbar. Aussagen zur Vorratslage einzelner Hartgesteinsgruppen werden, soweit möglich, in *Kapitel 12* gemacht. Eine Differenzierung der Vorräte nach gebrochenem Naturstein und Naturwerkstein ist weder möglich noch sinnvoll, da die jeweilige Verwendung von verschiedenen Faktoren der Lagerstätte und der wirtschaftlichen Nachfrage abhängig ist. Unter der Voraussetzung künftiger vollständiger Nutzbarkeit der Flächen ist die langfristige Verfügbarkeit an Hartgesteine in Hessen insgesamt als sicher anzusehen. Wegen der heterogenen Verteilung der Hartgesteine sind aber regionale Versorgungsengpässe nicht auszuschließen.

7.2. Rohstoffsicherung

Derzeit (Stand Dezember 2005) werden in der Karte Rohstoffsicherung (KRS) des HLUG 470 Rohstoffsicherungsgebiete für Hartgesteine d. h. Natur- und Naturwerksteine - entsprechend 1,05% der Fläche Hessens - geführt. 171 Flächen davon sind als **Gebiete für den Abbau oberflächenna-**

her Lagerstätten (0,14%) und 299 Flächen als **Gebiete oberflächennaher Lagerstätten** (0,91%) dargestellt. Letztere sind sowohl im Falle einer Überplanung als auch im Falle einer Angrenzung von Natura 2000-Gebieten in die Regionalpläne aufzunehmen. Angesichts der nicht zu erwartenden wesentlichen Beeinträchtigungen der Flächen durch den Rohstoffabbau müssen beide Ziele in der Raumordnungsplanung erhalten bleiben.

7.2.1. NATURA 2000-Flächen

Die Hartgesteine Hessens sind besonders stark von Gebietsvorschlägen der Natura 2000-Flächen (FFH- und Vogelschutzgebiete) betroffen, da sie, je nach Gesteinstyp, über ihre spezifische Reliefbildung, Verwitterungs- und Bodenbildungseigenschaften die Mittelgebirgslandschaften des Landes und ihre biologische Vielfalt maßgeblich prägen. Ein Teil dieser Flächen ist bereits als Naturschutzgebiet ausgewiesen oder vorläufig gemeldet. Hessens Naturstein-Industrie basiert zu einem erheblichen Teil auf basaltischen Gesteinen. Deshalb ist es für die Rohstoffsicherung umso bedenklicher, dass gerade Reservegebiete („Bereiche oberflächennaher Lagerstätten“) dieser Hartgesteinsgruppe massiv von FFH- und Vogelschutz-Gebietsvorschlägen tangiert ist. Praktisch jeder geologische Strukturraum, in denen diese Gesteine vorkommen, ist von NATURA 2000-Flächen betroffen. Auch wenn in Teilbereichen derzeit ausgewiesene Bereiche oberflächennaher Lagerstätten ausgespart werden, sind doch weitere Lagerstättenpotenziale durch NATURA 2000-Flächen z.T. großflächig überlagert. Es muss auch in der Zukunft möglich sein, als Lagerstätte qualifizierte Potenzialflächen in der Regionalplanung auszuweisen. In der Regel führt der Rohstoffabbau nicht zu einer erheblichen Beeinträchtigung des geschützten Gebietes. Im einzelnen sind die folgenden Regionen betroffen:

- der Habichtswald nordwestlich Kassel,
- Hoher Meißner,
- Knüllgebirge südlich von Homberg/Efze,
- die Rhön, insbesondere der Hohe Rhön und nördlich angrenzend Gebiete östlich Hünfeld an der Landesgrenze zu Bayern und Thüringen,
- großflächige Gebiete im Vogelsberg, insbesondere im Bereich des Hohen Vogelsberges aber auch randlich z.B. bei Nidda und im Raum Gießen,
- die südöstlich des Vogelsberg gelegenen Vulkangebiete des Alsberger Plateaus östlich Salmünster sowie des Landrückens und von Hohenzell,
- der Westerwald südwestlich Herborn.

Des weiteren sind Rohstoffsicherungsgebiete und Potenzialflächen von Metabasalten im Lahn- und Dillgebiet, Gabbro, Granodiorit, Sandsteinen (mit Naturwerksteinqualität) und weitere Hartgesteine im Odenwald, Quarzite im Taunus und Grauwacken nördlich Frankenberg von NATURA 2000-Flächen betroffen.

Auch einzelne Abbaugelände, die in den Regionalplänen als „Bereiche für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten“ ausgewiesen sind, kollidieren mit NATURA 2000-Flächen. Dies ist den Betreibern schwer vermittelbar, da teils erst durch den Abbau von Hartgesteinen Felswände geschaffen werden, die z.B. seltenen Vogelarten zur Heimat geworden sind. Im Odenwald ist die Ausweisung von Vogelschutzgebieten nur aufgrund der Abbautätigkeit möglich gewesen, da Felsbiotope hier von Natur aus selten sind. Ein vielversprechender Lösungsansatz für Konflikte mit dem Naturschutz ist der Vertragsnaturschutz.

7.2.1.1. Vertragsnaturschutz

Gemeinsam mit der Natursteinindustrie Hessen und Thüringen e. V. hat Staatssekretär Karl-Winfried Seif für das Hessische Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz im Rahmen des 2. Rohstofftages Hessen am 22. September 2005 in Wiesbaden eine Mustervereinbarung über den Schutz des Uhus und des Wanderfalken bei laufendem Steinbruchbetrieb unterzeichnet.

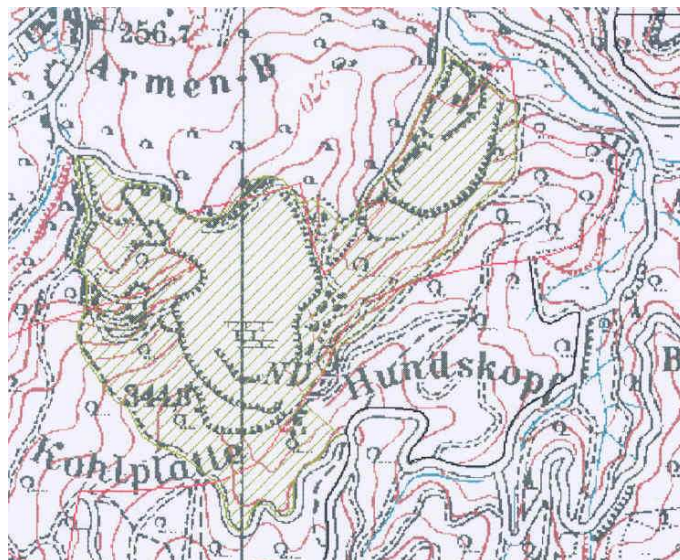


Abb. 17: Vogelschutzgebiet (grüne Schraffurfläche) im Bereich von zwei Granodiorit-Steinbrüchen einschließlich seiner möglichen Erweiterungsflächen bei Heppenheim-Sonderbach im Odenwald.

Hintergrund dieser Erklärung war die Tatsache, dass zahlreiche Steinbrüche als Vogelschutzgebiete ausgewiesen wurden, da ihre Steilwände als Brutgebiete für den Uhu und den Wanderfalken dienen. Gerade der Uhu war vor knapp 60 Jahren fast ausgestorben und hat sich nur aufgrund der zahlreichen Steinbrüche wieder angesiedelt. Es liegt nahe, dass sich der Uhu keine Brutstätte aussucht, bei der er sich gestört fühlt und so kann auch nachgewiesen werden, dass der Uhu mit einem laufenden Steinbruchbetrieb keine „Probleme“ hat. Er fühlt sich weder durch die Fahrzeuge, die Bre-

cheranlagen noch durch Sprengungen gestört. Auch Sprengungen bis zu einer Entfernung von 50 m zu seinem Horst veranlassen ihn nicht aufzufliegen.

Diese Beobachtungen, die auch durch die Vogelschutzwarte bestätigt werden konnten, führten zu der Vereinbarung. Die Firmen, die hiervon Gebrauch machen, arbeiten mit den für sie zuständigen Vogelschutzbeauftragten zusammen. Die Vogelschutzbeauftragten dürfen nach Anmeldung das Steinbruchgelände betreten und haben so nicht nur Beobachtungsmöglichkeiten, sondern auch die Gelegenheit, die Jungvögel zu beringern. Im Gegenzug kann der Steinbruchbetrieb unbeeinträchtigt weiterlaufen und selbst wenn die Brutwand des Uhus für einen weiteren Abbau in Anspruch genommen werden muss, kann auch in einem derartigen Fall gemeinsam mit dem Vogelschutzbeauftragten eine Lösung gefunden werden.

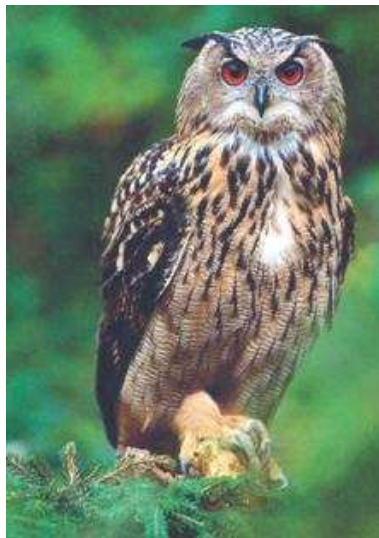


Abb. 18: Uhu

7.2.2. Grundwasserschutz

Die Konkurrenzsituation zum Grundwasserschutz ist wesentlich entspannter als zu den NATURA 2000-Flächen.

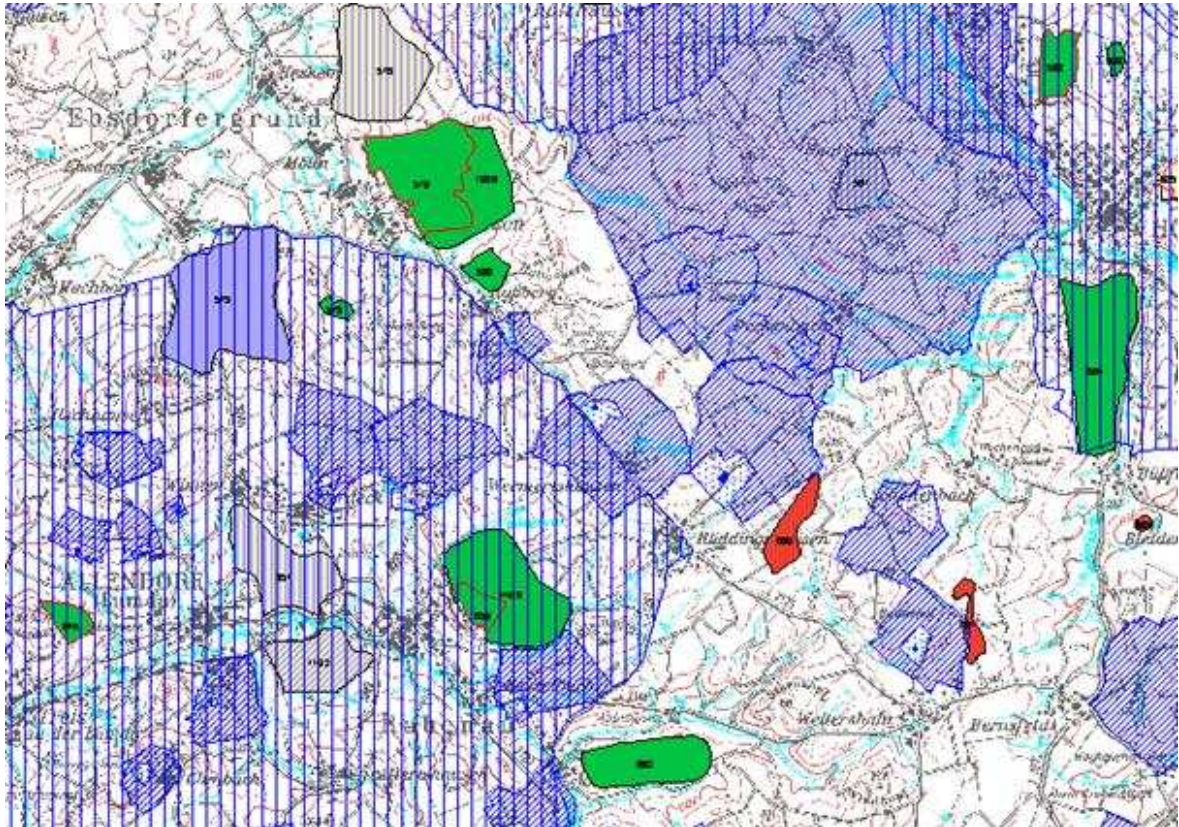


Abb. 19: Nordwestlicher Vogelsberg bei Allendorf. Rohstoffsicherungsflächen von Basalten (grüne Flächen) sind teilweise von großräumigen Trinkwasserschutzgebieten (blaue Schraffurflächen) überlagert.

Die bisher ausgewiesenen Bereiche oberflächennaher Lagerstätten liegen nicht innerhalb ausgewiesener Trinkwasserschutzgebiete der Zonen I und II. Gleichwohl sind zahlreiche Rohstoffsicherungsflächen und Lagerstättenpotentiale von Trinkwasserschutzgebieten der Zonen III, IIIA und IIIB betroffen. Hauptregionen sind wiederum der Vogelsberg (Abb. 19), das südliche Knüllgebirge, der Habichtswald, der Taunuskamm, Teile des Westerwaldes, das Lahn- und Dillgebiet, der Odenwald sowie die Region der Wesersandsteine südlich Karlshafen. Heilquellenschutzgebiete sind insbesondere im Taunus und im Vogelsberg bei Rohstoffsicherung zu berücksichtigen.

Trinkwasserschutzgebiete der Zonen III, IIIA und IIIB können sowohl starken Einfluss auf Art und Weise der Lagerstättennutzung (eingeschränkte Flächennutzung, Abbautiefe etc.) als auch auf Verfüllung und Folgenutzung haben. Selbst Steinbrüche, die nicht in einem Grundwasserschutzgebiet liegen oder lediglich an dieses angrenzen, müssen mitunter Auflagen des Grundwasserschutzes erfüllen, die der Lagerstättennutzung Grenzen setzen. Dies gilt auch für die Folgenutzung; z.B. bei der Schaffung eines Gewässers im Steinbruchgelände.

7.2.2.1. Verfüllung

Es gibt Befürchtungen sowohl von Seiten der Steine und Erden Industrie als auch der Verwaltung, dass aufgrund der aktuellen Auflagen für eine Steinbruchsverfüllung Abbauvorhaben bereits in der Planungsphase scheitern, da zukünftig nicht ausreichend qualitativ geeignetes Material zur Wiederverfüllung/-Rekultivierung der Abbauflächen zur Verfügung stehen könnte. Dies würde sicher Auswirkungen auf die zukünftige Ausweisung von Rohstoffsicherungsgebieten haben. Im sog. Lonning-Urteil („Tongrubenurteil“) wird festgestellt, dass ausschließlich die Werte der Bundesbodenschutzverordnung für die Beurteilung von Verfüllmaterial im Rahmen einer stofflichen Verwertung herangezogen werden können. Da die in der *Gemeinsamen Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen* [7] festgelegten Werte an der Bundesbodenschutzverordnung orientiert sind, bedeutet dies für die betroffenen Unternehmen und Vollzugsbehörden, dass diese Richtlinie in der am 9. September 2002 veröffentlichten Fassung auch weiterhin angewandt werden kann. Auf die im Rahmen der Betriebsplanverfahren vorzunehmenden Einzelfallprüfungen wird ausdrücklich hingewiesen. Die begonnene Fortschreibung der Richtlinie wurde bisher zurückgestellt weil innerhalb der LAGA entschieden wurde, dass die *Technischen Regeln LAGA M 20* nicht fortgeschrieben werden. Einige Bundesländer haben im Rahmen der Umweltministerkonferenz am 4./5. November 2004 daraufhin den Bund gebeten, zeitnah eine Verordnung zur Verwertung von Abfällen zu erarbeiten, in der die stoffliche Verwertung von Bodenaushub, Bauschutt, Schlacken und Aschen sowie von sonstigen mineralischen Abfällen allgemeingültig und rechtsverbindlich geregelt wird. Insofern muss die weitere Entwicklung auf Bundesebene zunächst abgewartet werden.

7.2.3. Forstschutz

Von Forstschutzflächen sind nur wenige Hartgesteins-Rohstoffsicherungsflächen betroffen. Im Odenwald sind es Gabbro- und Granodiorit-Lagerstätten (Abb. 20). Im Taunus werden einige Taunusquarzit-Potenziale großflächig überlagert. Ausgewiesen sind sowohl Schutz- als auch Bannwälder.

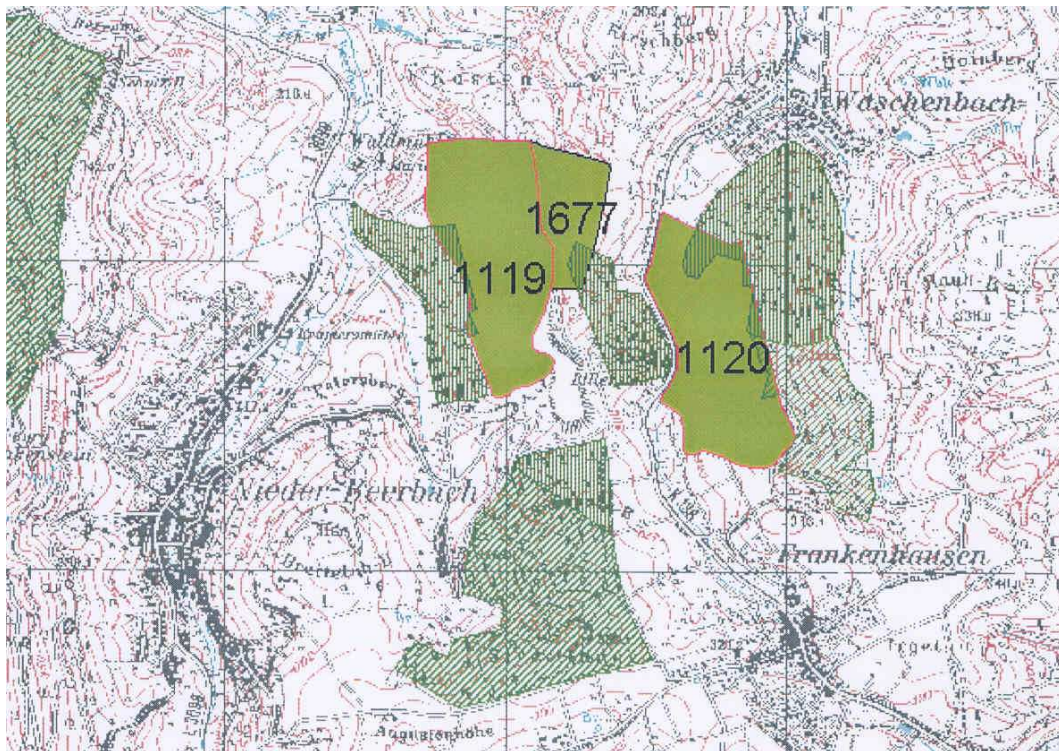


Abb. 20: Forstschutzflächen, ausgewiesene Bannwälder (grüne senkrechte Schraffur), ausgewiesene Schutzwälder (grüne Schrägschraffur) in oder randlich von Gabbro-Lagerstätten bei Mühltal-Nieder-Beerbach.

7.2.4 Windkraftanlagen

Hartgesteine kommen als Reliefbildner häufig an windexponierten Standorten vor. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sie teilweise für die Ausweisung von Flächen für Windkraftanlagen von großem Interesse sind. Der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energierohstoffen hat jedoch in den letzten Jahren vereinzelt zu Konflikten mit der Rohstoffsicherung geführt. Es ist Aufgabe der Regionalplanung, diese Konflikte im Rahmen der raumordnerischen Abwägung, d.h. regelmäßig im Zuge der Neuaufstellung der Regionalpläne und unabhängig davon anlassbezogen im Rahmen von Abweichungsverfahren, einer Lösung zuzuführen. Eine derartige Lösung könnte insbesondere darin bestehen, dass beim Wegfall einer Festlegung für die Windenergienutzung geprüft wird, diese Fläche für einen zukünftigen Rohstoffabbau zur Verfügung zu stellen.



Abb. 21: Windkraftanlagen am Rande eines Basalt-Tagebaus südöstlich Kassel bei Söhrewald-Wattenbach.

8. Transportlage

Die Transportlage ist sehr heterogen und wird bei den einzelnen Gesteinsgruppen in *Kapitel 12* näher ausgeführt.

9. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Für die langfristige Versorgung der hessischen Wirtschaft mit heimischen mineralischen Rohstoffen besitzen Natursteine eine herausragende Bedeutung. Aufgrund ihrer dezentralen Verbreitung sind sie in vielen Regionen des Landes verbrauchernah verfügbar, was im Hinblick auf die Transportkostenempfindlichkeit dieser Massenrohstoffe von Vorteil ist. Die Stoffströme sind überwiegend regional. Einzelne Hartgesteine oder veredelte Produkte haben überregionale bis bundesweite Bedeutung. In *Kapitel 12* wird hierauf näher eingegangen.

10. Folgenutzung

Die Folgenutzungen abgebauter Steinbrüche sind sehr unterschiedlich. Einige Gewinnungsstellen werden verfüllt und entsprechend der Vornutzung genutzt, z.B. wieder aufgeforstet oder landwirtschaftlich. Andere bleiben offen oder werden dem Landschaftsbild durch Teilverfüllung und anschließende Geländemodellierung angepasst und dienen dem Natur- und Landschaftsschutz und/oder der Naherholung.

Die Grundwasser- und Verfüllproblematik (siehe Kapitel 7.2.) birgt aber zunehmend die Gefahr, dass Abbauvorhaben aufgrund der sich abzeichnenden Auflagen zur Folgenutzung gar nicht erst in Planung gehen, geschweige denn umgesetzt werden. Ähnlich problematisch können Auflagen zur Folgenutzung Naturschutz sein. Der Erhalt beispielsweise von Steilwänden für Felsenbrüter oder

von Feuchtbiotopen im genehmigten Abbaubereich reduziert mitunter nicht nur den abbaubaren Lagerstättenvorrat oder hat negativen und kostspieligen Einfluss auf die Abbau- und Betriebsführung, sondern zieht Schutz- und Pflegemaßnahmen nach der Abbauphase nach sich.



Abb. 22: Renaturierter Steinbruch. Foto: Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG.

11. Substitution und Recycling

Im Lichte einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft stellt sich die Frage, inwieweit Natur- und Naturwerksteine durch steigende Substitutions- bzw. Recyclingquoten anderer Materialien sowie Innovationen und Steigerung der Materialproduktivität ersetzt bzw. eingespart werden können.

Die Aufbereitung und Verwertung gebrauchter mineralischer Baustoffe zu Recyclingbaustoffen hat sich in den vergangenen 20 Jahren zu einem technisch hoch entwickelten und ökologisch verantwortlichen Weg entwickelt. So wird ein maßgeblicher Beitrag zur Schonung der Beseitigungskapazitäten (Deponien) einerseits und der natürlichen Ressourcen an mineralischen Rohstoffen andererseits geleistet.

Die Verwertungsmöglichkeiten von Recyclingbaustoffen wird wesentlich durch die Verfahrensweise des Abbruchs bzw. Rückbaus an der Abbruchbaustelle, durch die Möglichkeiten zur Getrennthaltung und anschließender kontrollierter Zusammenführung der Baureststoffe und letztendlich durch die Aufbereitungstechnologie der jeweiligen Recyclinganlage bestimmt. Unproblematisch ist die Situation beim Asphalt. Dieser wird als Fräsasphalt oder Ausbauasphalt inzwischen zu 100% wiederverwertet und schätzungsweise zu 80% in dem Ausgangsprodukt. Bei Abbrucharbeiten im Hoch- und Tiefbau anfallender Beton findet sowohl im Gemisch mit anderen mineralischen Baureststoffen als auch sortenrein als Betonbruch Verwendung in der Recyclingindustrie. Beton besteht zu ca. 80 % aus Zuschlägen, überwiegend natürlichem Sand und Kies oder Naturstein. Da diese Zuschläge beim Produktionsprozess weder chemisch umgewandelt noch in ihren physikalischen Eigenschaften (Frostbeständigkeit, Festigkeit usw.) wesentlich verändert werden, sind sie in

besonderer Weise geeignet, mehrfach verwendet zu werden. Durch unterschiedliche Qualitäten des Abbruchbetons wie Anhaftungen und Verunreinigungen sowie Schwankungen in den Beschaffenheiten (z. B. Wasseraufnahme) führen allerdings häufig dazu, dass eine wirtschaftliche Wiederverwendung in Beton nicht mehr möglich ist und der Verwertung als Mineralgemisch für ungebundene oder gebundene Schichten im Erd- und Straßenbau der Vorzug zu geben ist. Betonrückstände, die im Rahmen der Produktion anfallen, werden in der Regel vollständig wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt, so dass heute die Betonproduktion in der Regel völlig rückstandsfrei erfolgt.

Recyclingbaustoffe müssen wie jeder andere Baustoff auch die einsatzspezifischen Anforderungen einhalten, um beim Bau verwendet werden zu können. Die wesentlichen Anforderungen an Baustoffe, seien es Recycling- oder Primärbaustoffe, ergeben sich aus ihrem Zweck, mit wirtschaftlichem Aufwand standfeste, sichere und ausreichend dauerhafte Bauwerke zu errichten. Darüber haben sie die technischen Anforderungen des Bauproduktgesetzes zu erfüllen.

Da nicht jeder Baustoff für jeden Anwendungszweck gleich gut geeignet ist, begrenzen sowohl die baustofftechnischen Eigenschaften der Recyclingbaustoffe einerseits als auch die bautechnischen Anforderungen der Bauvorhaben andererseits die Einsatzmöglichkeiten von Recyclingbaustoffen in technischer Hinsicht. Insbesondere hochwertige Anwendungsgebiete außerhalb traditioneller Einsatzgebiete wie dem Straßen- und Tiefbau sind nach wie vor weitgehend Primärrohstoffen vorbehalten.

Zudem sind die Produzenten stetig bemüht, neue Einsatzgebiete zu erschließen. So haben Recyclingbaustoffe zum Beispiel nun auch normativ im Sektor der Recycling-Betonproduktion Eingang gefunden. Bisherige Betonnormen sind durch entsprechende Ergänzungen überarbeitet worden, um die Einsatzmöglichkeiten von Recyclingbaustoffen im Betonbau auf soliden technischen Grundlagen zu erweitern. Ferner sind neue europäische Normen mit der Konsequenz anzuwenden, dass auch sekundäre Gesteinskörnungen in den technischen Liefer- und Prüfbestimmungen gleichwertig mit Primärrohstoffen vertreten sind.

Mit dieser Anerkennung der Verwendbarkeit von bestimmten Recyclingbaustoffen im Bereich der Betonherstellung wird die Bedeutung der Recycling-Baustoffe zweifellos erheblich aufgewertet. Es ist allerdings anzumerken, dass sich dadurch gegenüber den bisherigen Verwertungsmöglichkeiten bislang keine neuen oder weitergehenden Anwendungsbereiche ergeben haben. Verantwortlich hierfür sind vermutlich Gründe, die im Zusammenspiel mit dem erhöhten Aufwand für die Produktion und die Überwachung der Recyclingbaustoffe vor dem Hintergrund der derzeitigen Baukonjunktur einem wirtschaftlichen Einsatz entgegenstehen.

Die Gesamtmenge an Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle in Deutschland betrug in Deutschland im Jahre 2000 nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau

(ARGE KWTB), ein Zusammenschluss der am Bau beteiligten Wirtschaftszweige und Verbände der Bundesrepublik, 88,6 Mio. t (54,5 Mio. t Bauschutt, 22,3 Mio. t Straßenaufbruch und 11,8 Mio. t Baustellenabfälle).

Dem 3. Monitoring-Bericht der ARGE KWTB aus dem Jahr 2003 zufolge wurden im Jahre 2000 von den in der Bundesrepublik angefallenen Baurestmassen von in Summe 88,6 Mio. t (Bauschutt, Straßenaufbruch sowie Baustellenabfälle) 61,4 Mio. t in stationären und mobilen Recyclinganlagen recycelt, was einer Recyclingquote ca. 70 % (ohne Bodenaushub) entspricht. Dies entspricht einer Substitutionsquote von mineralischen Massenbaustoffen von ca. 10 %, was im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft nicht nur Abbau- sondern auch Deponievolumen einspart.

Mit der so genannten „Recyclingquote“ wird der Anteil der verwerteten Mengen am Aufkommen der Baureststoffe umschrieben, die „Substitutionsquote“ umschreibt den Umfang, in dem Recyclingbaustoffe primäre mineralische Baustoffe ersetzen.

Zurzeit ist eine deutliche Minderung des Aufkommens an Baureststoffen infolge der anhaltend rückläufigen konjunkturellen Entwicklung der Bauwirtschaft um ca. 20 % im Vergleich zu den Mengen aus dem Jahr 2000 festzustellen. Darüber, wie sich die Baurestoffmengen in Zukunft entwickeln werden, bestehen unterschiedliche Vorstellungen. Die vorhandenen Prognosen gehen sehr weit auseinander. Gründe hierfür sind insbesondere unterschiedliche Annahmen über die zukünftige Bau- und Abrisstätigkeit sowie die Unabwägbarkeiten der zu prognostizierenden Wirtschafts- und demografischen Entwicklung.

Zwar liegt die Recyclingquote von Baurestmassen noch deutlich <100 %, so dass rein theoretisch noch ungenutztes Recyclingpotential vorhanden wäre (z. B. beim Bauschutt ca. 4,2 Mio. t deponierte Mengen pro Jahr). Realistisch lässt sich dies jedoch nicht erreichen. Allein aus logistischer und wirtschaftlicher Betrachtung ist die Ausweitung von Recyclingaktivitäten, z. B. in ländlichen Regionen, aufgrund der meist weiteren Transportwege, kaum möglich.

Für die Zukunft erwartet die ARGE KWTB, dass bei unveränderten Entwicklungen in Bezug auf weitere Verschärfungen umweltspezifischer Verwertungskriterien sogar deutlich weniger mineralische Baureststoffe aufbereitet und verwertet werden können. Die Verwertungsquote bezogen auf die Gesamtmenge an Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle könnte dann von etwa 70 % (Wert aus dem Jahr 2000) auf bis zu 40 % absinken. Der Rest müsste dann zusätzlich deponiert werden.

Die zurzeit nicht sehr optimistischen baukonjunkturellen Aussichten einerseits und die anhaltende Tendenz steigender Restriktionen infolge sich weiter verschärfender Grundwasser- und Bodenschutzanforderungen andererseits, sprechen gegen eine weitere Erhöhung der Substitutionsquote. Aktuelle Zahlen verdeutlichen, dass die Substitutionsquote von primären Massenbaustoffen durch Recyclingbaustoffe von vormals knapp 10 % derzeit rückläufig ist.

Nach Auffassung der Bauschuttrecyclingindustrie ist daher auch mittel- bis langfristig davon auszugehen, dass – trotz erheblicher Anstrengungen – der Anteil an recycelten Ausgangsstoffen 10 % des Rohstoffbedarfs nicht übersteigen wird.

11.1. Natursteine

Gebrochener Naturstein konkurriert in der Betonindustrie als Gesteinskörnung mit Sanden und Kiesen (Tab. 8). In Hessen werden gebrochene Natursteine bis zu 30 % als Gesteinskörnungen für Beton eingesetzt. Immer dann, wenn eckig-scharfe Gesteinskörnungen möglich oder erwünscht sind haben Natursteine gegenüber Sanden und Kiesen Vorteile.

Tab. 8: Natürliche und künstliche Gesteinskörnungen und ihre Grenzwerte der Kornroh-dichte [8].

Art	natürliche Gesteinskörnungen		Künstliche Gesteinskörnungen	Grenzwerte der Kornroh-dichte nach DIN 4226 [kg/dm ³]
	natürlich gekörnt	mechanisch gekörnt		
schwere Gesteinskörnung	Baryt (Schwerspat), Magnetit	Baryt, Magnetit, Roteisenstein, Ilmenit, Hämatit	Stahlgranalien, Ferrosilicium, Schwermetallschlacke, Strahlsand, Ferrophosphor	≥ 3,0
normale Gesteinskörnung	Flusssand, Flusskies, Grubensand, Grubenkies, Moränensand, Moränenkies, Dünen sand	Brechsand, Splitt und Schotter aus Kies und geeigneten Fels-gesteinen	Hochofenschlacke, Metallhütenschlacke, Klinkerbruch, Sintersplitt, Hartstoffe wie künstl. Korund und Silicium-Karbid	≥ 2,0 ... < 3,0
leichte Gesteinskörnung	Bims, Lavakies, Lavasand	gebrochener Bims	Blähschiefer, Blähton, Ziegelsplitt	0,4 2,0
recycelte Gesteinskörnung			Betonsplitt, Betonbrechsand, Bauwerksplitt, Bauwerksbrechsand	≥ 2,0
			Mauerwerksplitt, Mauerwerkbrechsand	≥ 1,8
			Mischsplitt, Mischbrechsand	≥ 1,5

Häufig sind jedoch Naturstein sowie Sand und Kies räumlich nicht gemeinsam verfügbar und ein Ersatz durch Sande und Kiese unter Berücksichtigung der Transportkostenempfindlichkeit von Massenrohstoffen betriebswirtschaftlich wie ökologisch nicht zu rechtfertigen.

Unter Einhaltung der jeweiligen Qualitätsanforderungen sind Natursteinarten untereinander austauschbar. Diese Möglichkeit wird jedoch aufgrund der Transportkostenempfindlichkeit von Schotter und Splitt nur auf regionaler Ebene genutzt. Weiterveredelte Naturstein-Produkte werden dagegen z.T. über weitere Strecken transportiert.

11.2. Naturwerksteine

Naturwerksteine sind in der Regel aufgrund ihrer Farbe und Musterung ein Unikat, d.h. sie lassen sich nicht durch andere Hartgesteine ersetzen. Dies gilt insbesondere für Restaurationsarbeiten an historischen Gebäuden. Hier kommen nur die in der lokalen bis regionalen Umgebung vorkommenden Hartgesteine als Naturwerksteine in Frage. Jedoch könnten in Zukunft industriell gefertigte Gesteine diese Vormachtstellung relativieren. Aus unterschiedlich fein gebrochenem und gemahltem Naturstein werden heute industrielle Kunststeine erzeugt, die Naturwerksteinen in Farbe sowie Musterung verblüffend ähnlich sehen und eine preiswerte Alternative zu diesen darstellen.

12. Vorkommen von Natur- und Naturwerksteinen in Hessen

Nachfolgend werden die Natursteine Hessens näher charakterisiert und ihre Verwendung einschließlich der Eignung als Naturwerksteine beschrieben. Karbonatgesteine (Kalk-, Dolomit- und Mergelsteine) werden in einem eigenen Fachbericht behandelt, so dass hier nur auf Karbonatgesteine mit Naturwerksteineignung eingegangen wird.

12.1. Basaltische Vulkanite

12.1.1. Lage

Basaltische Gesteine kommen in Hessen flächendeckend im Vulkanischen Vogelsberg vor, dem mit ca. 2 500 km² größten zusammenhängenden Vulkangebiet Europas. Auch die Vorkommen in den umliegenden Tertiärsenken (z.B. Wetterauer Tertiärsenke, Amöneburg-Neustadt-Erksdorfer Becken) sind mit dem Vogelsberg-Vulkanismus assoziiert. Ferner kommen basaltische Vulkanite im Westerwald, in der Rhön, der Niederhessischen Senke (inkl. Habichtswald und Knüll-Gebirge) und der Meißner-Region vor. Isolierte Basaltvorkommen treten auf dem Sprendlinger Horst und in Osthessen auf.

12.1.2. Untersuchungsstand

Der Untersuchungsstand der basaltischen Vulkanite ist je nach Verbreitungsgebiet (s.o.) unterschiedlich:

Die basaltischen Vulkanite des **Vogelsberges** und der **Rhön** sind durch die amtlichen geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 (GK 25) fast flächendeckend kartiert, z.T. durch moderne Kartierungen mit umfangreichen Erläuterungsbänden (z.B. [9] - [11]), z.T. aber auch durch ältere Kartierungen aus den 1920er und 1930er Jahren. Für die Wasserkuppenrhön gibt es zudem eine moderne Spezialkarte mit Begleitheft [12]. Teilweise liegen petrologische und geochemische Analysen vor. Die geologische Literatur ist insbesondere zu den Vogelsberg-Vulkaniten sehr umfangreich (z.B. [13] - [17]).

Für den hessischen Anteil des **Westerwaldes** und die **Niederhessische Tertiärsenke** stammen die amtlichen geologischen Karten überwiegend aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Geologische Literatur und vorliegende petrologisch-geochemische Gesteinsanalysen sind weniger umfangreich als für den Vogelsberg und befassen sich beim Westerwald zudem überwiegend mit dessen rheinland-pfälzischem Anteil (z.B. [18], [19]). Für die Niederhessische Tertiärsenke liegt recht umfangreiche moderne geologische und geochemische Literatur über die einzelnen Vulkanitvorkommen vor (z.B. [20], [21]).

Einen modernen Überblick über hessische Vulkanite und deren Eignung als Naturwerksteine gibt [22]. Ansonsten fehlen jedoch speziell lagerstättenkundlich orientierte Arbeiten und Auswertungen

zu den hessischen Vulkanitvorkommen weitgehend. Hier besteht für die nächsten Jahre Handlungsbedarf, um die rohstoffgeologische Datengrundlage zu verbessern.

12.1.3. Geologie und Mineralogie

Basaltische Vulkanite sind dunkelgraue bis schwarze, dichte bis feinkörnige, basische bis intermediäre Gesteine, die aus an der Erdoberfläche ausgeflossener oder oberflächennah erkalteter, erstarrter Gesteinsschmelze (Lava) entstanden sind. „Basalte“ im weiteren Sinn sind definiert als Vulkanite mit SiO_2 -Gehalten von < 56 Gew.-%, Al_2O_3 -Gehalten zwischen 10,5 und 22,5 % sowie Na_2O -Gehalten von $< 5,5$ % („Basaltsieb“ nach MANSON, zit. n. [23]). Hauptminerale der feinkörnigen Grundmasse basaltischer Vulkanite sind Na-Ca-Feldspäte (Plagioklase), Pyroxene (Klinopyroxene, meist Augit, dazu z.T. auch Orthopyroxene), Olivin und Fe-Ti-Oxide, dazu je nach Basalttyp (s.u.) auch Quarz oder Feldspatvertreter (sog. Foide, meist Nephelin). Diese Minerale der Grundmasse sind aufgrund ihrer Feinkörnigkeit makroskopisch nicht bestimmbar. Als größere Minerale (Einsprenglinge) treten in den meisten basaltischen Vulkaniten Olivin auf, oft auch Pyroxene, z.T. Plagioklase oder Amphibole. Die Einteilung basaltischer Vulkanite in verschiedene Typen beruht auf mineralogischen und geochemischen Kriterien (s. z.B. [23] – [25]: Streckeisen-Diagramm, TAS-Diagramm, Basalt-Tetraeder u.a.) und ist makroskopisch i.d.R. nicht oder nur vorläufig möglich.

In Hessen verbreitete Hauptgruppen basaltischer Vulkanite sind Tholeiitische Basalte, Olivinbasalte, Alkalibasalte, Basanite und Olivin-Nephelinite (s. Abb. 23 und Tab. 9).

- **Tholeiitische Basalte** (früher auch „Feldspatbasalte“ genannt) sind SiO_2 -gesättigt und enthalten als Hauptminerale in der feinkörnigen, z.T. glasigen Grundmasse Ca-reichen Plagioklas und Ca-reichen Klinopyroxen. Als größere Minerale, sog. Einsprenglinge, können Ca-reicher Plagioklas und zwei bis drei Pyroxentypen auftreten (Ca-reicher und Ca-ärmerer Klinopyroxen, evtl. Orthopyroxen), dazu Olivin und Erzminerale. Geochemisch entspricht die Zusammensetzung tholeiitischer Basalte aufgrund des SiO_2 -Gehalts von 52–53 % und geringer Alkalien-Gehalte von < 5 % derjenigen von basaltischen Andesiten (s. Abb. 23). Der Übergang zu den etwas basischeren (SiO_2 -ärmeren) **Olivinbasalten** ist fließend und makroskopisch sind diese beiden Basalttypen nicht sicher zu differenzieren. Olivinbasalte enthalten im Gegensatz zu den Tholeiitischen Basalten nur einen Pyroxentyp (Ca-reicher Klinopyroxen) und etwas mehr Olivin. Beide Basalttypen sind aus dünnflüssigen, relativ wasser- bzw. gasarmen Gesteinsschmelzen entstanden und bilden meist dünne, weitflächig verbreitete Lavadecken ohne Brekzienzonen (s.u.) und mit hohem Blasengehalt, insbesondere im Topbereich. Sie werden nur selten von assoziierten pyroklastischen Gesteinen begleitet.

- **Alkalibasalte**¹ sind mäßig SiO₂-untersättigt (45-48 % SiO₂) und enthalten daher keinen Quarz sowie bis zu 5 % Feldspatvertreter (i.d.R. Nephelin) in der Grundmasse. Hauptminerale sind ein Pyroxentyp (Ca-reicher Klinopyroxen), Olivin und Plagioklas, dazu Titanomagnetit und z.T. Zeolithe. Gelegentlich treten Mantelxenolithe („Olivinknollen“, s.u.) auf. Alkalibasaltische Gesteinsschmelzen sind im Vergleich zu tholeiitischen Schmelzen wasser- bzw. gasreicher und weniger dünnflüssig. Sie bilden daher mächtigere Lavaströme mit stark ausgeprägten Brekzienzonen (s.u.), auch kleinere Vulkankegel und Schlotfüllungen, und sind häufig von pyroklastischen Gesteinen begleitet. Blasen sind in Alkalibasalten i.d.R. relativ selten und klein.
- **Basanite** sind makroskopisch nicht von Alkalibasalten zu unterscheiden, sondern nur auf Grundlage einer geochemischen oder mineralogischen Analyse. Basanite zeichnen sich geochemisch durch einen geringeren SiO₂-Gehalt aus (41-45 %, d.h. stark SiO₂-untersättigt, ultrabasisch bis basisch). Ihre mineralogische Zusammensetzung ist derjenigen der Alkalibasalte ähnlich, Basanite enthalten jedoch mehr Olivin, weniger Plagioklas und mehr Feldspatvertreter (meist Nephelin), dazu z.T. Amphibole (Hornblende). Olivinärmere Basanite (< 10 % Olivin) werden Tephrite genannt. Basanite mit überwiegend glasiger Grundmasse werden als **Limburgite** bezeichnet, sie sind i.d.R. schwarz und besonders hart. Mantelxenolithe („Olivinknollen“) treten in Basaniten häufiger als in Alkalibasalten auf. Ansonsten entsprechen basanitische Schmelzen und ihre vulkanischen Produkte i.W. denjenigen der Alkalibasalte (s.d.).
- **Olivin-Nephelinite** sind durchschnittlich noch stärker SiO₂-untersättigt als Basanite und von diesen nur geochemisch-mineralogisch zu trennen. Olivin-Nephelinite enthalten keine Feldspäte. Der Feldspatvertreter Nephelin kommt in Gehalten von über 20 % vor, i.d.R. feinkörnig oder glasig in der Grundmasse, z.T. auch als Einsprenglinge. Auch Olivin-Nephelinite führen häufig Mantelxenolithe, und ihre Schmelzen und vulkanischen Produkte entsprechen i.W. denjenigen der Basanite.

¹ Die Bezeichnung „Alkalibasalte“ wird hier im Sinne von [24] für basaltische Vulkanite verwendet, die in Hessen bislang als „Alkaliolivinbasalte“ (nach [23]) bezeichnet wurden.

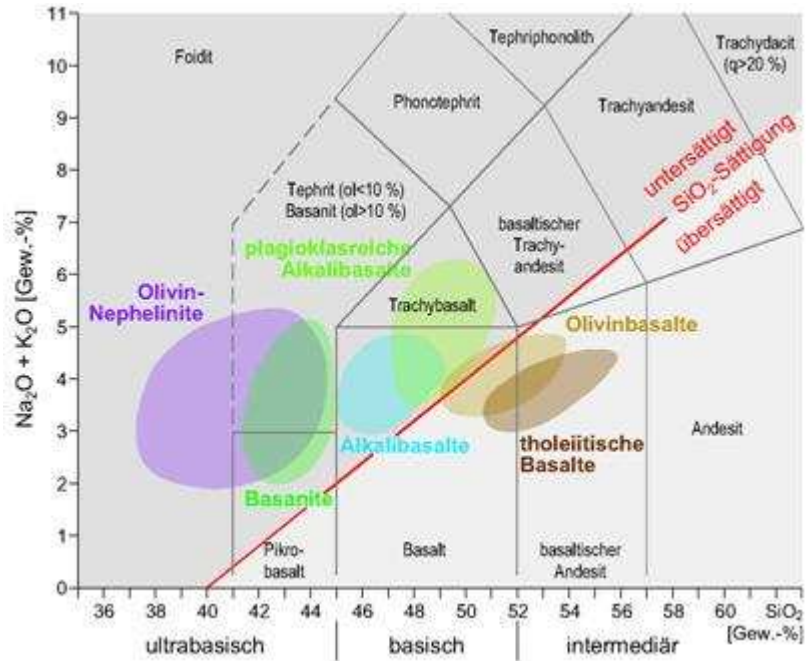


Abb. 23: Basaltische Vulkanite des Tertiärs in Hessen (TAS-Diagramm nach [24], modifiziert); vgl. auch Tab. 1. Potenziell sonnenbrandgefährdet sind SiO_2 -untersättigte Basalttypen (s.u.).

Im Vogelsberg, im Westerwald und in der Rhön kommen Trachyandesite kleinräumig vor. Sie spielen jedoch mengenmäßig im Natursteinabbau keine Rolle und werden daher im vorliegenden Fachbericht nicht gesondert behandelt.

Die Zusammensetzung und charakteristischen Merkmale der in Hessen verbreiteten Hauptgruppen basaltischer Gesteine sind in Tab. 9 angegeben.

Tab. 9: Zusammensetzung und Merkmale der in Hessen verbreiteten Hauptgruppen basaltischer Vulkanite (nach NESBOR mdl. Mitt., LEMAITRE 2002, VINX 2005, WEDEPOHL 1978, WIMMENAUER 1985: 192ff., 202ff.); G: in der Grundmasse, E: als Einsprenglinge (und in der Grundmasse); Cpx: Klinopyroxen, Opx: Orthopyroxen

	Tholeiitische Basalte (ThB) und Olivinbasalte (OB)	Alkalibasalte	Basanite, Tephrite	Olivin-Nephelinite
SiO ₂ -Sättigung bezogen auf Alkalien	gesättigt bis mäßig übersättigt	mäßig untersättigt	stark untersättigt	sehr stark untersättigt
SiO ₂	48-53 % (intermediär bis basisch)	45-48 % (basisch)	41-45 % (ultrabasisch bis basisch)	< 45 % (ultrabasisch)
Quarz	z.T.	nein	nein	nein
Olivin (überw. E)	<u>ThB</u> : nein oder gering; <u>OB</u> : ja (E, meist nur klein)	> 5 %	Basanite > 10 %, Tephrite < 10 %	ja
Feldspat	z.T. Plagioklas (E)	Plagioklas	gering (Plagioklas)	nein
Feldspatvertreter	nein	≤ 5 % Nephelin (G)	> 5 % Nephelin (G)	> 20 %, vorw. Nephelin (G, evtl. E)
weitere spezifische Minerale	<u>ThB</u> : 2-3 Pyroxentypen (Ca-reicher Cpx, Ca-ärmer Cpx, evtl. Opx), <u>OB</u> : 1 Pyroxentyp (Ca-reicher Cpx); ThB+OB: Titanomagnetit, Ilmenit	1 Pyroxentyp (Ca-reicher Cpx), Titanomagnetit, selten Hornblende	1 Pyroxentyp (Ca-reicher Cpx), Titanomagnetit, z.T. Hornblende	1 Pyroxentyp (Ca-reicher Cpx), Titanomagnetit, Apatit
Mantelxenolithen („Olivinknollen“)	nein	gelegentlich	häufig	häufig
Blasen	häufig blasenreich	oft rel. blasenarm, überw. kleine Blasen	oft rel. blasenarm, überw. kleine Blasen	oft rel. blasenarm, überw. kleine Blasen
typische Form	weitflächige, dünne Lavadecken, oft viele übereinander gestapelt, ohne Brekzienzonen; Gänge und Lagergänge	Lavaströme, häufig mit Brekzienzonen; kleinere Vulkankegel, Schlotfüllungen; Gänge und Lagergänge	Lavaströme, häufig mit Brekzienzonen; kleinere Vulkankegel, Schlotfüllungen; Gänge und Lagergänge	Lavaströme, häufig mit Brekzienzonen; kleinere Vulkankegel, Schlotfüllungen; Gänge und Lagergänge
begleitende pyroklastische Gesteine	selten	häufig	häufig	häufig

Basaltische Vulkanite sind erstarrte vulkanische Laven, die durch Magmenaufstieg über Spalten und Förderschloten an die Erdoberfläche gelangt und dort entweder als Lavaströme oder –decken ausgeflossen sind oder als Lavaseen die Vulkankrater füllten. Aufgrund der schnellen Abkühlung dieser Laven sind die Vulkanite dicht bis feinkörnig (Mineralgrößen < 0,3 mm). In selteneren Fällen können feinkörnige basaltische Vulkanite auch als sehr oberflächennahe Lagergänge in unverfestigten Sedimenten entstanden sein (sog. Subfusionen). Dagegen sind tiefer in der Erdkruste erstarrte oder langsamer abgekühlte basaltische Gesteine (Füllungen von Förderkanälen/Gängen und Lagergängen) klein- bis grobkörnig (0,3–10 mm) und werden als **Dolerite** bezeichnet.

Der überwiegende Anteil der basaltischen Vulkanite Hessens ist während des Tertiärs entstanden, v.a. während des Ober-Oligozäns und Miozäns (vor ca. 28–5 Mio. Jahren; vgl. Tab. 10). Die vulkanische Aktivität begann im Westerwald und in der Rhön bereits im Ober-Oligozän (vor ca. 28 bzw. 25 Mio. Jahren), während in der Niederhessischen Tertiärsenke und im Vogelsberg erst im Miozän (ab ca. 21 bzw. 17,5 Mio. Jahren) basaltische Magmen gefördert wurden. Der Vulkanismus endete in Vogelsberg, Niederhessischer Senke und Rhön noch im Miozän (vor ca. 14–7 Mio. Jahren), während er im Westerwald bis ins Pliozän andauerte (bis ca. 0,4 Mio. Jahren). Die während des Tertiärs geförderten Schmelzen sind bis auf ganz wenige Ausnahmen subaerisch (an der Luft, nicht unter Wasser) ausgeflossen.

Die basaltischen Vulkanite des Sprendlinger Horstes sind z.T. in der Ober-Kreide und im Tertiär (vorwiegend Eozän bis Miozän) entstanden, z.T. aber auch bereits während des Rotliegend (vor ca. 280 Mio. Jahren; vgl. Tab. 2). Auch die während des Rotliegend geförderten Schmelzen sind i.d.R. subaerisch ausgeflossen.

Die basaltischen Vulkanite des Devons und Karbons im Rheinischen Schiefergebirge werden im Abschnitt „Metavulkanite“ behandelt.

Die großen Vulkangebiete des Vogelsberges, des Westerwaldes und der Rhön sind keine Einzelvulkane, sondern durch länger andauernde Magmenförderung aus einer Vielzahl von Schloten und Spalten entstanden. Phasen ruhig ausfließender Lavaströme wurden eingeleitet und z.T. unterbrochen von Phasen explosiver Eruptionen. Zwischen den Zeiten verstärkter vulkanischer Aktivität lagen z.T. lange Ruhephasen, in denen die vulkanischen Gesteine abgetragen wurden oder in denen sich unter dem damals herrschenden Klima Böden bildeten (Laterite, Bauxite, s.a. Fachbericht Sonstige Rohstoffe). Auch Braunkohlensümpfe und siliziklastische Fluss- und Seeablagerungen (Sande, Tone) entstanden während dieser Ruhephasen. Die vulkanische Abfolge setzt sich daher aus übereinander gestapelten Lavaströmen, Tuffen und anderen Vulkaniklastiten sowie z.T. zwischengelagerten Sanden, Tonen und Braunkohlen zusammen. Die ehemaligen Förderschloten durchschlagen ältere Lavaströme und Sedimente und werden von jüngeren bedeckt, soweit die spätere Erosion sie nicht freigelegt hat. Je nach Position im ehemaligen Vulkangebirge und je nach Intensität der späteren Erosion gibt es Bereiche, in denen vorwiegend Lavaströme vorhanden sind, und solche, in denen besonders viele Förderschloten oder Kraterfüllungen liegen. Auch die chemische Zusammensetzung der Magmen variierte innerhalb der Vulkangebiete, so dass verschiedene Typen basaltischer Vulkanite neben- und übereinander vorkommen (s. Tab. 10).

Daraus ergibt sich ein insgesamt sehr komplexer Aufbau der hessischen Vulkangebiete, ganz besonders des Vogelsberges als dem größten zusammenhängenden (vgl. Abb. 24–27). Über die Kenntnis der Entstehung der vorgefundenen Vulkanittypen lassen sich Rückschlüsse und Prognosen auch über lagerstättenrelevante Aspekte herleiten (z.B. zu erwartende Tuffvorkommen, Son-

nenbrenner-Risiko u.a.), daher muss die genaue Vulkanitabfolge für jeden einzelnen Lagerstättenbereich differenziert erkundet werden. Im vorliegenden Fachbericht kann darauf nicht näher eingegangen werden. Einen Überblick über die Geologie der hessischen Hauptverbreitungsgebiete basaltischer Vulkanite gibt Tab. 10. Einzelne rohstoffwirtschaftlich relevante Eigenschaften werden im nächsten Abschnitt erläutert.



Abb. 24: Schlotfüllung (ehemaliger Lavasee) aus Basanit und Alkalibasalt mit säuliger Absonderung; oben ist roter Buntsandstein am Rand des Kraters zu sehen (Steinbruch Ortenberg im südlichen Vogelsberg; Foto: N. Hug/HLUG 2004)



Abb. 25: Vulkaniklastit (Schlackenagglomerat) am Kraterrand, darüber Vulkanit der Schlotfüllung (ehemaliger Lavasee, vgl. Abb. 2) (Tagebau Ortenberg im südlichen Vogelsberg, höchste Sohle; Foto: N. Hug/HLUG 2004)



Abb. 26: Schollen aus Vulkaniklastiten im Randbereich einer alkalibasaltischen Schlotfüllung; säulige Absonderung an Schollen orientiert (Tagebau Bergheim im südlichen Vogelsberg; Foto: N. Hug/HLUG 2004)



Abb. 27: Feingeschichtete Vulkaniklastite (Aschen- und Lapillituffe), die in alkalibasaltische und basanitische Lavaströme eingeschaltet sind (Tagebau Ober-Widdersheim im südwestlichen Vogelsberg; Foto: N. Hug/HLUG 2003)

Tab. 10: Geologie der hessischen Hauptverbreitungsgebiete basaltischer Vulkanite (nach [22], [26], [27]); Definition der hier genannten Vulkanittypen: siehe Tab. 9 und Abb. 23

	Westerwald	Vogelsberg	Niederhessische Senke	Rhön	Odenwald und Sprenslinger Horst (1)	Odenwald und Sprenslinger Horst (2)
Zeitalter	Tertiär: Ober-Oligozän bis Unter-Miozän; Pliozän	Tertiär: Unter-/Mittel-Miozän	Tertiär: Unter- bis Ober-Miozän	Tertiär: Ober-Oligozän bis Mittel-Miozän	Permo-karbon	Oberkreide bis Tertiär (bis Pliozän; Maximum Eozän bis Miozän)
Vulkanit-Alter ca.	28 – 0,4 Mio. J.	17,5 – 14 Mio. J.	21 – 7 Mio. J.	25 – 11 Mio. J.	290 – 280 Mio. J.	69 – 1 Mio. J.
vorherrschende Vulkanittypen	eigenständige Vulkanitfelder: Trachyte*) mit Phonolithen*); Trachybasalte und Trachyandesite*); Alkalibasalte, Basanite; <i>keine tholeiitischen Basalte</i>	<u>Tholeiitische Basalte</u> , <u>Alkalibasalte</u> , <u>Basanite</u> , untergeordnet Trachyte*)	<u>Alkalibasalte</u> , <u>Basanite</u> , <u>Olivin-Nephelinite</u> , untergeordnet <u>Tholeiitische Basalte</u>	weites Spektrum: Alkalibasalte, Basanite, Olivin-Nephelinite, Trachyte*), <u>Phonolithe*</u> ; <i>keine tholeiitischen Basalte</i>	<u>Andesite</u> , <u>Basalte</u> (alteriert: Melaphyre*), Rhyolithe*)	<u>Alkalibasalte</u> , <u>Basanite</u> , untergeordnet Trachyte*)
eingelagerte Sedimente u.ä.	Vulkaniklastite (Tuffe), Braunkohle	Vulkaniklastite (Tuffe), Böden (Laterite, Bauxite), Braunkohle, Ton, Sand	Vulkaniklastite (besonders im NW der Niederhess. Senke), Braunkohle, Sand, Ton	Vulkaniklastite, Kieshorizont		
heute oberflächennah anstehende Architekturelemente	endogene Dome (Staukuppen), Lavadecken/-ströme, untergeordnet Schlot-/Spaltenfüllungen, Lagergänge	Lavadecken/-ströme, untergeordnet Schlot-/Spaltenfüllungen, Intrusionen/Subfusionen	vorw. isolierte Vulkanitvorkommen (Relikte): Lavadecken/-ströme, Schlot-/Spaltenfüllungen, Lagergänge	endogene Dome (Staukuppen), Schlot-/Spaltenfüllungen, Lavadecken/-ströme	Lavadecken/-ströme, Schlot-/Spaltenfüllungen	Schlot-/Spaltenfüllungen, Staukuppen, Lavadecken

*) siehe entsprechendes Teilkapitel

Auf einige im Basaltabbau auffällige oder verwendungsrelevante Merkmale basaltischer Vulkanite soll im Folgenden kurz eingegangen werden:

Blasen sind in basaltischen Vulkaniten häufig zu beobachten, insbesondere bei tholeiitischen Basalten. In Basalttypen aus höher viskosen (zähflüssigeren) Schmelzen, z.B. in Basaniten, sind Blasen weniger häufig und oft kleiner. In Lavaströmen treten Blasen v.a. im Topbereich, etwas weniger im Basisbereich auf, aber auch die Kernzone eines Lavaströms kann durch sog. Blasenzüge durchschlagen werden (Abb. 28). Basaltische Vulkanite mit großporigem, porös-blasigem Gefüge werden im Handel als "*Basaltlava*" bezeichnet.



Abb. 28: Tholeiitischer Basalt mit Blasen im Tagebau Londorf: (oben) blasige und blasenfreie Basaltsteine; (unten) Blasenzug in überwiegend blasenfreiem Basaltbereich (Fotos: N. Hug/HLUG, 2003)

In alkalibasaltischen, basanitischen und nephelinitischen Lagerstätten mit übereinander gestapelten mächtigeren Lavaströmen sind häufig sog. **Brekzienbereiche** ausgebildet (Abb. 29). Das sind die blasigen Top-, Basis- und Randbereiche der Lavaströme, in denen die bereits z.T. erkaltete Lava beim Fließen des Stroms teilweise zerbrochen ist. Die Kernzone eines Lavastroms besteht dagegen aus dichtem, kompaktem Gestein. Die Brekzienbereiche werden aufgrund ihrer hohen Porosität, des geringeren Gesteinsverbandes und der z.T. intensiven Alteration (z.B. Verwitterung von Blasenfüllungen und Zementen) oft fälschlicherweise als „Tuff“ angesprochen. Besonders in Vulkanittypen aus hoch viskosen (zähflüssigen) Schmelzen treten z.T. metermächtige Brekzienbereiche auf.



Abb. 29: Massige Kernzonen und poröse Brekzienbereiche basanitischer Lavaströme im Tagebau Gedern (Foto: N. Hug/HLUG, 2004)

Säulen bilden sich beim Abkühlen einer Schmelze infolge intern entstehender Spannungen („**säulige Absonderung**“). Die Säulen sind im Idealfall sechseckig und i.d.R. senkrecht zur Abkühlungsfläche orientiert, d.h. in horizontal geflossenen Lavadecken stehen sie meist senkrecht, in trichter- oder halbkugelförmigen Kraterfüllungen dagegen oft strahlenförmig in sog. „Meilerstellung“. Das Länge-Durchmesser-Verhältnis von Säulen ist sehr variabel und reicht von mehrere Meter langen, sehr schlanken bis zu kurzen, dicken, eher tonnenförmigen Säulen. Ob sich Säulen ausbilden und wie deren Dimension ist, hängt von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab, z.B. von der Abkühlungsgeschichte, der Schmelzzusammensetzung, dem Temperaturunterschied zum angrenzenden Gestein etc. Die „Säuligkeit“ eines Vulkanits kann schon innerhalb derselben Lagerstätte von Bereich zu Bereich wechseln (Abb. 30) und ist kaum vorhersehbar. Eine ebenfalls häufige Abkühlungsform ist die sog. „**plattige Absonderung**“. Dabei sind die Platten i.d.R. parallel zur Abkühlungsfläche orientiert. Zwischen besonders dicken, kurzen Säulen und breiten, dicken Platten bestehen fließende Übergänge.



Abb. 30: Säulige (oben) und plattige (unten) Absonderung im Basalttagebau Allendorf/Lumda (Foto: N. Hug/HLUG, 2003).

Viele Basalttypen, v.a. Basanite und Olivin-Nephelinite (vgl. Abb. 23, Tab. 9), führen oft cm-große Bruchstücke aus olivinreichem Gestein des Erdmantels, sog. **Mantelxenolithe** („**Olivinknollen**“; Abb. 31). Diese Mantelxenolithe sind bei sehr schnellem Magmenaufstieg aus dem Erdmantel an die Erdoberfläche transportiert worden. Das Gestein ist erkaltet, noch bevor die Mantelxenolithe in der Schmelze aufgelöst werden konnten. Mantelxenolithe können nur in diesen Gesteinen vorkommen, nicht beispielsweise in tholeiitischen Basalten oder Trachyten. Mantelxenolithe sind ein erster Hinweis auf ein mögliches Sonnenbrenner-Risiko (s. Kap. 12.1.4.), da Sonnenbrand prinzipiell nur in SiO₂-untersättigten basaltischen Vulkaniten auftreten kann. Es gibt jedoch sowohl Sonnenbrenner-Gesteine, die keine Mantelxenolithe enthalten, als auch Gesteine ohne Sonnenbrenner-Eigenschaft, aber mit Mantelxenolithen.

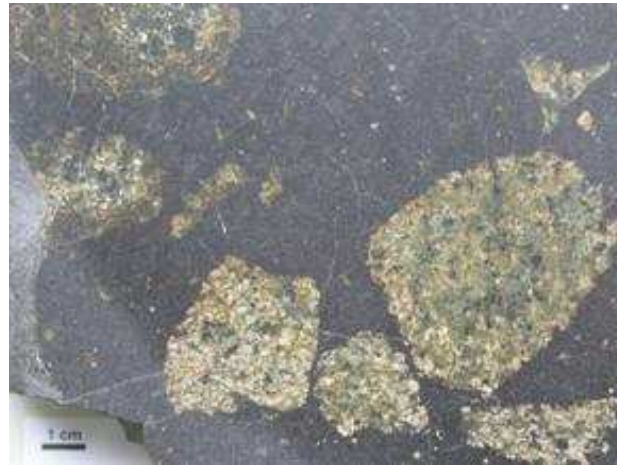


Abb. 31: Basanit mit Mantelxenolithen, Tagebau Gonterskirchen (Foto: N. Hug/HLUG, 2004)

12.1.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die Qualitätskriterien für die Verwendung als Natursteine und auch für Naturwerksteine sind für basaltische Vulkanite die gleichen wie für alle anderen Natur- bzw. Hartgesteine (s. Einführung). Auf diese Qualitätskriterien soll daher im folgenden Abschnitt nicht noch einmal eingegangen werden.

Die gesteintechnischen Eigenschaften variieren naturgemäß je nach Vulkanittyp, aber auch je nach Verwitterungs- oder Alterationsgrad und Gefüge (Mineralgröße, Mineralverband, Porosität etc.).

Die folgende Tabelle 11 soll daher nur eine ungefähre Bandbreite der technischen Eigenschaften basaltischer Vulkanite geben. Eine ausführliche Untersuchung der gesteintechnischen Eigenschaften hessischer Vulkanite, v.a. hinsichtlich ihrer Verwitterungsresistenz und Eignung als Naturwerksteine, führte [22] durch.

Tab. 11: Gesteintechnische Eigenschaften basaltischer Vulkanite (Richt- und Erfahrungswerte, aus [5])

Technische Parameter*	„Basalt“ (dichte, nicht poröse / nicht blasige basaltische Vulkanite)**)	„Basaltlava“ (porenreiche Lava basaltischer Zusammensetzung)**)	„Diabas“ (***)
Rohdichte	2,85 – 3,05 g/cm ³	2,20 – 2,35 g/cm ³	2,75 – 2,90 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,1 – 0,3 Gew.-%	4,0 – 10,0 Gew.-%	0,1 – 0,4 Gew.-%
thermische Leitfähigkeit	k. A.	0,5 – 3,1 W/m*K	k. A.
Druckfestigkeit	250 – 400 N/mm ²	80 – 150 N/mm ²	180 – 250 N/mm ²
Widerstand gegen Schlagbeanspruchung: Schotter 35/45 (SD10) Splitt 8/12 (SZ _{8/12})	7 – 17 9 – 20	13 – 20 16 – 22	7 – 17 9 – 20
Widerstand gegen Polieren (PSV-Wert)	45 – 56	54 – 58	44 – 60

* Die genannten "Technischen Parameter" sind nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt und geben die Spannweiten mechanischer Parameter für das Gestein wieder.

** Bezeichnungen und Erläuterungen nach [5]

„Säulenbasalte“

Eine Besonderheit basaltischer, aber auch anderer Vulkanite ist die z.T. vorkommende Ausbildung von Säulen (s.o.). Die Eigenschaft, dass das Gestein bereits in je nach Bereich relativ gleichmäßige, im Idealfall sechseckige Säulen zerteilt ist, wird z.B. bei der Verwendung dieser Säulen als Wasserbausteine oder im Garten- und Landschaftsbau ausgenutzt. Für die Herstellung von gebrochenen Natursteinen ist die Säuligkeit jedoch allenfalls hinsichtlich der Abbautechnik von Bedeutung, für die Endprodukte nahezu bedeutungslos. Dennoch – weniger aus abbautechnischen als aus historischen Gründen – werden im Bergrecht sog. „Säulenbasalte“ ausgegliedert, die im Gegensatz zu allen übrigen „Basaltlaven“ nicht unter Bergrecht fallen.

In der Praxis wirft diese bergrechtliche Unterscheidung Probleme auf, da bereits innerhalb einer Lagerstätte säulige und nicht-säulige Gesteinsbereiche auftreten. Bei Neuaufschlüssen kann allenfalls aus Analogie zu bekannten Oberflächenvorkommen im Planungsgebiet vermutet werden, ob der aufzuschließende Basalt oberflächennah eher säulig oder eher nicht-säulig ausgebildet sein wird. Für die tieferen Lagerstättenbereiche ist eine Prognose nahezu unmöglich, und da auch in Kernbohrungen selten deutliche Säulen erkennbar sind, wird man vorläufig von nicht-säuliger „Basaltlava“ im Sinne des Bergrechts ausgehen. Zudem ist der Übergang von dicken, kurzen Säulen zur plattigen Absonderung fließend (s.o. und Abb. 30). Empfehlungen für ein „Säulenkriterium“, nach dem beispielsweise erst Säulen mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von mind. 10:1 als Säulen im Sinne des Bergrechts gelten sollen, werden in Hessen eher zurückhaltend aufgenommen.

„Sonnenbrand“

Eine die technischen Eigenschaften nachteilig beeinflussende Erscheinung ist der sog. „Sonnenbrand“, der bei bestimmten basaltischen Vulkaniten auftreten kann. Er unterscheidet sich grundsätzlich von der normalen Gesteinsverwitterung. Im Anfangsstadium macht sich der Sonnenbrand durch auffallend unebene, hakige, höckerige und rauhe Bruchflächen bemerkbar, später durch hellbraune oder weißliche, erbsengroße, an den Rändern ausgefrante und durch feine Haarrisse miteinander verbundene Flecken, die sog. „Sonnenbrennerflecken“ (Abb. 32). Das Gestein ist dann bereits deutlich mürber und zerfällt wesentlich leichter als im frischen Zustand. Im Endstadium des Sonnenbrandes zerfällt das Gestein zu einem erdigen Grus aus maximal etwa haselnussgroßen, ovalen, schalig absondernden und insgesamt sehr mürben Bruchstücken, schließlich sogar zu sandig-lehmiger „Steinerde“. Dieser Zersetzungsprozess kann sich bereits in der Lagerstätte oder bei frisch gesprengtem Material innerhalb weniger Wochen bis Monate vollziehen, sobald das Gestein mit Wasser in Berührung kommt. Temperaturwechsel im Steinbruch (Sonneneinstrahlung am Tag, Abkühlung oder Frost in der Nacht) wirken dabei zusätzlich beschleunigend.



Abb. 32: Basanit mit Mantelxenolithen und hellen Sonnenbrenner-Flecken, Tagebau Rinderbügen (Foto: N. Hug, 2004)

Das Phänomen des Sonnenbrandes wird verursacht durch das Mineral Analcim, das durch Wasseraufnahme aus dem Feldspatvertreter Nephelin entsteht ([28], [29]). Sonnenbrand kann daher nur bei primär nephelinführenden, d.h. SiO_2 -untersättigten basaltischen Gesteinen auftreten, wie Basaniten, Tephriten, Alkalibasalten und Olivin-Nepheliniten. Die in diesen Gesteinen z.T. häufigen Mantelxenolithe („Olivinknollen“) sind daher ein erster Hinweis auf die Möglichkeit der Sonnenbrenner-Eigenschaft des Gesteins – es gibt jedoch sowohl Sonnenbrenner-Gesteine, die keine Mantelxenolithe enthalten, als auch Gesteine ohne Sonnenbrenner-Eigenschaft, aber mit Mantelxenolithen. Zusätzlich ist die Verteilung des Analcims im Gestein entscheidend: Vorwiegend fleckhaft verteilter Analcim kann zu Sonnenbrand führen, während sehr gleichmäßig und fein verteilter Analcim offenbar keine nachteiligen Auswirkungen auf die Gesteinsfestigkeit hat.

Sonnenbrand-gefährdete Gesteine sollten bereits bei der Lagerstättenerkundung auf die o.g. Sonnenbrenner-Anzeichen hin untersucht werden. Dies kann im Vorfeld durch den Nachweis von Nephelin oder Analcim im Dünnschliff oder durch Röntgendiffraktometrie geschehen. Die einzig sichere Methode, die Sonnenbrenner-Eigenschaft eines Gesteins festzustellen, ist jedoch der sog. „**Sonnenbrenner-Test**“ oder „Kochversuch für Sonnenbrand-Basalt“ nach DIN EN 1367-3 (aktuelle deutsche Fassung: 2001). Bei diesem Testverfahren wird die Entwicklung des Sonnenbrands durch Kochen der Probe in destilliertem Wasser beschleunigt, so dass bereits am zweiten Versuchstag die sonnenbrandbedingte Zersetzung des Gesteins über den entstandenen Feinkornanteil nachweisbar ist. Der Sonnenbrenner-Test kann an Handstücken (150-450 g) oder auch an Gesteinskörnungen (i.d.R. Körnung 8/12,5) durchgeführt werden. Im letzteren Fall wird der Test meist mit dem Schlagzertrümmerungstest kombiniert: Ist der Feinanteil, der bei Schlagzertrümmerung nach dem Kochen entsteht, um weniger als 1 % größer als der Feinanteil, der normalerweise bei Schlagzertrümmerung (ohne Kochen) entsteht, dann gilt das Gestein als nicht Sonnenbrandgefährdet. Der Materialbedarf für diesen Test liegt je nach Prüflabor bei ca. 10-20 kg.

12.1.5. Abbausituation und Verwendung

Basaltische Vulkanite werden in Hessen ausschließlich im Tagebau gewonnen. Rohstoffwirtschaftlich und abbautechnisch besonders günstig sind Lagerstätten mit mächtigen, möglichst homogenen Vulkanitvorkommen ohne zwischengelagerte Tuff- oder Sedimentschichten. Diese Bedingungen sind z.B. häufig in Schlotfüllungen gegeben, z.T. aber auch in Lagerstätten aus übereinander gestapelten Lavaströmen. Eingelagerte Tuff- oder Sedimentschichten oder mächtige Brekzienbereiche erschweren eine Abschätzung der tatsächlich gewinnbaren Basaltvorräte der Lagerstätte und machen daher aufwändige Voruntersuchungen und einen stark differenzierten Abbau erforderlich.

Der Abbau ist i.d.R. begrenzt auf die Gesteinsbereiche oberhalb des Grundwasserspiegels, mit einem zuvor festgesetzten minimalen Flurabstand. In einigen Abbaustellen basaltischer Vulkanite – wie auch anderer Natursteinvorkommen – ist jedoch eine Wasserhaltung im Grubentiefsten notwendig (Abb. 33). Dabei wird z.T. kontrovers diskutiert, ob es sich im Einzelfall um Niederschlags- und Oberflächenwasser handelt oder aber um aus Klüften austretendes Wasser, also um Grundwasser. Die hydrogeologische Situation ist in den hessischen Vulkanitgebieten aufgrund des i.d.R. komplexen geologischen Aufbaus nicht trivial – insbesondere wenn in den Vulkaniten Brekzienbereiche ausgebildet oder Tuffschichten eingelagert sind. Es ergibt sich ein vielschichtiger Grundwasserstockwerksbau aus Grundwasser leitenden, gering leitenden und nicht leitenden (stau-

enden) Schichten, der für den Vogelsberg eingehend untersucht wurde [30]. Die hydrogeologischen Verhältnisse einer Lagerstätte lassen sich jedoch nicht pauschal ableiten, sondern müssen im Einzelfall genau erkundet und analysiert werden.



Abb. 33: Wasserhaltung auf der tiefsten Sohle im Tagebau Unter-Widdersheim (Foto: N. Hug/HLUG, 2003)

Basaltische Vulkanite aus hessischen Lagerstätten werden schwerpunktmäßig als gebrochene Natursteine für den Verkehrswegebau verwendet (s. allgemeiner Teil dieses Fachberichts). Neben Schotter, Splitt und Edelsplitt werden in einigen Lagerstätten auch Qualitäten produziert, welche die besonderen Materialanforderungen hinsichtlich Verwitterungs- und Schlagbeständigkeit für Gleisschotter erfüllen. Lagerstättenbereiche mit minderen Qualitäten können als Frostschutzmaterial eingesetzt werden.

Gesteine mit „Sonnenbrand“-Erscheinungen können z.T. als Zuschlagstoff für Beton verwendet werden, wenn das Material so weit in Splittkorngröße heruntergebrochen wird, dass die Körnung etwa der Zerfallsgröße entspricht und thermale bzw. hydrothermale Beanspruchungen (Sonnenbrenner-Test, s.o.) die Festigkeitseigenschaften nicht verringern. In Hessen sind daher in der Vergangenheit z.T. Steinbrüche wieder in Betrieb genommen worden, die in den 1930er Jahren wegen der „Sonnenbrand“-Eigenschaft des Rohstoffs geschlossen worden waren [5]. Die Rentabilität einer Abbaustelle mit „Sonnenbrand“-Material hängt jedoch stark von dessen Verbreitung und dem Ausmaß der „Sonnenbrand“-Zersetzung im Steinbruch ab und muss im Einzelfall kritisch geprüft werden. Enthält eine Abbaustelle nahezu ausschließlich „Sonnenbrand“-Material, ist ein wirtschaftlicher Betrieb fraglich.

Ein für einige Lagerstätten wichtiges Einsatzfeld bildet die Mineralfaser- und Steinwolleproduktion (rock wool), bei der basaltisches Gestein aufgeschmolzen und verdüst wird. Ebenfalls basaltische

Gesteinsschmelze wird zur Herstellung von säurefesten Steinen und Konstruktionsteilen verwendet („Schmelzbasalt“). Bei diesen Verwendungszwecken werden seitens der weiterverarbeitenden Industrie besondere Anforderungen an die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Gesteins gestellt, die vom Steinbruchbetrieb in engen Grenzen eingehalten werden müssen. Darüber hinaus muss das Gestein homogen, feinkörnig und ohne größere Einsprenglinge sein. Nähere Angaben zu den speziellen Anforderungen siehe [5].

Großstückige, meist säulig ausgebildete basaltische Vulkanite werden auch als Wasserbausteine, im Garten- und Landschaftsbau und z.T. auch noch als Pflastersteine eingesetzt.

Basaltische Vulkanite wurden früher sehr häufig und werden untergeordnet auch heute noch als Werksteine verwendet. Die verschiedenen hessischen Varietäten beschreibt und charakterisiert [22] eingehend, Tab. 12 gibt einen Überblick über die dort untersuchten Gesteine. Zum Teil werden Werksteine in geringerem Umfang neben gebrochenen Natursteinen mitgewonnen, z.B. im Tagebau Londorf (Abb. 34). Londorfer Werksteine („Lungenstein“) wurden beispielsweise bei der Restauration des Kölner Domes verwendet.

Tab. 12: Abbaustellen basaltischer Vulkanite mit historischer oder noch aktueller Werksteingewinnung (Beispiele, aus [5])

Gesteins-Nr. (STEINDLBERGER 2003)	Name (Fettdruck: in Betrieb)	Vulkangebiet	Gesteinstyp	Rechtswert	Hochwert
6	Londorfer Basaltlava	Vogelsberg	Olivinbasalt	3490900	5616260
7	Ronneburger Basaltlava	Vogelsberg-Rand	Tholeiitischer Basalt	3504400	5566930
8	Büdingen Basaltlava	Vogelsberg-Rand	Olivinbasalt	3501790	5571700
9	Steinheimer Basaltlava	Vogelsberg-Rand	Tholeiitischer Basalt	3490980	5553030
10	Ortenberger Basaltlava	Vogelsberg	Alkalibasalt	3507260	5578600
13	Dornburger Basalt	Westerwald	Alkalibasalt	3429600	5593980
14	Greifensteiner Säulen- basalt (Beilstein)	Westerwald	Alkalibasalt	3446920	5609330
19	Mörshäuser Basalt	Niederhessische Senke	Alkalibasalt	3531960	5656590
27	Kasseler Basalt (Kuh- berg)	Niederhessische Senke: Habichtswald	Nephelinbasanit	3528400	5685150
48	Darmstädter Melaphyr I	Sprendlinger Horst	Andesit/Basalt	3477540	5526160
49	Darmstädter Melaphyr II	Sprendlinger Horst	Andesit/Basalt	3479250	5527580
50	Traisaer Melaphyr	Sprendlinger Horst	Andesit/Basalt	3478170	5522680
53	Roßdorfer Basalt	Sprendlinger Horst	Nephelinbasanit	3483700	5523900



Abb. 34: Als Werksteine gekennzeichnete Großblöcke aus Olivinbasalt im Tagebau Londorf, nordwestlicher Vogelsberg (Foto: N. Hug, 2003)

12.1.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Hessen verfügt über große Vorräte an basaltischen Vulkaniten unterschiedlicher Qualitäten, daher stellen die basaltischen Vulkanite zusammen mit den basaltischen Metavulkaniten den größten Anteil der in Hessen abgebauten Natursteine. Gemessen an den Vorkommen ist derzeit ein relativ geringer Anteil als Rohstoffsicherungsgebiete gesichert. Insbesondere im Vogelsberg beschränken sich die ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebiete vorwiegend auf die Randbereiche, da diese infrastrukturell am besten angeschlossen sind. Abhängig von der Nachfrage an hochwertigen Lagerstätten könnten im Vogelsberg, aber auch in den anderen Verbreitungsgebieten in Hessen, weitere Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen werden. Dabei sollten die Geologie der Lagerstätte und die genaue Zusammensetzung des Gesteins – neben den üblichen raumordnerischen Aspekten – berücksichtigt werden, um hochwertige Vorkommen vorrangig zu sichern.

Nutzungskonflikte bei der Sicherung basaltischer Vulkanitvorkommen bestehen v.a. zu Natura-2000-Gebieten und zu Wasserschutzgebieten:

- Häufig werden Rohstoffvorkommen durch Vogelschutzgebiete überlagert, die z.B. die Steilwände der Steinbrüche als potenzielle oder bereits genutzte Nistbereiche für Uhu und andere Vogelarten schützen. Großflächig wurde u.a. aus diesem Grund das 630 km² große Vogelschutzgebiet „Vogelsberg“ ausgewiesen, das den gesamten Vogelsberg überspannt und daher alle Lagerstätten basaltischer Vulkanite des Vogelsberges betrifft. In anderen Fällen wurde kleinräumiger vorgegangen, indem einzelne ehemalige und auch noch genutzte Steinbrüche als Vogelschutzgebiete ausgewiesen wurden (z.B. „Steinbrüche in Mittelhessen“, Gesamtfläche 3,2 km², verschiedene Rohstofftypen betreffend). Für die in Abbau stehenden Steinbrüche wurden Sondervereinbarungen getroffen, die eine Fortführung des Abbaus unter Wahrung der Ziele des Vogelschutzes möglich machen sollen. Dazu werden z.B. Abbaubereiche und –zeiten mit den Nistbereichen und –zeiten abgestimmt

sowie bei der Rekultivierungsplanung die Erhaltung von Steilwänden vorgesehen. Bei den Vereinbarungen wurde u.a. berücksichtigt, dass die ausgewiesenen Vogelschutzgebiete erst durch einen früheren oder noch aktuellen Steinbruchbetrieb ermöglicht wurden, indem Steilwände geschaffen und durch Nichtverfüllung von Steinbruchbereichen auch erhalten wurden. Dieser Aspekt sollte auch bei neuen Abbauvorhaben in ausgewiesenen Vogelschutzgebieten in Betracht gezogen werden.

- Die Vorkommen basaltischer Vulkanite werden häufig von Trinkwasserschutzgebieten überlagert, da sie z.T. wichtige Grundwasserleiter darstellen, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden. Innerhalb der Trinkwasserschutzgebiete gelten strenge Auflagen (Schutzgebietsverordnung), ein Abbau ist hier i.d.R. nicht oder nur mit Ausnahmegenehmigung unter bestimmten Bedingungen erlaubt, i.d.R. nur oberhalb des Grundwasserleiters und bis zu einem bestimmten Mindestabstand zur Grundwasseroberfläche. Aber auch außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten müssen die Prinzipien des Grundwasserschutzes berücksichtigt werden.

Trotz der überwiegend relativ geringen Besiedlungsdichte in den Hauptverbreitungsgebieten der hessischen basaltischen Vulkanite (v.a. Vogelsberg, Westerwald, Rhön) gibt es ortsnahe Abbaustellen oder Abbauvorhaben, die Anlass zu Diskussionen und Auseinandersetzungen geben. (siehe Kap. 6.1.1.)



Abb. 35: Wald als „Grünriegel“ zwischen Steinbruch und Ortschaft (Foto: N. Hug/HLUG, 2004)

12.1.7. Transportlage

Die derzeit in Abbau stehenden Lagerstätten sind über Land- und Bundesstraßen mehr oder weniger direkt an das Autobahnnetz angebunden. Die Aufbereitung zu gebrochenem Naturstein erfolgt i.d.R. im Steinbruch oder in einer nahe gelegenen Aufarbeitungsanlage, z.T. in Nachbarbetrieben.

Der Transport des Schüttgutes erfolgt meist per Last- oder Schwerlastkraftwagen, seltener über die Schiene. Aufbereitete Gesteinskörnungen werden i.d.R. vom Abnehmer (Bau- bzw. Transportunternehmen) direkt von der Aufbereitungsanlage abgeholt.

12.1.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Basaltische Vulkanite zählen zu den derzeit bedeutendsten Rohstoffen von Hessen. Ihr Absatz erfolgt vorwiegend lokal bis regional, wegen der Transportkostenempfindlichkeit der meisten Gesteinskörnungen werden weite Transportwege vermieden. Die hessischen Abbaubetriebe haben daher ihre Absatzgebiete innerhalb Hessens (zum Großteil in der näheren Umgebung des Steinbruchs) und in angrenzenden Bundesländern, falls der Betrieb in der Nähe der Landesgrenze liegt. Insgesamt konzentriert sich der Absatz basaltischer Vulkanite als gebrochene Natursteine auf die Bereiche mit der stärksten Bautätigkeit, d.h. auf die Ballungsräume – v.a. den Großraum Frankfurt/Rhein-Main – und ggf. auf aktuelle Straßenbauprojekte (z.B. Autobahn-Ausbau). Dabei sind die basaltischen Vulkanite relativ günstig über Hessen verteilt, so dass i.d.R. große Transportwege vermieden werden können.

Basaltische Vulkanite für spezielle Verwendungszwecke mit besonderen Qualitätsanforderungen, z.B. für die Steinwolleherstellung oder Werksteinproduktion, werden auch über weitere Strecken transportiert, z.T. sogar ins europäische Ausland.

12.2. Basaltische Metavulkanite (Metabasalte/“Diabase”, Metadolerite, Metapikrite)

12.2.1. Lage

Basaltische Metavulkanite treten im Lahn-Dill-Gebiet des östlichen Rheinischen Schiefergebirges weitflächig und in z.T. großen Mächtigkeiten auf. Zentren der Verbreitung sind Herborn–Dillenburg–Oberscheld und Leun–Ehringshausen–Hohensolms. Etwas kleinräumigere, aber ebenfalls rohstoffwirtschaftlich genutzte Vorkommen liegen im Kellerwald und im Sauerland (Raum Diemelsee; s. Abb.3).

12.2.2. Untersuchungsstand

Die Metavulkanite des östlichen Rheinischen Schiefergebirges sind in mehr als 100 Jahren Erforschungsgeschichte durch zahlreiche geologisch-petrologische Studien mit geochemischen Analysen bestens erkundet und in vielen Einzelveröffentlichungen publiziert (z.B. [31] – [34]). Durch den früher intensiv betriebenen Erzbergbau ist der strukturelle Aufbau des Gebirges bis in mehrere 100 Meter Tiefe z.T. sehr gut bekannt. Eine moderne, zusammenfassende Darstellung und Interpretation der Metavulkanite des östlichen Rheinischen Schiefergebirges siehe [35]. Die Rohstoffqualität der Metavulkanite wird in diesen Arbeiten i.d.R. nicht oder nur untergeordnet dargestellt,

sie lässt sich jedoch aus den enthaltenen geologisch-petrologischen Daten detailliert ableiten. Lagerstättenkundliche Arbeiten wurden v.a. zur Erforschung der Erzvorkommen angefertigt (zusammengestellt z.B. in [36]), wobei auch die Verbreitung der erzführenden Natursteine – über- und untertage – kartiert und untersucht wurde. Amtliche Geologische Karten liegen flächendeckend vor, in moderner Form mit Erläuterungen jedoch nur für einen Teil der Dill-Mulde (Blatt 5215 Dillenburg, [37], Blatt 5216 Oberscheld, [38], randlich: Karte der Hörre 1:50.000, in Vorber.). Einen modernen Überblick über hessische Metavulkanite und deren Eignung als Naturwerksteine gibt [22].

12.2.3. Geologie und Mineralogie

Als basaltische Metavulkanite werden hier die Metabasalte („Diabase“), Metadolerite und Metapikrite zusammengefasst. Diese grüngrauen bis grünschwärzen Gesteine sind durch vulkanische Aktivität während des Mittel- bis Oberdevons und während des Unterkarbons in den flachen Meeresbecken der sog. Lahn- und Dillmulde entstanden. Grundsätzlich sind an der Oberfläche ausgeflossene, feinkörnige Laven (sog. Effusiva: Metabasalte/“Diabase“) zu unterscheiden von tiefer in der Erdkruste in ältere Gesteinsschichten eingedrungenen, grobkörnigeren Gängen bzw. Lagergängen (sog. Subvulkanite bzw. Intrusiva: Metadolerite/“körnige Diabase“ und Metapikrite; Abb. 36 und 37, Tab. 13, s.a. Teilbericht Basaltische Vulkanite).



Abb. 36: Feinkörniger Metabasalt („Diabas“) als Pillowlava mit glasigen, leicht blasigen Abschreckungsrandern; b)



Abb.37: grobkörniger Metadolerit („körniger Diabas“) mit eng verzahnten Mineralen (weiß: Feldspat, dunkel: Pyroxen, Chlorit) (Fotos: N. Hug/HLUG)

Tab. 13: Entstehung und Merkmale der basaltischen Metavulkanite und -subvulkanite des östlichen Rheinischen Schiefergebirges (zusammengestellt [35])

	Vulkanite (Effusiva)	Subvulkanite (Intrusiva)	
	Metabasalte („Diabase“)	Metadolerite („körnige Diabase“)	Metapikrite
Entstehungsart	ausgeflossene Laven: Pillowlaven und Deckenergüsse/-laven	Lagergänge	Lagergänge oder „Bodensatz“ in tholeiitischen Metadolerit-Lagergängen
Entstehungsraum	Meeresboden	Erdkruste, verschiedene Tiefenniveaus	Erdkruste, verschiedene Tiefenniveaus
Entstehungszeit	Mittel-/Ober-Devon und Unter-Karbon	vorwiegend Unter-Karbon, weniger Mittel-/Ober-Devon	Unter-Karbon
Basalttyp	tholeiitisch und alkalibasaltisch	tholeiitisch und alkalibasaltisch	(aus tholeiitischen Schmelzen hervorgegangen)
Gefüge	feinkörnig (bis glasig), stark blasig bis blasenarm	mittel- bis grobkörnig, (i.d.R.) blasenfrei	mittel- bis grobkörnig, blasenfrei

Basaltische Metavulkanite und –subvulkanite bestehen primär – wie basaltische Vulkanite auch (s.d.) – aus den Hauptmineralen Feldspat (Plagioklas), Pyroxen und Olivin. Der primäre Mineralbestand wurde jedoch bei Metavulkaniten unterschiedlich stark metamorph überprägt (s.u.), dabei sind z.T. Minerale verdrängt worden durch andere, neu gebildete. Daher bestehen die basaltischen Metavulkanite zusätzlich oder vollständig aus den (sekundären) Hauptmineralen Feldspat (Albit und Kalifeldspat), Chlorit, Serpentinmineralen und Kalzit. Olivin ist in Metabasalten und –doleriten nicht mehr enthalten, dagegen tritt er in den olivinreichen Metapikriten noch verbreitet auf (s.u.). Auch Erzminerale wurden z.T. durch andere verdrängt; sekundär entstanden sind z.B. auch die teilweise enthaltenen Pyritkristalle. Besonders stark umgewandelt wurde der Mineralbestand von ursprünglich porösen Vulkaniten (z.B. Pillowlaven) oder geringmächtigen Vulkanitvorkommen, während besonders mächtige und dichte Vorkommen oft kaum überprägt wurden.

Ein grundlegender Unterschied zu den Vulkanitvorkommen des Tertiärs ist die intensive Überprägung der devonischen und unterkarbonischen Vulkanite während des Ober-Karbons im Zuge

der Bildung des sog. Variszischen Gebirges, von dem das Rheinische Schiefergebirge den nördlichen Außenbereich darstellt. Dabei wurden die Gesteine schwach metamorph überprägt (s.o.) sowie – lagerstättenkundlich noch entscheidender – intensiv gefaltet und übereinander geschoben, d.h. verschuppt. Die Überschiebungsbahnen („Scherzonen“) verlaufen sehr einheitlich Südwest–Nordost und fallen nach Südosten ein (Abb. 38). Ihr Einfallswinkel liegt insgesamt i.d.R. zwischen 30 und 60°, kann jedoch kleinräumig sehr stark wechseln (Abb. 39). Teilweise ist auch ein rampenartiger Verlauf zu beobachten, d.h. mit langen sehr flachen Passagen und kurzen steilen Abschnitten. Im Bereich der Überschiebungsbahnen ist das Gestein häufig intensiv zerschert, d.h. in meter- bis zentimeterkleine linsenförmige (sigmoidale) Scherkörper zerlegt und auch mineralogisch verändert (s.u. und Abb. 42). Die Breite solcher Scherzonen kann von kaum einem Meter bis zu mehreren Zehnermetern variieren. Das gesamte Gebirge wird außerdem von Nordwest–Südost verlaufenden, steilstehenden Querstörungen durchzogen, an denen die Gesteine und Überschiebungsbahnen sowohl senkrecht als auch horizontal versetzt werden (Abb. 38).

In einigen Bereichen der Lahn- und der Dillmulde sind die Metavulkanite infolge der Gebirgsbildung auch geschiefert. Die Schieferung ist jedoch wesentlich intensiver in den vergleichsweise weicheren Metavulkaniklastiten (z.B. „Schalsteinen“) und Metatonsteinen bzw. Tonschiefern ausgebildet.

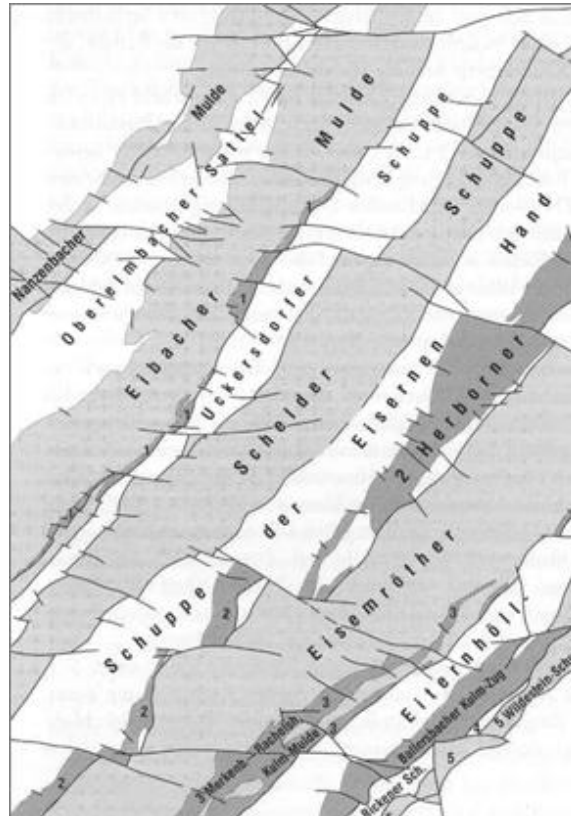


Abb. 38: Schuppenbau des Rheinischen Schiefergebirges im Bereich der Dill-Mulde, hier Blatt 5216 Oberscheld. Die einzelnen Schuppen sind durch Südwest–Nordost verlaufende Überschiebungsbahnen begrenzt, die durch Querstörungen gegeneinander versetzt werden (aus [38]).

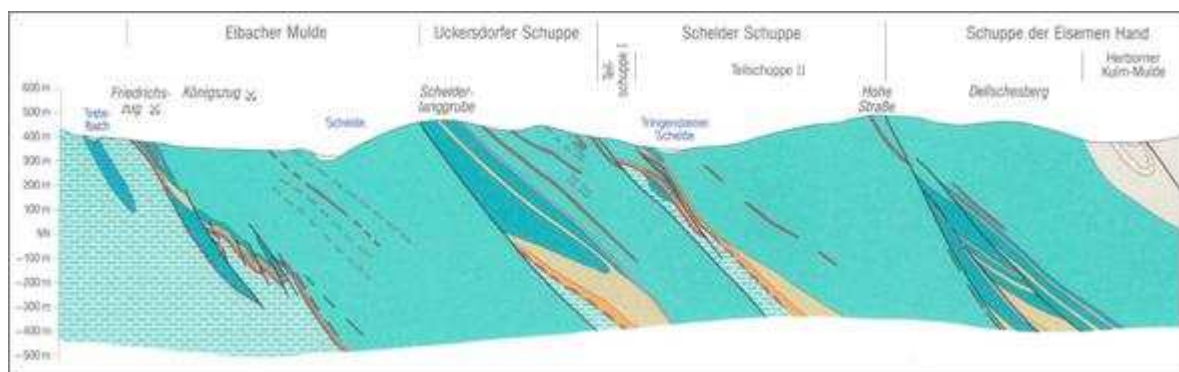


Abb. 39: Profil durch eng gefaltetes und verschupptes Gebirge mit Überschiebungszonen, hier nordöstlich von Oberscheld (vgl. Abb. 2, Schnittlinie Nordwest–Südost, d.h. senkrecht zu den Überschiebungsbahnen; aus [38]).
 grün – Metavulkanite; blassgrün mit Schraffur – Metavulkaniklastite („Schalsteine“); gelb – Metasandsteine und Metatonsteine/Tonschiefer; violett – Kieselschiefer; rot – Roteisenerze.

Im Unterschied zu den basaltischen Vulkaniten des Tertiärs sind die **basaltischen Laven (Metabasalte/“Diabase“, sog. Effusiva**, vgl. Tab. 13) des Devons und Karbons im Rheinischen Schiefergebirge nicht subaerisch, sondern am Meeresboden ausgeflossen. Sie bilden daher andere For-

men, v.a. sog. Pillowlaven, die aus vielen aneinanderliegenden Lavasträngen oder „-kissen“ mit rundlich geformten, glasigen Abschreckungsrändern zusammengesetzt sind (Abb. 40). Häufig sind diese Metavulkanite blasenreich, wobei die Blasen heute (sekundär) mit Kalzit gefüllt sind. Den am Meeresboden ausgeflossenen Laven sind häufig klastische Meeresablagerungen (Meta-Feinsandsteine und Tonsteine) zwischengeschaltet, z.T. auch Riffkalke („Lahnmarmor“), wenn auf den Vulkanbauten Riffe aufwuchsen.



Abb. 40: Metabasalt („Diabas“) als Pillowlava, hier Pillow-Querschnitt mit hartem, feinkörnig-glasigem Abschreckungsrand und konzentrisch angeordneten langgestreckten Blasen (hell); Bildbreite ca. 1,5 m (Foto: H.-D. Nesbor/HLUG)

Geochemisch lassen sich die Metavulkanit-Vorkommen des Rheinischen Schiefergebirges darüber hinaus in **alkalibasaltische und tholeiitische Metavulkanite** differenzieren. Die Eigenschaften dieser beiden Vulkanittypen werden im Teilbericht Basaltische Vulkanite näher erläutert (s.d.). Die basaltischen Metavulkanite des Mittel- und Ober-Devons sind im östlichen Rheinischen Schiefergebirge ausschließlich alkalibasaltisch; im Mittel-Devon sind sie mit Riffkalcken (Massenkalke/„Lahnmarmor“) und Eisenerzlagern assoziiert, und hier sind auch einige saure Metavulkanite (Metatrachyte, Metarhyolithe) entstanden [35]. Die Metavulkanite des Unter-Karbons sind dagegen fast ausschließlich tholeiitisch und ohne Riffkalke.

Lagerstättenkundlich bedeutsam ist dabei zum Beispiel, dass alkalibasaltische Metavulkanite wesentlich häufiger Brekzienbereiche aufweisen und oft von Metavulkaniklastiten („Tuffen“, z.B. „Schalstein“) begleitet werden. Dagegen bilden tholeiitische Metabasalte i.d.R. homogenere Lagerstätten aus Pillowlaven und Deckenergüssen, nahezu ohne Brekzienbereiche und ohne begleitende Metavulkaniklastite.

Die **Metadolerite und Metapikrite (sog. Intrusiva/Subvulkanite)**, vgl. Tab. 13) sind entstanden, indem sich aus dem Erdmantel aufsteigende Gesteinsschmelzen in unterschiedlich tiefen Niveaus der Erdkruste in die dort lagernden älteren Gesteinsschichten einschoben und sog. **Lagergänge**

bildeten. Die Lagergänge folgen deshalb i.d.R. der Orientierung der Schichten, in die sie intrudiert sind (Abb. 41). Ihre laterale Erstreckung (Zehnermeter bis mehrere Kilometer) hängt vom Volumen und der Viskosität der Schmelzen ab, ebenso ihre Mächtigkeit (wenige Zentimetern bis mehrere hundert Meter). Im östlichen Rheinischen Schiefergebirge sind die Metadolerite und –pikrite in Metasedimente und Metavulkanite des Devons und Unter-Karbons eingedrungen (intrudiert). Die meisten Lagergänge entstanden während des Unter-Karbons, devonische sind seltener.

Die **Metadolerite** unterscheiden sich im Mineralbestand (s.o.) nicht von den entsprechenden Metabasalten, auch sie sind im Mittel- und Ober-Devon alkalibasaltisch, im Unter-Karbon dagegen überwiegend tholeiitisch. Ihr Gefüge weicht jedoch deutlich von dem der Metabasalte ab: Metadolerite sind mittel- bis grobkörnig und in aller Regel blasenfrei (nur sehr oberflächennah intrudierte Lagergänge können im Topbereich Blasen aufweisen). Für Dolerite typisch ist das sog. ophitische Gefüge, bei dem kleine Feldspatkristalle von großen Pyroxenkristallen umschlossen werden, wodurch eine sehr stabile Verzahnung entsteht (siehe Kap. 12.2.4.).

Metapikrite weisen dagegen einen deutlich anderen Mineralbestand als Metadolerite und –basalte auf: Sie sind als „Bodensatz“ tholeiitischer Schmelzen während des Unter-Karbons entstanden und bestehen daher fast ausschließlich aus den schweren (primären) Mineralen Olivin, Pyroxen und Amphibol (bzw. den sekundären Umwandlungsprodukten Chlorit und Serpentinmineralen, s.o.). Pikrite sind daher tief dunkelgrün, z.T. fast schwarz. Im Unterschied zu Metabasalten und –doleriten enthalten die (primär wesentlich olivinreicheren) Metapikrite auch nach der metamorphen Überprägung noch größere Anteile an Olivin. Pikrite bilden z.T. sehr ausgedehnte und mächtige Lagergänge (bis weit über 1 km horizontale Erstreckung und bis über 100 m Mächtigkeit) oder auch den „Bodensatz“ von mächtigen tholeiitischen Metadolerit-Lagergängen [35].



Abb. 41: Lagergänge aus Metadolerit und Metapikrit, die im Unter-Karbon in Sedimentschichten des Ober-Devons (Feinsandsteine mit Tonschieferlagen) eindrangen (intrudierten); Tagebau Bad Endbach- (Foto: N. Hug/ HLUG, 2005)]

12.2.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die Qualitätskriterien für die Verwendung als Natursteine und auch für Naturwerksteine sind für basaltische Metavulkanite die gleichen wie für alle anderen Natur- bzw. Hartgesteine (s. Kap. 5). Auf diese Qualitätskriterien soll daher im folgenden Abschnitt nicht noch einmal eingegangen werden. Tabelle 14 gibt Richt- und Erfahrungswerte für die gesteintechnischen Eigenschaften basaltischer Metavulkanite an. Eine ausführliche Untersuchung der gesteintechnischen Eigenschaften verschiedener hessischer basaltischer Metavulkanite hinsichtlich ihrer Verwitterungsresistenz und Eignung als Naturwerksteine wurde veröffentlicht [22].

Tab. 14: Geotechnischetechnische Kennwerte basaltischer Metavulkanite (aus [5], dort zusammengefasst als „Diabas“; Richt- und Erfahrungswerte)

Technische Parameter*	„Diabas“ **
Rohdichte	2,75 – 2,90 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,1 – 0,4 Gew.-%
Druckfestigkeit	180 – 250 N/mm ²
Widerstand gegen Schlagbeanspruchung:	
Schotter 35/45 (SD10)	7 – 17
Splitt 8/12 (SZ _{8/12})	9 – 20
Widerstand gegen Polieren (PSV-Wert)	44 – 60

* Die genannten "Technischen Parameter" sind nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt und geben die Spanweiten mechanischer Parameter für das Gestein wieder.

** Bezeichnungen und Erläuterungen nach [5]

Die gesteintechnischen Eigenschaften hängen bei Metavulkaniten weniger von der Zusammensetzung (Alkalibasalt oder Tholeiit) als vielmehr vom Gefüge ab. Beispielsweise bedingt die intensive **Verzahnung der Minerale** in Metadoleriten und -pikriten (s.o. und Abb. 37) eine extrem große Gesteinsfestigkeit und -zähigkeit, sofern das primäre Gefüge nicht durch metamorphe Überprägung, Zerschierung oder oberflächennahe Verwitterung stark verändert ist (s.u.). Auch bei großer Gesteinsfestigkeit können jedoch grobkörnige Metadolerite und -pikrite relativ niedrige Widerstandswerte gegen Polieren (PSV-Werte) aufweisen.

Umgekehrt wird die Gesteinsfestigkeit sehr stark herabgesetzt, wenn das Gestein im Bereich von Überschiebungsbahnen zerschert ist (s.o.): Bei der **Zerschierung** wird das ursprünglich feste und homogene Gestein in viele meter- bis zentimeterkleine linsenförmige (sigmoidale) Scherkörper zerlegt (Abb. 42). Die Außenränder dieser Scherkörper sind mit Chlorit- und Serpentinmineralen belegt und fühlen sich daher sehr glatt und wachsartig-seifig an. Bei Schlagbeanspruchung zerfällt das Gestein an diesen internen Scherflächen; bei starker Zerschierung reicht als „Beanspruchung“ dazu bereits die eintretende Druckentlastung beim Herauslösen des Gesteins von der Steinbruchwand. Auch der Widerstand gegen Polieren (PSV-Wert) ist in solchen stark zerscherten Bereichen sehr gering.



Abb. 42: Bohrkern aus zerschertem Metadolerit, der in cm-kleine sigmoidale Scherkörper zerlegt ist; die Außenflächen der Scherkörper sind mit dunkelgrünem Chlorit und Serpentin belegt und daher glänzend, sehr glatt und wachsartig-seifig. Oben rechts liegt zerschertes Gestein im noch intakten Gesteinsverband; es zerspringt bei geringer Schlagbeanspruchung in die Scherkörper (Foto: N. Hug/HLUG)

Auch die oberflächennahe **Verwitterung** durch Niederschlagswasser und Frost kann das Gefüge der Metabasalte, -dolerite und -pikrite so stark überprägen, dass das Gestein seine ursprüngliche Festigkeit verliert. So neigen insbesondere Metadolerite und -pikrite mit homogenem Gefüge zur sog. Wollsackverwitterung und Vergrusung. Bei der Wollsackverwitterung entstehen durch die von Klüften ausgehende Verwitterung wollsackartig geformte runde Gesteinskörper, deren Durchmesser meist im Dezimeter- bis Meterbereich liegt (Abb. 43). Das Innere dieser „Wollsäcke“ ist i.d.R. noch unverwittert und fest und lässt sich als Naturstein (z.B. auch als Werkstein) häufig noch gut verwenden. Dagegen sind die Bereiche zwischen den „Wollsäcken“ zu cm-feinem Grus oder sogar zu Steinerde verwittert.



Abb. 43: Intensive Wollsackverwitterung in einem Metadolerit (oben rechts); der darunter liegende Metapikrit (unten links) hat hier ein anderes Gesteinsgefüge und weist daher keine Wollsackverwitterung auf (Foto: N. Hug/HLUG, 2005)

Die bei alkalibasaltischen Vulkaniten z.T. entwickelte Sonnenbrennereigenschaft (s. Kap. 12.1.) tritt bei alkalibasaltischen Metavulkaniten nicht auf.

Aus den hier genannten Beispielen der Variationsbreite der Gesteinseigenschaften basaltischer Metavulkanite und aus der im Abschnitt Geologie und Mineralogie dargestellten z.T. komplizierten geologischen Struktur der hessischen Metavulkanit-Lagerstätten geht hervor, dass bei der Erschließung neuer Lagerstätten und bei größeren Erweiterungsvorhaben eine detaillierte **geologische und technische Erkundung** unerlässlich sind. Der geologische Aufbau der Lagerstätte muss durch Bohrungen (i.d.R. Kernbohrungen) und ggf. begleitende geophysikalische Methoden möglichst genau erkundet werden. Die Bohrungsaufnahme sollte durch Geologen erfolgen, dabei ist auf Gefügemerkmale und auf strukturelle Besonderheiten (Scherzonen, Lagerungsverhältnisse etc.) zu achten. Nach dem ermittelten Lagerstättenaufbau richtet sich die weitere Abbaukonzeption. Die technischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinstypen der Lagerstätte sollten an Bohrkernstrecken der Erkundungsbohrungen testweise bestimmt werden. Der Untersuchungsumfang richtet sich auch nach dem geplanten Verwendungszweck des Rohstoffs (s.u.); in jedem Fall sollte der Widerstand gegen Schlagbeanspruchung, Frost-Tau-Wechsel und Polieren bestimmt werden.

12.2.5. Abbausituation und Verwendung

Basaltische Metavulkanite werden in Hessen ausschließlich im Tagebau gewonnen. Rohstoffwirtschaftlich und abbautechnisch besonders günstig sind Lagerstätten mit mächtigen, möglichst homogenen Metavulkanitvorkommen ohne zwischengelagerte Tuff- oder Sedimentschichten und ohne größere tektonische Bewegungs- bzw. Überschiebungszonen. Letztere erschweren eine Ab-

schätzung der tatsächlich gewinnbaren Rohstoffvorräte der Lagerstätte und machen daher aufwändige Voruntersuchungen und einen stärker differenzierten Abbau erforderlich.

Basaltische Metavulkanite aus hessischen Lagerstätten werden schwerpunktmäßig als **gebrochene Natursteine** für den Verkehrswegebau verwendet (v.a. Schotter, Splitt und Edelsplitt, s. allgemeiner Teil dieses Fachberichts). Lagerstättenbereiche mit minderen Qualitäten können z.T. als Frostschutzmaterial eingesetzt werden.

Ein für einige hessische Lagerstätten wichtiges Einsatzfeld bildet die **Mineralfaser- und Steinwolleproduktion** (rock wool), bei der basaltisches Gestein aufgeschmolzen und verdüst wird. Ebenfalls basaltische Gesteinsschmelze wird zur Herstellung von säurefesten Steinen und Konstruktionsteilen verwendet („Schmelzbasalt“). Bei diesen Verwendungszwecken werden seitens der weiterverarbeitenden Industrie besondere Anforderungen an die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Gesteins gestellt, die vom Steinbruchbetrieb in engen Grenzen eingehalten werden müssen. Darüber hinaus muss das Gestein homogen und möglichst feinkörnig sein. Nähere Angaben zu den speziellen Anforderungen siehe [5].

Basaltische Metavulkanite wurden früher sehr häufig und werden in kleinerem Umfang auch heute noch als **Werksteine** verwendet, insbesondere als Grab- und Denkmalsteine, Fassadenverkleidungen und Bodenbeläge [5]. Ein noch heute gängiger Werk- und Grabstein ist z.B. der Steinperfer oder Hirzenhainer Pikrit („Hessisch Grün“). Die Werksteingewinnung läuft häufig parallel zur Natursteingewinnung in bestimmten Steinbruchbereichen, vereinzelt gibt es auch separate, dann sehr kleine und nur gelegentlich betriebene Abbaustellen. Die verschiedenen hessischen Varietäten beschreibt und charakterisiert [22] eingehend. Tab. 15 zeigt Beispiele für hessische Metavulkanitvorkommen, die als Werksteine abgebaut werden oder wurden.

Tab. 15: Abbaustellen basaltischer Metavulkanite mit historischer oder noch aktueller (Fettdruck) Werksteingewinnung (Beispiele, überwiegend aus [22])

Gesteins-Nr. (STEINDLBERGER 2003)	Name (Fettdruck: in Be- trieb)	Gebiet	Alter	Gesteinstyp	Rechtswert	Hochwert
32	Niederbrechener Diabas	Lahn-Mulde	Mittel-/Oberdevon	Metabasalt	3439580	5581160
33	Ernsthäuser Diabas-Mandelstein	Lahn-Mulde	Mittel-/Oberdevon	Metabasalt	3453560	5591300
39	Hirzenhainer Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3459040	5628570
40	Dillener Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3446700	5623920
41	Rachelshäuser Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3466610	5628690
42	Bottenhorner Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3461260	5629460
43	Aßlarer Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3462170	5611010
44	Holzhäuser Diabas	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metabasalt/-dolerit	3465580	5630220
45	Eisemröther Diabas	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metabasalt/-dolerit	3459660	5622510
46	Steinperfer Diabas	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metabasalt/-dolerit	3463160	5631160
–	Steinperfer Pikrit	Dill-Mulde	Unterkarbon	Metapikrit	3463900	5631043

12.2.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Hessen verfügt über große Vorräte an basaltischen Metavulkaniten unterschiedlicher Qualitäten, daher stellen die basaltischen Metavulkanite zusammen mit den basaltischen Vulkaniten den größten Anteil der in Hessen abgebauten Natursteine. Gemessen an den Gesamtvorkommen ist derzeit ein relativ geringer Anteil als Rohstoffsicherungsgebiete gesichert (ca. 1650 ha, davon ca. 420 ha als Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten, GAoL, Bestand und Planung). Abhängig von der Nachfrage an hochwertigen Lagerstätten könnten nach entsprechender Erkundung weitere Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen werden. Beschränkt wird diese Möglichkeit allerdings zunehmend durch die Überlagerung durch Natura-2000-Gebiete und auch durch Wasserschutzgebiete (s. Kap. 7.2.).

12.2.7. Transportlage

Die Gewinnungsstellen basaltischer Metavulkanite sind über Kreis-, Landes- und Bundesstraßen erschlossen und haben darüber eine unterschiedlich direkte Verbindung zum Autobahnnetz. Der Abtransport des Schüttgutes erfolgt per Lkw, später z.T. auch per Schiff (Rhein).

12.2.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Basaltische Metavulkanite stellen zusammen mit basaltischen Vulkanite (siehe Kapitel 12.1.) den größten Anteil der in Hessen gewonnenen Natursteine. Aufgrund ihrer Verbreitung werden sie insbesondere in den westlichen Landesteilen sowie in den angrenzenden Bundesländern Rheinland-

Pfalz und Nordrhein-Westfalen vertrieben. Ihre volkswirtschaftliche Bedeutung ist insgesamt als hoch einzustufen.

12.2.9. Substitution und Recycling

Für basaltische Metavulkanite als gebrochene Natursteine gibt es im Wesentlichen die gleichen Substitutions- und Recycling-Möglichkeiten wie für andere Hartgesteine, soweit die Materialeigenschaften übereinstimmen (s. Kap. 11.).

Als Naturwerksteine sind basaltische Metavulkanite kaum durch gleichartig aussehende und technisch gleichwertige Materialien zu ersetzen. Auch für die Produktion von Steinwolle und Mineralfasern sind Substitute für basaltische Metavulkanite nur in den engen, von der Steinwolleindustrie vorgegebenen Grenzen der chemischen Zusammensetzung zu finden, i.d.R. nur bei anderen basaltischen Metavulkaniten oder bei basaltischen Vulkaniten (s. Kap. 12.1).

12.3. Phonolithe und Trachyte

12.3.1. Lage

Phonolithe treten nur in kleinräumigen Vorkommen in der Rhön auf. Aber nur in der Rhön sind Phonolithe von wirtschaftlichem Interesse. Das Verbreitungsgebiet der durch Erosion freigelegten Rhön-Phonolithe erstreckt sich östlich einer Linie Hünfeld-Ebersburg bis zur hessisch-thüringischen Landesgrenze mit einem Schwerpunkt im Raum Kleinsassen.

Trachyte, helle vulkanische Eruptivgesteine mit zumeist auffallend großen Feldspat (Sanidin)-Einsprenglingen, treten im Vogelsberg, in der Rhön und im Sprendlinger Horst nordöstlich Darmstadt punktuell auf. Im Sprentlinger Horst bei Dietzenbach (*Dietzenbacher Trachyt*) und bei Eppertshausen (*Eppertshäuser Trachyt*) wurde das relativ verwitterungsanfällige Gestein in der Vergangenheit als Naturwerkstein gewonnen. Heute spielt Trachyt als Rohstoff in Hessen keine Bedeutung mehr und soll hier nicht weiter erläutert werden.

12.3.2. Untersuchungsstand

Die einzige derzeit in Abbau stehende Phonolith-Lagerstätte bei Rupsroth ist durch Bohrungen und geophysikalische Untersuchungen gut erkundet. Für die übrigen Phonolithvorkommen besteht noch Erkundungsbedarf.

12.3.3. Geologie und Mineralogie

Der Name Phonolith leitet sich aus dem griechischen *phonaē* = Klang und *lithos* = Stein her, weil das Gestein freihängend einen hellen Klang beim Anschlagen erzeugt (Abb. 44). Seiner

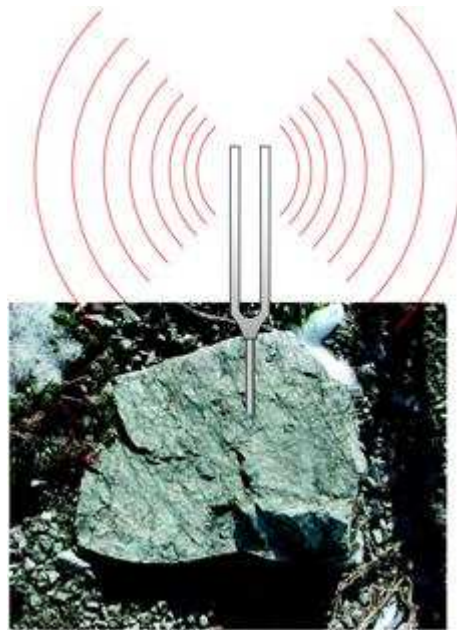


Abb 44. Phonolith ist als „Klangstein“ bekannt

mitunter vorhandenen Neigung zum Spalten in Platten verdankt das Gestein den Namen „Porphyrschiefer“.

Phonolithe sind SiO_2 -untersättigte, d.h. quarzfreie Vulkanite, foidmineralführend (z.B. Nephelin) sowie reich an Alkalifeldspat und daher durch markantem Natrium-Gehalte charakterisiert. Bedingt durch mineralogische Übergänge zum Gestein Trachyt werden manche Rhön-Phonolithe auch als *trachytische Phonolithe* bezeichnet.



Abb.45 Steinbruch Rupsroth: Der Phonolith ist als Staukuppe ausgebildet und wird von Buntsandstein überdeckt. Das Magma konnte die Erdoberfläche nicht erreichen. Pfeile symbolisieren den Magmenaufstieg.

Phonolithe zeigen mitunter säulige Abkühlungsstrukturen, die örtlich sogar fächerförmig angeordnet sind.

Im Handstück ist das Gestein grünlich- bis braungrau, teils grünlich schimmernd, durch abwechselnd helle und dunkle Minerale mit gesprenkeltem Erscheinungsbild (daher auch der alte Name *Phonolithporphyr*). Das Korngefüge der Grundmasse ist dicht bis feinkörnig mit Alkalifeldspat (Na-Sanidin) als Hauptbestandteil und als einzelne Einsprenglinge. Weitere Minerale sind: Pyroxene (Ägirin/Ägirinaugit: grün bis braungrün), Nephelin und Magnetit. Einzelne Blasen Hohlräume sind mit Mineralen der Zeolithgruppe wie Analcim, Calcit, Pyroxen oder Magnetit gefüllt. Ein Fließgefüge ist auf Grund von Schlieren annähernd parallel eingeregelter Na-Sanidin-Leisten erkennbar.

Vulkanische Aktivität war während des Tertiärzeitalters in der Kuppenrhön weit verbreitet. Vor ca. 18 Mio. Jahren (Miozän) stieg entlang älterer, tief greifenden Schwächezonen, alkalireiches, SiO₂-untersättigtes Magma in die ca. 240 Mio. Jahren alten Sandsteine des Buntsandsteins auf und bildeten Gänge oder Quellkuppen ohne die Erdoberfläche zu erreichen (Abb. 45). Diese domartigen Intrusivkörper wie z.B. am „Kesselskopf“ bei Rupsroth kühlten relativ schnell ab, wurde durch tektonische Aktivität mitunter grabenartig abgesenkt, und sind heute durch allmähliche Verwitterung und Abtragung partiell freigelegt.

Die Genese der alkalireichen intermediären Vulkanite wie der Phonolithe ist noch nicht eindeutig geklärt. Phonolithe lassen sich geochemisch aus Magmen der Trachytgruppe ableiten. Als Bildungsprozesse werden Differenziation und Schmelz/Schmelz-Intrusionen in tiefer gelegenen Magmenreservoirs angeführt. Möglicherweise spielen beide Prozesse eine Rolle.

12.3.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die technischen Parameter entsprechen im Groben denen der Basalte, jedoch ist Phonolith spezifisch leichter und hat nicht die Druckfestigkeit von Basalt (vgl. Tab. 16).

Tab.16: Geotechnische Kenngrößen von Phonolithen.

Technische Parameter*	Phonolith
Rohdichte	2,4 - 2,9 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,1 - 0,4 Gew.-%
Druckfestigkeit	180 - 250 N/mm ²
Biegezugfestigkeit	15 - 25 N/mm ²
Schleifabnutzung	5 - 8 cm ³ /50cm ²
* Die genannten "Technischen Parameter" sind nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt (zitiert nach [39])	

Aufgrund der geochemischen Eigenschaften, insbesondere der Natrium-Gehalte, besitzen Phonolithe darüber hinaus weitere Verwendungsmöglichkeiten. Der potentielle Veredelungsgrad von Phonolithen ist deshalb allgemein höher als der der Basalte. Qualitätsmindernde Sekundärminerale-

sationen können partiell in den Phonolithen auftreten. Die bis zu Grus zerfallenden Phonolithe sind hier von zentimetergroßen hellen, schneeflockenartigen Tonmineralen der Smektitgruppe durchsetzt. Die Quellfähigkeit, dieser wahrscheinlich durch späte Entgasungen entstandenen Sekundärminerale, ist für den Gesteinszersatz verantwortlich.

12.3.5. Abbausituation und Verwendung

In Abbau ist derzeit eine Lagerstätte mit zwei Steinbrüchen bei Rupsroth. Die Rohstoffmächtigkeit des Phonolithkörpers wird hier nach Erkundungen mit ca. 100 angegeben, von denen derzeit ca. 70 m in Abbau stehen. In Zukunft ist eine Vertiefung des Abbaus bis auf ca. 95 m angedacht. Die Überdeckung des Phonolithkörpers mit quartärem Hangschutt und Sandsteinen des Buntsandsteins schwankt sehr stark zwischen 0,3 m und bis zu 40 m.

Der industrielle Einsatzbereich der Phonolithe ist im Grundsatz mit Basalten vergleichbar. Aufgrund der spezifischen Mineralogie gibt es jedoch auch Unterschiede.

Ihre Eignung als Rohstoff in der Natursteinindustrie, vor allem ihre Wetterbeständigkeit, hängt vom Foidanteil – insbesondere in der Grundmasse – ab. Die Foide wie Nephelin neigen stark zur Zeolithisierung. Dieser Vorgang ist mit einer Zunahme des Wassergehaltes verbunden und eine Vorstufe der eigentlichen Verwitterung. Foidarme Phonolithe wie in der Lagerstätte Rupsroth, die schon mehr zu den Trachyten überleiten, werden auf Grund ihrer günstigen physikalisch-technischen Eigenschaften als gebrochene Natursteine wie z.B. hochwertigen Schotter, Splitt und Edelsplitt für den Straßenbau und als Betonzuschlag verarbeitet. Phonolith wird u.a. für hochwertiges Kellermauerwerk zu Kellerblöcken verarbeitet. Diese entsprechen den gestiegenen Anforderungen an Feuchte- und Wärmeschutz.

Bei plattiger oder parallelbankiger Absonderung sind sie auch als Natursteinwerksteine (*Rupsrother Phonolith*) verwendbar z.B. als Bruchmauersteine oder Dachplatten. Bruchmauersteine sind in Rupsroth vereinzelt als Sockelsteine alter Scheunen zu beobachten.

Zu Brechsand gemahlene Phonolithe eignen sich darüber hinaus als Flussmittel in der Glasproduktion. Wegen der Eisengehalte aber nur zur Farbglasherstellung. Das Gemenge schmilzt leichter, dadurch verringern sich Schmelztemperatur, Schmelzzeit und Energiebedarf. Die Verarbeitungstemperatur der Gläser ist eng begrenzt. Durch die erzielte Festigkeitssteigerung des Glases können dünnere Hohlglaswände produziert und damit Material eingespart werden. Das Glas ist gegen Auslaugung resistent und besitzt eine höhere thermische Beständigkeit.

In der Keramik werden Phonolithe als Zuschlag bei der Produktion von Wandfliesen und Fußbodenplatten, die nach dem Schnellbrandverfahren hergestellt werden (Verringerung der Sintertemperatur und Brennzeit), sowie zur Herstellung von Glasur- und Emailfritten eingesetzt. Als Gesteins-

mehl werden Phonolithe (besonders leucitreiche Phonolithe) als Düngemittel und Bodenverbesserer eingesetzt. Feingemahlen eignet sich Phonolith auch als Heilmittel für Fango-Anwendungen.

12.3.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Neben der in Abbau befindlichen Lagerstätte ist die Lagerstätte am „Kothenberg“ bei Tann/Rhön von wirtschaftlichem Interesse.

Die gewinnbaren Vorräte des in Abbau befindlichen Vorkommens werden auf > 2 Mio. t beziffert, ausreichend je nach konjunktureller Entwicklung für etwa 30 Jahre. Das Gesamtpotenzial an abbaufähigem Phonolith in Hessen ist derzeit nicht bezifferbar.

Aufgrund des hohen potenziellen Veredelungsgrades, seiner nur punktuellen und dezentralen Verbreitung in Hessen, sowie der hohen Raumwiderstände für Rohstoffabbau in seinem Verbreitungsgebiet, wird den Phonolithen ein hoher rohstoffstrategischer Stellenwert zugemessen.

12.3.7 Transportlage

Die in Abbau stehende Phonolith-Lagerstätte liegt im östlichen Teil des Wirtschaftsraumes Fulda mit einem guten Straßennetz und überregionaler Anbindung über die A7.

12.3.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Phonolith kommt aufgrund des vielseitigen Einsatzbereiches und spezifischen Chemismus sowie seines begrenzten Vorkommens eine volkswirtschaftliche Bedeutung in Hessen zu.

12.3.9. Substitution und Recycling

Nur für die Splitt- und Schotter-Gewinnung kann Phonolith durch andere Hartgesteine wie z.B. Basalt ersetzt werden.

12.4. Rhyolithe

12.4.1. Lage

Rhyolithe („Quarzporphyre“) permzeitlichen Alters treten im hessischen Teil des Odenwaldes in der Lagerstätte Weinheim-Birkenau auf, zu der auch der in Baden-Württemberg liegende Quarzporphyr-Steinbruch bei Weinheim gehört. Daneben treten Rhyolithe bei Groß-Umstadt auf.

12.4.2. Untersuchungsstand

Die Quarzporphyr-Lagerstätte ist auf hessischer Seite nur geologisch kartiert. Die rohstoffgeologischen Rahmenbedingungen werden weitestgehend denen des in Betrieb stehenden Abbaus in Baden-Württemberg entsprechen. Eingehende Erkundungen stehen jedoch noch aus.

12.4.3. Geologie und Mineralogie

Rhyolith ist ein saures, d.h. ein quarz- und feldspatreiches vulkanisches Ergussgestein. Die im Odenwald allgemein unter der Bezeichnung "Quarzporphyre" bekannten Rhyolithe werden als Ignimbrite (Schmelztuffe) gedeutet. Die Lagerstätte bei Weinheim stellt die Füllung eines Vulkanschlots mit einem Durchmesser von rd. 1,2 Kilometer dar, der umliegende unterkarbonische Granite und Granodiorite durchschlagen hat.

Kennzeichnend für die Quarzporphyre sind intensive Farbvariationen von violett über rot und grün bis grau. Charakteristisch ist eine dichte Grundmasse aus rekristallisiertem Glas und bis zu etwa 5 mm großen Einsprenglinge aus Quarz, Alkalifeldspat und selten Biotit. Die Feldspäte sind meist stark zersetzt. Ansonsten sind die Schmelztuffe in der Regel frisch.

12.4.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Das Gestein ist intensiv eng- bis weitständig geklüftet sowie örtlich von Scher- oder Störungszonen durchzogen.

Im aktiven Quarzporphyr-Steinbruch Weinheim liegt die Rohdichte zwischen 2,40 g/cm³ und 2,65 g/cm³, die Schlagzertrümmerungswerte zwischen 14 und 17,3, die Druckfestigkeit zwischen 82 und 255 N/mm² und Frostbeständigkeit (Absplitterung nach 10 Frost-Tau-Wechseln) zwischen 0,3–0,5 Gew.-%. Vergleichbare gesteintechnische Eigenschaften können für die dem Steinbruch angrenzenden hessischen Rhyolithe angenommen werden. Die Qualität als Naturstein kann als gut bis sehr gut eingestuft werden.

12.4.5. Abbausituation und Verwendung

Auf hessischer Seite steht kein Quarzporphyr in Abbau. Die nutzbare Gesteinsmächtigkeit in Abbaunähe kann mit > 230 m prognostiziert werden bei einer nur geringen Abraummächtigkeit (überwiegend Verwitterungsschutt) von wenigen Metern.

Der Rohstoff wird in Weinheim hauptsächlich zur Produktion von gebrochenem Naturstein für den Straßen- und Wegebau (Schotter, Splitt, Edelsplitt, Edelbrechsand, Mineralgemische) sowie für den Betonbau (Betonsplitt) genutzt. Daneben eignen sich größere Blöcke auch als Wasserbausteine.

Beim Aufbereitungsprozess anfallendes Gesteinsmehl ließe sich möglicherweise als Düngemehl verwerten. Ähnlich wie bei den Granodioriten nahe Heppenheim (Kap. 12.11.) praktiziert, könnte zudem eine Eignung als Sand-Splitt-Gemisch für die keramische und chemische Industrie bestehen.

In der Vergangenheit wurde bei Groß-Umstadt der Rhyolith als Naturwerkstein (*Groß-Umstädter Quarzporphyr*) gewonnen.

12.4.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Im Bereich der Lagerstätte Weinheim-Birkenau werden noch erhebliche geologische Vorräte im zwei- bis dreistelligen Mio. Kubikmeterbereich vermutet. Allerdings ergeben sich aus der Lage des Vorkommens in Ortsnähe zu Weinheim mit der Wachenburg sowie in einem landschaftlich sensiblen Bereich am Westrand des Odenwalds erheblich Nutzungskonflikte, was nicht zuletzt zur Stilllegung des weiter südlich gelegenen Dossenheimer Steinbruchs geführt hat. Von einer vollständigen Nutzung der Vorräte ist somit kaum auszugehen.

12.4.7. Transportlage

Die Lagerstätte bei Weinheim liegt insgesamt verkehrsgünstig in der Nähe der Parallelautobahnen A 5 und A 67 sowie der B 3.

12.4.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Quarzporphyr aus Hessen hat bisher keine konkrete wirtschaftliche Bedeutung. Der Abbau in Weinheim verdeutlicht jedoch, dass der Rohstoff insbesondere für den Ballungsraum Rhein-Neckar zur Versorgung der Bauindustrie von Interesse ist. Aufgrund der großen prognostizierten Vorräte, der guten Gesteinsqualität und der sehr guten Straßenanbindung ist die Bedeutung der Lagerstätte generell als überregional einzustufen.

12.4.9. Substitution und Recycling

Substitution durch Hartsteine vergleichbarer Qualität aus dem Odenwald ist einerseits zwar grundsätzlich möglich, andererseits aber produktabhängig und wird von der Verfügbarkeit alternativer Hartgesteine angrenzender Regionen bestimmt.

12.5. Metarhyolithe und -trachyte

12.5.1. Lage

Im Vordertaunus, einem wenige kilometer breiten Gesteinsband am Südrand des Taunus, hat Metarhyolith ein flächenmäßig großes und mehrere kleinere Verbreitungsgebiete., (Abb. 46).

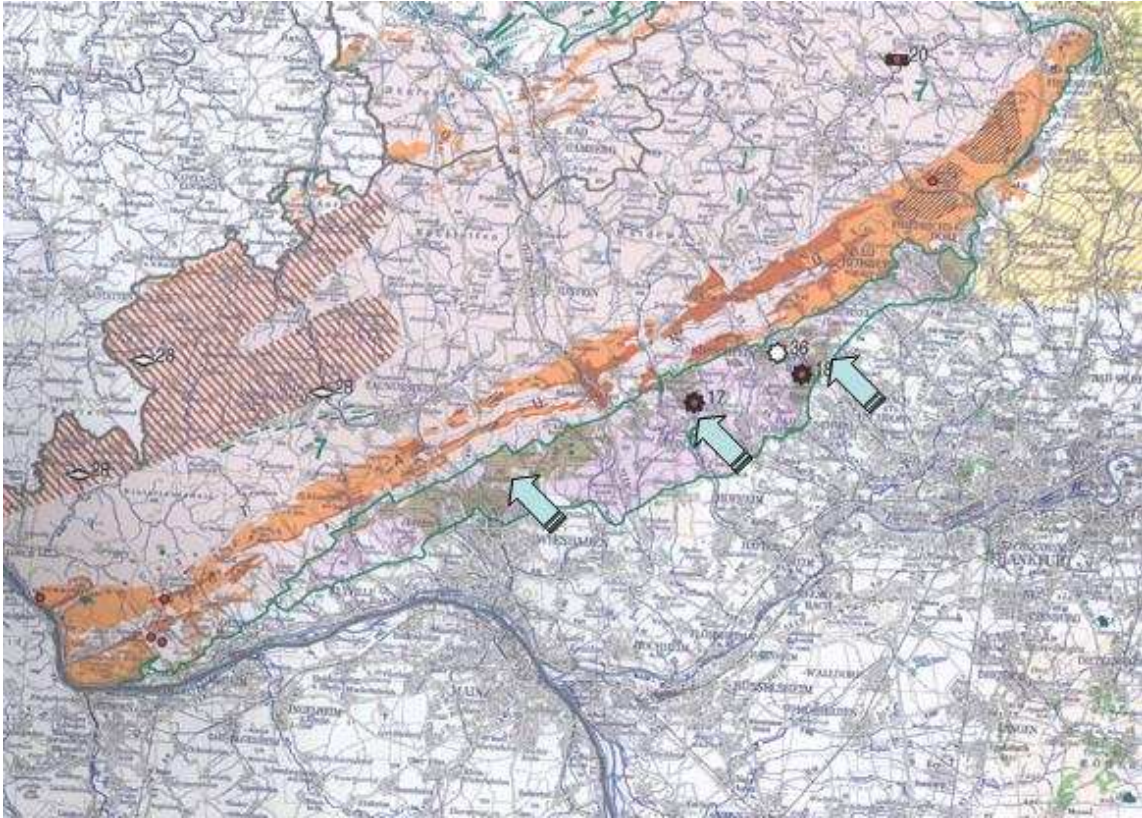


Abb. 46: Metarhyolite (Serizitgneise) sind im Vordertaunus verbreitet (braune, teils von Pfeilen bezeichnete Flächen).

Metarhyolithe (Quarzkeratophyre) und Metatrachyte (Keratophyre) treten ferner im Lahn-Gebiet von Wetzlar im Nordosten bis in den Limburger Raum bei Mensfelden im Südwesten an verschiedenen Stellen in schmalen durch Störungen versetzten NE-SW verlaufenden Gesteinszügen auf.

12.5.2. Untersuchungsstand

Der Untersuchungsstand der Metarhyolithe des Vordertaunus ist als ausreichend zu bezeichnen. Die komplexe Tektonik mit stark wechselnden Gesteinsarten und –qualitäten macht aber weitere Detailerkundungen sinnvoll.

Gesteine der Region Limburg - Lahn sind nur im und um den Abbaubereich südlich Mensfelden befriedigend rohstoffgeologisch erkundet.

12.5.3. Geologie und Mineralogie

Im Paläozoikum vor über 400 Mio. Jahren durchbrachen Vulkane die Erdkruste und förderten rhyolithische und andesitische Laven.

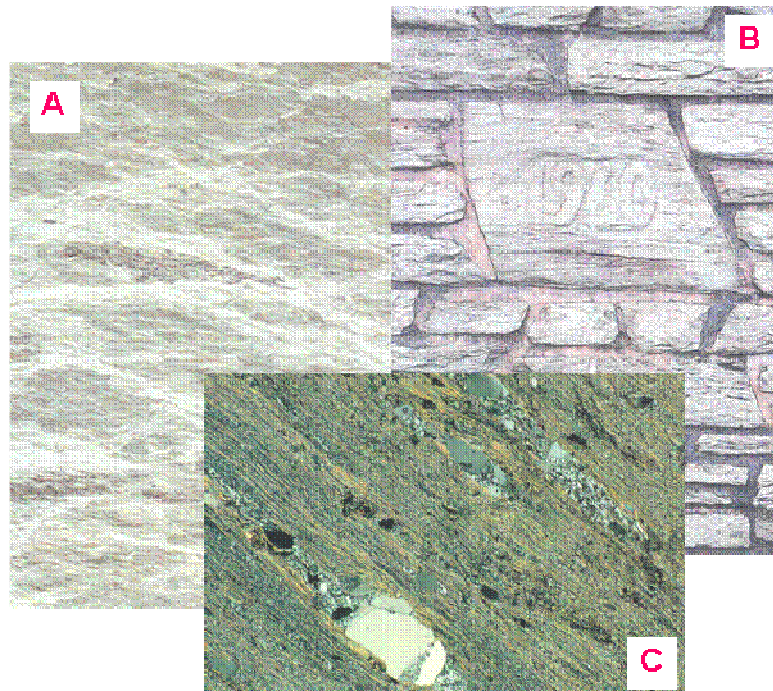


Abb. 47 Serizitgneis aus dem Taunus. A: natürliche Spaltfläche. B: Einsatz als Mauersteine. Gute Spaltbarkeit durch hohen Glimmeranteil. C: Dünschliffbild mit deutlich erkennbarer parallelen Einregelungstextur. Quelle: [40].

Diese Gesteine wurden bei der späteren Gebirgsbildung vor ca. 300 Mio. Jahren unter erhöhten Temperaturen gefaltet, geschiefert und kristallisierten unter Glimmerbildung (Serizit) zu Gneis, einem metamorphen Gestein, um.

Metarhyolithe und –andesite bilden charakteristisch Gesteinszüge am Südrand des Rheinischen Schiefergebirges; im linksrheinischen Hunsrück wie im hessischen Vordertaunus. Das Gestein ist unter dem Handelsnamen Taunus-Serizitgneis regional als Werkstein bekannt [40]. Es gehört erdgeschichtlich in das Silur [41].

Die Serizitgneise haben ein schiefriiges und flaseriges Erscheinungsbild (Abb. 47). Sie bestehen mineralogisch aus Quarz und Hellglimmer (Serizit, feinschuppiger Muskovit), aus Chlorit, der ihm die grüne bis graugrüne Farbe verleiht, und Epidot.

Quarzkeratophyre und **Keratophyre** und sind schwach metamorph überprägten Rhyolithe und Trachyte mit natronreichem Alkalifeldspat (Albit). Die sauren bis intermediären Vulkanite stehen zwar in einem engen räumlichen und zeitlichen Zusammenhang mit den ebenfalls in der Lahnmulde weit verbreiteten Metabasalten (Diabasen) und Metavulkaniklastiten (Schalsteine) des basischen Vulkanismus, stellen jedoch eine eigenständige Entwicklung dar.

12.5.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die relativ weichen, paralleltexturierten Serizitgneise sind als gebrochener Naturstein im Straßen- und Betonbau wenig geeignet. Ihre Spaltbarkeit und der hohe Quarzanteil macht Serizitgneis als Naturwerkstein interessant. Weitere technische Parameter sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. 17: Geotechnische Kennwerte des Taunus-Serizitgneis (nach [40])

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Taunus-Serizitgneis	hellgrünlich, dicht bis kleinkörnig, gute Spaltbarkeit entlang der Schieferungsflächen; Varianten: derber, dunkelbläulichgrün, etwas weniger gut spaltbar	2,69	2,66	1,09		0,31	0,41	0,77	Mauern, Bauten (vor allem Sockelbereiche) in unmittelbarer Nähe der Abbaugebiete; Friedhofsmauer und -kapelle von Fischbach

Die Quarzkeratophyre und Keratophyre wurden bei der variskischen Gebirgsbildung tektonisch stark beansprucht. Die technischen Eigenschaften entsprechen denen der Rhyolithe.

12.5.5. Abbausituation und Verwendung

Die letzten aktiven Serizitgneisbrüche liegen bei Kronberg und Eppstein im Taunus. Sie bauen das Gestein für Platten, Pfeiler, Sockel- Mauer- und Verblendsteine ab, die regional in der Bauindustrie sowie im Landschaftsbau Verwendung findet. Die Abbaumächtigkeiten liegen zwischen 30 und 45 m, die Abraumüberdeckung ist meist nur gering.

Außerdem wird in Hessen aktuell nur bei Mensfelden südöstlich Limburg Metarhyolith abgebaut. Dieser Mensfelder Quarzkeratophyr wird derzeit bis zu einer Abbaumächtigkeit von 60 m gewonnen und zu Edelsplit, Mineralgemische etc. verarbeitet. In der Vergangenheit diente das Gestein auch der Naturwerksteingewinnung.

12.5.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Geologische Vorräte sind im Vordertaunus mittel- bis langfristig noch ausreichend vorhanden. In den ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebieten sind insgesamt für mehr als 20 Jahre Rohstoffe vorhanden.

In der Lagerstätte Mensfelden betragen die Vorräte noch mehrere Mio. t Quarzkeratophyr.

Die Vorräte dieser Gesteinsgruppe können im Ganzen nicht beziffert werden. Sie spielen aber im Vergleich mit den Vorräten der Metabasalte nur eine untergeordnete Rolle.

12.5.7. Transportlage

Für Serizitgneise besteht eine gute Anbindung an das Rhein-Main-Gebiet.

Die Transportlage der übrigen Vorkommen ist unterschiedlich. Die Lagerstätte Mensfelden ist relativ gut an das Bundesstraßennetz und die A 3 angebunden.

12.5.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

In erster Linie wird der Taunus und das angrenzende Rhein-Main-Gebiet mit Serizitgneis-Naturwerkstein versorgt. Exporte gehen auch in benachbarte Bundesländer. Eine größere volkswirtschaftliche Bedeutung kommt dem Serizitgneis nicht mehr zu.

Die Gesteinsgruppe der übrigen Metarhyolithe und -trachyte hat regionale Bedeutung.

12.5.9. Substitution und Recycling

Als Naturwerkstein ist Serizitgneis schon wegen seiner charakteristischen Farbgebung für den Bau und die Restauration traditioneller Gebäude nicht durch heimisches Material zu ersetzen.

Substitution der übrigen Matarhyolithe und -trachyte durch andere Hartsteine des Rheinischen Schiefergebirges ist möglich.

12.6. Vulkaniklastite

12.6.1. Lage

Verfestigte Vulkaniklastite, überwiegend Tuffe, treten in unterschiedlicher Mächtigkeit, Zusammensetzung und Häufigkeit zusammen mit tertiären Vulkaniten auf. Verbreitungsschwerpunkte liegen im Vogelsberg und im Habichtswald. Aufgrund der Basaltvormacht bei den vulkanischen Gesteinen in Hessen besitzen auch die Vulkaniklastite überwiegend basaltischen Chemismus. Nur in der Rhön treten trachytische Vulkaniklastite (Ignimbrite und Agglutinate) in größerer Verbreitung und bis zu 300 m Mächtigkeit (durch Kernbohrungen belegt) auf.

12.6.2. Untersuchungsstand

Im Bereich der in Abbau stehenden Steinbrüche ist der Kenntnisstand gut. Viele Vorkommen vulkaniklastischer Gesteine sind aufgrund unregelmäßiger Einschaltungen in basaltische Abfolgen und ihrer derzeit geringen wirtschaftlichen Nutzung nur unzureichend erkundet oder bisher unbekannt. Bei der Basaltgewinnung gelten Vulkaniklastite überwiegend als Abraum oder störende Zwischenmittel innerhalb eines Basaltkörpers.

Die Erkundung von Vulkaniklastiten mit indirekten Methoden ist nicht immer zuverlässig. Je nach geochemischer und tektonischer Überprägung können vulkaniklastische Lagen z.B. bei geoelektrischer Lagerstättenerkundung als tonige oder bentonitische Gesteinseinheiten missgedeutet werden.

12.6.3. Geologie und Mineralogie

Vulkaniklastische Gesteine entstehen bei explosiven Vulkanausbrüchen aus herausgeschleuderten Magmapartikeln. Die so entstandenen Ablagerungen können nachfolgend abgetragen und umgelagert sein. Das aus einem Vulkan direkt herausgeschleuderte oder aus der Eruptionswolke herausriehlende, unverfestigte Material, die Tephra, kann aus Bomben und Blöcken (> 64 mm), Lapilli (2 - 64 mm), Aschen (0,064 - 2 mm), Staub (<0,064 mm), zusammengesetzt sein. Ist die **Tephra** extrem blasenreich, wird sie als Bims bezeichnet. Besteht sie überwiegend aus Bomben, die als sehr heiße und daher plastisch verformbare Lavafetzen aus dem Schlackenvulkan ausgeworfen wurden, handelt es sich um Schlackenagglomerate.

Die Verfestigung von Tephra und deren Umlagerungsprodukten kann einerseits durch Verschweißen oder Verschmelzen in glutflüssigem Zustand (z.B. Ignimbrite = Schweißtuffe oder Agglutinate = Schweißschlacken) oder durch sekundäre Bindemittel wie z.B. Zeolithe, Tonminerale oder Karbonate erfolgen. Bei letzterem Prozess entstehen **Tuffe und Schlackenagglomerate**.

Tuff (Abb. 48) ist ein gräulich, grünlich, gelblich, rötlich, violett, verfestigtes vulkanisches Auswurfprodukt mit stark variierenden Korngrößen und unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung. Nach Zugehörigkeit zum jeweiligen Vulkanittyp werden sie z.B. als Basalttuffe, Phonolithtuffe etc. bezeichnet.

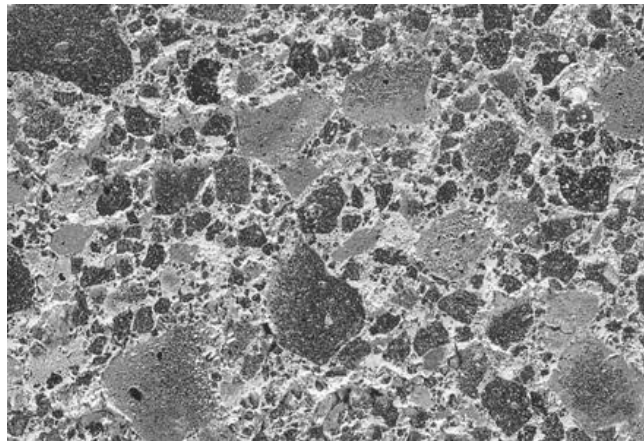


Abb. 48 Habichtswald-Lapillituff. Quelle: [40]

Schlackenagglomerat ist ein grobkörniges schwarzes, rotes, violettees oder gelbliches verfestigtes vulkanisches Auswurfprodukt basaltischer Zusammensetzung. Es ist aus heißen, plastisch verformbaren Lava-Fetzen entstanden, die nach ihrer Ablagerung und Abkühlung zementiert wurden (Abb. 49).

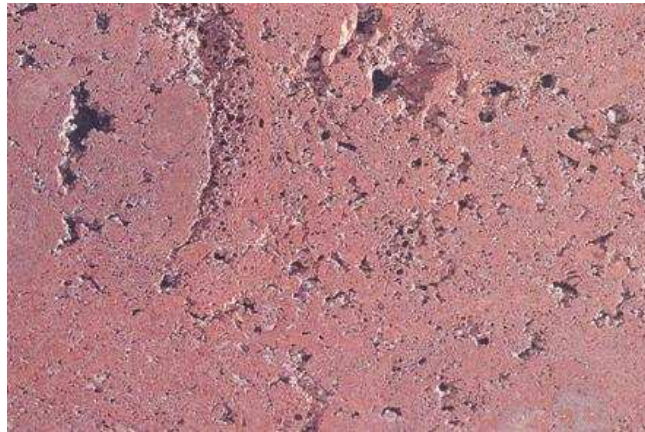


Abb. 49: Schlackenagglomerat. Quelle: [40]

12.6.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die heterogene Zusammensetzung der Tuffe Hessens bedingt sehr unterschiedliche Verwitterungseigenschaften. Alle Tuffe sind aber grundsätzlich gegenüber der Verwitterung anfällig. Gründe hierfür sind zum einen Tonminerale, insbesondere in Form von Zement, zum anderen ungünstige physikalische Eigenschaften wie zu hohe Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit, die sich bei Frost negativ auswirkt. Tuffe zeigen zudem eine geringe Druck- (20 - 30 N/mm²) und Biegezugfestigkeit (20 - 30 N/mm²). Die nachstehende Tabelle führt einige geotechnische Kennwerte hessischer Vulkaniklastite auf.

Tab. 18: Geotechnische Kennwerte hessischer Vulkaniklastite

Name (nach [40])	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Michelnauer Schlackenagglomerat	Schlackenagglomerat, schwachrot, mikrokristallin bis kleinkörnig, sehr porös; In den Hohlräumen bis 1 mm große, weißlichmilchige Zeolith-Kristalle; Es treten größere, mehr rötlichgraue Bereiche auf	2,92	1,62	44,51		18,07	27,55	0,66	Vereinzelte Grabsteine auf dem Fuldaer Zentralfriedhof und dem Friedhof an der Ockershäuser Allee in Marburg/Lahn; Bauten in Nidda; Fassadenverkleidung eines Supermarktes in Nürnberg
Habichtswald-Lapillituff	Hellgelblichbrauner Tuffstein mit cm-großen sehr dunkelgrauen und olivgrauen Lapilli; Durch die hohe Porosität ist das Gestein auffallend leicht	2,78	2,12	23,68		8,91	11,21	0,79	Herkules und Löwenburg im Bergpark Wilhelmshöhe, Kassel

Tuffe bestehen z. T. aus quellfähigen Mineralkomponenten. Dies induziert Quell- und Schrumpfprozesse mit irreparablen Strukturveränderungen. Durch Zeolithe zementierte Tuffe zeigen eine größere Härte und Beständigkeit als tonzementierte Tuffe. Unglücklicherweise sind die meisten hessischen Tuffe mit Ausnahme des *Michelnauer Schlackenagglomerats* tonzementiert.

12.6.5. Abbausituation und Verwendung

In der Vergangenheit wurden an verschiedenen Stellen Hessens Vulkaniklastite wie der *Laubacher Tuff*, *Großen-Busecker Tuff*, *Wallensteiner Tuff*, *Großroppershäuser Tuff*, *Schellbacher Tuff*, *Homburger Tuff* (graue bis bräunliche Varietät), *Homburger Tuff* (gelbliche Varietät), *Habichtswälder Tuff* (Essigberg), *Habichtswälder Tuff* (Teufelsmauer), *Heckershäuser Tuff*, *Reulbacher Tuff*, *Schottener Schlackenagglomerat* und das *Nonnenrother Schlackenagglomerat* als Naturwerkstein für den lokalen bis regionalen Gebrauch gebrochen.

In Abbau ist derzeit das Michelnauer Schlackenagglomerat am Wingertsberg nördlich Nidda. Das Schlackenagglomerat hat eine Mächtigkeit bis zu 14 m. Es tritt in seiner Mächtigkeit und Verbreitung gegenüber den basaltischen Ergussgesteinen stark zurück. Das Vorkommen am Wingertsberg wird als Abtragungsrest interpretiert.

Als Naturwerkstein findet das Gestein in den umliegenden Ortschaften als Grabstein in Mauern, Häusern und Kirchen Verwendung. So wurde z.B. die Kirche von Schotten – heute übertüncht – bereits vor dem 1. Weltkrieg mit Michelnauer Schlackenagglomerat restauriert. Auch in Fulda und Nürnberg diente der Rohstoff als Baumaterial.

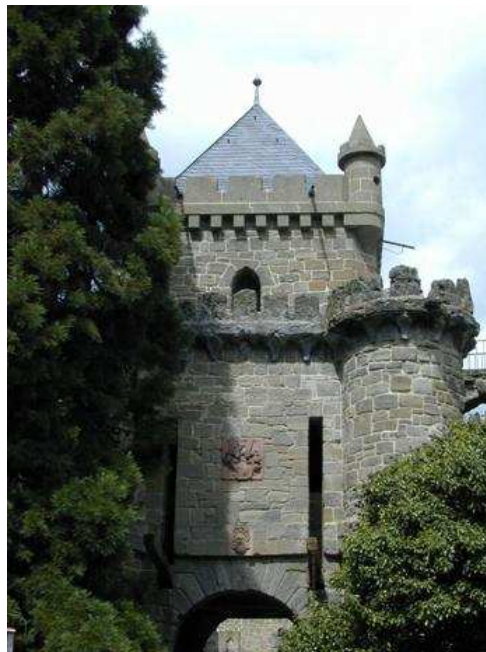


Abb. 50: Kasseler Tuff an der Löwenburg bei Kassel

Der *Habichtswälder-Tuff* (Kassler Tuff) im Druseltal (Kassel-Wilhelmshöhe) wurde in früherer Zeit abgebaut. Die massigen Tuffsteine, in Bohrungen bereichsweise bis 26 m mächtig, besitzen einzelne grobe ei- bis faustgroße Komponenten und liegen diskordant über Sedimenten des Tertiärs. Das Gestein ist von vielen Klüften (mittel- bis weitständig) durchzogen.

Der Rohstoff ist auch in bergfeuchtem Zustand leicht zu gewinnen und zu verarbeiten. So errichtete man das Kasseler Wahrzeichen, den Herkules sowie die nahe Löwenburg (Abb. 50) aus dem Lapolituf, der sich leider als verwitterungsanfällig erwies.

Bereits 1941 – noch vor den zerstörenden Bombennächten des Jahres 1943 – ließ die dortige Forstverwaltung den Steinbruch im Druseltal mit der Begründung schließen, dass der dort vorhandene Tuff für spätere Restaurierungsarbeiten am Herkules und der Löwenburg reserviert bleiben müsse [42]. Nur noch unregelmäßig wird der Rohstoff heute zu Restaurationszwecken (Bau- und Verblendsteine) gebrochen (Abb. 51).



Abb. 51: Tuff-Steinbruch im Druseltal, Kassel. Der Naturwerkstein wird hier in größeren zeitlichen Abständen nach Bedarf abgebaut.

Hierfür werden Blöcke mit ca. 3 m³ benötigt. Die Rohblockhöflichkeit liegt bei 28%, das Durchschnitts-Blockvolumen bei 0,16 m³. Aufgrund des ungünstigen Kluftsystems liegt die Ausbeute geeigneter Blöcke nur bei ca. 30% [43].

Auch die in der Rhön erbohrten Ignimbrite und Agglutinate (Trachytische Vulkaniklastite) könnten sich als möglicherweise als Werkstein eignen (Fassadenplatten etc.). Eignungsprüfungen hierzu wurden bisher nicht durchgeführt.

12.6.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Die bisher bekannten nutzbaren Vorräte an Vulkaniklastiten sind begrenzt. Das gilt insbesondere für den Kassler Tuff. Alternative kleinräumige Vorkommen zur Lagerstätte Druseltal im Kassler Raum sind entweder naturschutzrechtlich geschützt oder unwirtschaftlich. Vulkaniklastite als Naturwerksteine sind daher besonders schützenswert. Die bisher regionalplanerisch geschützten kleinräumigen Tuff-Flächen sollten in Zukunft als Rohstoffsicherungsflächen erhalten bleiben.

12.6.7. Transportlage

Infolge der Nähe zu den Bundesautobahnen A5, A7, A44 und die Nähe zu den Ballungsräumen Kassel und Rhein-Main ist die Transportanbindung als gut bis sehr gut zu bezeichnen.

12.6.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Vulkaniklastite besitzen als Restaurationsmaterial für Kulturgüter überregionale Bedeutung.

12.6.9. Substitution und Recycling

Für Restaurationsmaßnahmen sind Vulkaniklastite mit spezifischer Musterung und Farbe nicht ersetzbar.

12.7. Metavulkaniklastite

12.7.1. Lage

Schwach metamorph überprägte basaltische Vulkaniklastite kommen in Rheinischen Schiefergebirge im Bereich des Dill- und Lahn-Gebietes vor. Sie sind hier mit Metabasalten (Diabas), Tonschiefern, Massen- und Plattenkalken sowie Roteisenstein assoziiert. Ehemalige Abbaubereiche liegen im Raum Wetzlar.

12.7.2. Untersuchungsstand

In Teilbereichen früherer Abbautätigkeit und Neukartierungen alter geologischer Kartenblätter ist der Untersuchungsstand als befriedigend zu bezeichnen. Weiterer Erkundungsbedarf besteht in den übrigen Regionen.

12.7.3. Geologie und Mineralogie

Vor ca. 380 Mio. Jahren (Devon-Zeit) waren das Lahn- und Dill-Gebiet Zentren eines intensiven Vulkanismus, der überwiegend unter Meerwasserüberdeckung stattfand. Neben Basaltlava entstanden durch eruptive Ereignisse auch Vulkaniklastische Gesteine (basaltische Tuffe). Durch schwach

metamorphe Überprägung im Zuge der variskischen Gebirgsbildung wurde der Basalt zu Metabasalt und der basaltische Tuff zu Metavulkaniklastit.



Abb. 52: Schalstein

Bei den in Hessen auftretenden basaltischen Metavulkaniklastiten handelt es sich von wenigen Ausnahmen abgesehen um häufig schiefrig entwickelte Gesteine, die im Rheinischen Schiefergebirge unter dem bergmännischen Begriff **Schalstein** (Abb. 52) bekannt sind.

12.7.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Aufgrund seiner häufig schiefrig entwickelten und damit instabilen Gesteinsausbildung entspricht Schalstein heute nicht mehr den Qualitätsanforderungen für Naturwerkstein. Das Material ist in der Regel sehr verwitterungsanfällig, so dass man bereits seit längerer Zeit von einer Verwendung mehr und mehr absah. Zum Einsatz kommt Schalstein mitunter noch bei Restaurationsarbeiten.

12.7.5. Abbausituation und Verwendung

Heute stehen keine Schalstein-Steinbrüche mehr in Abbau. In der Vergangenheit war die Region Wetzlar-Blasbach-Waldgirmes für den Abbau von *Wetzlaer-* und *Blasbacher Schalstein* bekannt. Aber auch im Bereichen Oberscheld, Runkel und Weilmünster (*Oberschelder-, Runkeler- und Weilmünsterer Schalstein*) wurde das Gestein als Naturwerkstein für Mauerwerke und im Straßenbau eingesetzt. Kirchen der Region bis hin zum Limburger und Wetzlarer Dom bestehen zu Teilen aus Schalstein und belegen den in der Vergangenheit aktiven Schalstein-Abbau.

12.7.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Vorräte sind im Rheinischen Schiefergebirge noch vorhanden können aber nicht beziffert werden. Im Raum Blasbach ist eine Schalstein-Lagerstätte als Rohstoffsicherungsfläche ausgewiesen. Weiterer Sicherungsbedarf ist derzeit nicht zu erkennen.

12.7.7. Transportlage

Die Anbindung an das hessische Bundesstraßen- und Autobahnnetz ist sehr heterogen. Günstig ist die Situation im Raum Wetzlar.

12.7.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Schalstein besitzt derzeit keine volkswirtschaftliche Bedeutung.

12.7.9. Substitution und Recycling

Schalstein ist durch andere Hartgesteine substituierbar mit Ausnahme der Restauration regional-spezifischer Gebäudebilder.

12.8. Sandsteine, Grauwacken und Quarzite

In diesem Kapitel werden quarzreiche Hartgesteine sedimentären Ursprungs behandelt.

12.8.1. Lage

Einkieselungsquarzite

Einkieselungsquarzite oder *Zementquarzite* treten in einzelnen Blöcken und Platten, aber auch als mehrere Meter bis Zehnermeter durchhaltende Lagen innerhalb tertiärer Sande auf (Abb. 53).

Das Verbreitungsgebiet der Zementquarzite entspricht dem Verbreitungsgebiet der (Quarz-) Sande des Tertiärs: v.a. die Niederhessische Senke, Giessener Becken und Wetterau, außerdem die Randbereiche der tertiären Vulkangebiete des Vogelsberges, des Westerwaldes und der Rhön.



Abb. 53 Zwei Zementquarzit-Platten in einer ehemaligen Abbauwand einer Sandgrube südlich Kassel bei Ellenbach

Sandsteine des Buntsandsteins

Ein Blick auf die geologische Übersichtskarte zeigt: Hessen ist ein Sandsteinland, genauer gesagt ein „*Buntsandsteinland*“. Große Teile Nordhessens aber auch Regionen von Mittel- und Südhessen sind von Buntsandstein bedeckt. Die Sandsteine und Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen erstrecken sich vom Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges beginnend im Marburger Raum über die Frankfurter Bucht, den Kellerwald-Rand und die Korbacher Bucht bis in den äußersten Norden Hessens nach Bad Karlshafen (Reinhardswald). Im Osten erstreckt sich der Buntsandstein über Witzenhausen- Eschwege- Bad Hersfeld bis Fulda und entlang der östlichen und südöstlichen Vogelsberg-Umrandung bis nach Gelnhausen und Büdingen. Der sog. „Buntsandstein-Odenwald“ östlich einer Linie Groß-Umstadt - Wald-Michelbach bildet den südlichsten Anteil dieser Gesteinseinheit in Hessen.

Sandsteine des Rotliegend

Von großem Bekanntheitsgrad und ökonomischer Bedeutung in der Vergangenheit war der *Cornberger Sandstein* des obersten Rotliegend im Raum Cornberg bei Sontra. Daneben hatten Rotliegend-Sandsteine der Wetterau und des Sprendlinger Horstes nordöstlich Darmstadt (Langen) wirtschaftliche Bedeutung. Historische Steinbrüche liegen auch bei Bad Vilbel.

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Sandige marine Sedimentschüttungen des Devons und Karbons, die sich zu sogenannten Grauwacken verfestigten, kommen im gesamten Raum des Rheinischen Schiefergebirges und in den paläozoischen Aufbrüchen Nordosthessens vor. Die Hauptverbreitungsgebiete liegen im Rheinischen Schiefergebirge in zahlreichen, mehr oder weniger parallel Südwest-Nordost verlaufenden Gesteinszügen zwischen Herborn und Hatzfeld, westlich von Gießen, im Sauerland und im Kellerwald. Außerhalb des Rheinischen Schiefergebirges sind z.B. der sogenannte Werra-Aufbruch

(Werra-Grauwackengebirge) zwischen Witzenhausen und Eschwege und der Baumbacher Aufbruch nordwestlich Rotenburg a. d. Fulda zu nennen.

In den marinen Sedimenten des Devons im Rheinischen Schiefergebirge treten z.T. Sandsteinlagen auf, von denen der oberdevonische *Nehden-Sandstein* von rohstoffgeologischem Interesse ist.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Metamorph überprägte Quarzsandsteine („Quarzite“) unterschiedlichen Alters treten im Rheinischen Schiefergebirge (*Taunusquarzit*, *Wollenberg-Quarzit*, *Ems-Quarzit*, *Kammquarzit*), im Odenwald und im Spessart auf.

12.8.2. Untersuchungsstand

Einkieselungsquarzite

Der Untersuchungsstand ist sehr heterogen, Arbeiten über Entstehung und Zusammensetzung der Zementquarzite stammen vorwiegend aus der ersten Hälfte des 20. Jh. (z.B. [44], [45]).

Sandsteine des Buntsandsteins

Über die Sandsteine des Buntsandsteins in Hessen liegt eine große Vielzahl von Veröffentlichungen vor, allerdings meist ohne lagerstättenkundlichen Schwerpunkt. Die Bausandsteine des Marburger Raums untersuchte [46], den Cornberger Sandstein, den Wesersandstein u.a.[43].

Die nutzbaren Gesteinsschichten sind in und um die derzeitigen Abbaustellen hinreichend erkundet.

Zukünftige Lagerstättenausweisungen mit entsprechenden Rohstoffqualitäten bedürfen noch eingehender Erkundungen. Beispielsweise sind Sandsteine des Unteren Buntsandsteins im Odenwald zwar weit verbreitet. Sie lagern allerdings häufig in ungünstiger Hang- bzw. Höhenlage, nicht selten von Abraum größerer Mächtigkeiten bedeckt. Aussagen über die tatsächliche Bauwürdigkeit der Vorkommen, die in Lagerstätten-Ausweisungen münden könnten, sind erst nach eingehenden Erkundungen möglich. Diesbezügliche Untersuchungen wurden bisher nicht in ausreichendem Maße durchgeführt.

Sandsteine des Rotliegend

Der Cornberger Sandstein ist in der Vergangenheit eingehend erkundet worden. Die Rotliegend-Sandsteine zwischen Taunus, Odenwald und Spessart beschreiben z.B. [47] und [48] detailliert, allerdings ohne rohstoffkundliche Schwerpunkte.

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Die nord- und mittelhessischen Grauwacken sind im Umfeld der Abbaubereiche relativ gut erkundet. Aufgrund des Hartstein-Mangels im nordhessischen (Kasseler) Raum besteht für die Grauwacken ein erhöhter Erkundungsbedarf.

Lagerstätten für Nehden-Sandsteine sind bisher nicht ausgewiesen. Eine Erkundung wirtschaftlich nutzbarer devonischer Sandsteine steht noch aus.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Für den sog. Taunusquarzit sind bereits genehmigte und geplante Abbaubereiche hinreichend erkundet, für die übrigen Lagerstätten besteht noch Untersuchungsbedarf.

12.8.3. Geologie und Mineralogie

Einkieselungsquarzite

Zementquarzite sind durch SiO_2 (Kieselsäure bzw. Quarz) „verkittete“ zementierte Quarzsande. Die Quarz-Zementation kann entweder auf migrierende alkalische Grundwässer oder auf saure Wässer mit hohem Gehalt an organischer Substanz hinweisen. In Mooren treten z.B. deutlich erhöhte Anteile an SiO_2 in gelöster Form auf. Wo solche Wässer durch die Quarzsande sickern, ist die Bildung von Zementquarziten denkbar. Für diese Entstehung spricht auch, dass Zementquarzite besonders häufig in tertiäre Quarzsande eingelagert sind, die mit Braunkohlen assoziiert sind - daher auch der Name *Braunkohlen- oder Tertiärquarzit*.

Durch Erosion freigelegte Quarzitblöcke werden auch als *Findlingsquarzite* bezeichnet.

Sandstein

Unter Sandstein versteht man ein sedimentäres Festgestein aus gerundeten bis kantigen Bruchstücken (Klasten) älterer erodierter Gesteine mit Korngrößen überwiegend zwischen 0,063 mm und 2 mm Durchmesser. Im Gegensatz zu den meisten anderen Gesteinen ist der Sandstein nicht durch einen bestimmten Mineralbestand definiert. Als Hauptkomponente tritt überwiegend das relativ verwitterungsresistente Mineral Quarz auf, daneben Feldspäte und Gesteinsbruch verschiedener Hartgesteine und Glimmerminerale. Als Bindemittel (Zement) in den Zwickeln zwischen den Körnern können v.a. Quarz, Tonminerale und Kalzit auftreten. Ein Sandstein, der zu mehr als 90% aus Quarzkörnern besteht, wird als **Quarzsandstein** bezeichnet.

Die im Folgenden beschriebenen Sandsteine des Buntsandsteins und des Rotliegend sind für die Naturwerksteingesinnung (Bausandsteine) von Bedeutung. Als gebrochene Natursteine eignen sich diese Sandsteine in der Regel nicht.

Buntsandstein

Die Gesteine des Buntsandsteins sind Abtragungsprodukte des Variszischen Gebirges. In Schichtfluten und flachen, wenig kanalisierten Flüssen wurde die Sedimentfracht in der Hessischen Senke z.T. abgelagert, z.T. weiter nach Norden in eine trockene von Salzablagerungen geprägte Ebene (Playa-Ebene) transportiert.

Die Hessische Senke ist eine im ausgehenden Perm angelegte Senkungszone, die sich östlich des Schiefergebirges über große Teile Hessens bis weit nach Niedersachsen hinein erstreckt. Die

stärksten Absenkungen, insbesondere im Mittleren Buntsandstein, fanden im Gebiet des Reinhardswaldes (Reinhardswald-Trog) und seinen angrenzenden Gebieten statt.

Beckeninterne Schwellen (Bereiche verzögerter Absenkung) modifizieren, vorwiegend im Mittleren Buntsandstein, das interne Relief der Hessischen Senke und beeinflussen die Mächtigkeit und Ausprägung der Schichtenfolge.

Die Ablagerungen der Buntsandstein-Zeit bestehen in Hessen überwiegend aus Sandsteinen, in die bereichsweise zahlreiche Tonschluffsteinlagen eingeschaltet sind. Man gliedert den Buntsandstein in Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandstein mit jeweils mehreren „Folgen“ (s.u.). Jede Folge beginnt in der Regel mit Sandsteinen und enthält erst im oberen Bereich zunehmend mehr eingelagerte Tonschluffsteine.

Die Buntsandstein-Schichten liegen überwiegend horizontal bis 15° einfallend. Die Bankmächtigkeiten schwanken zwischen 20 cm und > 1 m. Insbesondere die Sandsteine werden durchzogen von einer mehr oder weniger senkrechten Klüftung (weit- bis engständig). Die härteren Werkstein- bzw. Bausandsteinhorizonte treten gegenüber tonsteinreicheren Abschnitten stufenbildend in Erscheinung.

Infolge einer jüngeren tektonischen Phase (Saxonische Tektonik) wurden die Buntsandsteinschichten der Hessischen Senke in zahlreiche Bruchschollen und schmale Gräben zerlegt. In Störungs- und Grabennähe sind die Schichten des Buntsandsteins mitunter stärker verkippt oder in Staffelbrüchen abgesenkt.

Unterer Buntsandstein (su)

Kennzeichnend für den Unteren Buntsandstein sind rotbraune Feinsandsteine mit nach oben immer zahlreicheren und deutlicher Glimmerführung. Die Sedimentschichten sind meist deutlich gebankt oder plattig mit ebenen Schichtflächen.



Abb. 54 Bildhauerische Arbeit in einem Steinbruch bei Marburg, Niederweimarer Sandstein (Unterer Buntsandstein). Quelle: [40]

Der Untere Buntsandstein erreicht in Hessen seine größte Gesamtmächtigkeit mit etwa 320 m im Reinhardswald. Gegen den Rand des Rheinischen Schiefergebirges reduziert sich die Mächtigkeit im Raum Korbach auf 200 - 230 m und südlich des Kellerwaldes auf ca. 130-175 m, bei Marburg sogar auf nur noch 105—115 m. Am Südrand des Vogelsberges beträgt die Gesamtmächtigkeit des Unteren Buntsandstein 170-285 m, in der Rhön (bei Neuhof) bis 315 m.

Im Odenwald ist der Untere Buntsandstein ca. 200 m mächtig. Zusätzlich zu den o. g. typischen Gesteins-Charakteristika enthält er im Odenwald vereinzelt Quarzgerölle.

Die wirtschaftlich interessanten Werksandsteine des Unteren Buntsandsteins liegen im unteren Teil der Einheit, da sich nach oben zunehmend mehr Ton-/Schluffeinlagen einschalten und die Sandsteine i.A. dünnbankiger/plattiger werden. Bei den Werk- oder Bausandsteinen handelt es sich um rotbraune Feinsandsteine, in Süd- und Südosthessen Fein- bis Mittelsandsteine, die sich durch gute Sortierung, und - auch an den Rändern zum Rheinischen Schiefergebirge – durch fast fehlende Geröllführung auszeichnen. Die mächtigeren Buntsandsteinbänke sind überwiegend massig oder schräggeschichtet und haben ebene Bankflächen. Die Werksteinbänke werden durch dünne tonig-schluffige Zwischenlagen voneinander getrennt.



Abb. 55: Abbau von Naturwerkstein aus dem Unterem Buntsandstein im Odenwald bei Grasellenbach.

Im Buntsandstein-Odenwald liegen die Werksandsteinhorizonte vorwiegend in der Miltenberg-Formation ([49], früher „Pseudomorphosensandstein“). Die Sandsteine sind mittel- bis feinkörnig, überwiegend dickbankig (1–2 m, in Einzelfällen auch 4–5 m), hell- bis mittelrot, gelegentlich weiß geflammt. Hauptbestandteile der Sandsteine sind Quarz, Plagioklas und Alkalifeldspäte.

Der alte Name „Pseudomorphosensandstein“ beruht auf dem verbreiteten Auftreten stecknadelkopf- bis erbsengroßer dunkler Flecken, die auf Anreicherungen von Eisen- und Manganoxiden in Karbonatzementflecken zurückzuführen sind. Diese Karbonatzementflecken verwittern rasch und hinterlassen charakteristische Vertiefungen oder „Löcher“.

Mittlerer Buntsandstein (sm)

Die Sandsteine des Mittleren Buntsandstein sind gegenüber denen des Unteren Buntsandsteins deutlich gröber (mittel- grobkörnig) und räumlich stärker differenziert. Auf Schwellenbereichen innerhalb der Hessischen Senke und im Übergang zum Rheinischen Massiv ist die Mächtigkeit des Mittleren Buntsandsteins z.T. deutlich reduziert: so nimmt die Gesamtmächtigkeit von maximalen ca. 650 m bei Kassel auf Werte von 240 bis 270 m am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges und sogar bis unter 100 m im Raum Eschwege (sog. Eichsfeld-Altmark-Schwelle) ab.

Die Ablagerungen des Mittleren Buntsandsteins werden in vier Folgen unterteilt: Die Volpriehausen-Folge (Basis des Mittleren Buntsandsteins), die Dethfurt-Folge, die Hardeggen- und die Solling-Folge (Top des Mittleren Buntsandsteins). Jede dieser vier Folgen beginnt in der Regel mit relativ groben Sandsteinen und enthält nach oben immer mehr Tonschluffsteinlagen. Die Gesteinsausbildung der vier Folgen ist insgesamt ähnlich, im Einzelnen jedoch durchaus unterschiedlich und variiert auch räumlich. Sie soll hier jedoch nicht näher erläutert werden. Bausandsteinhorizonte finden sich v.a. in der Solling-Folge (insbes. des Reinhardswaldes), daneben auch in Dethfurth- und Hardeggen-Folge (v.a. Osthessens), weniger in der Volpriehausen-Folge.

Etwas näher erläutert werden sollen hier nur die für den Naturwerksteinabbau besonders wichtigen Sandsteine der Solling-Folge:

Die Solling-Folge wird in 4 Einheiten untergliedert (von unten nach oben): Wilhelmshausen-Schichten, Trendelburg-Schichten, Karlshafen-Schichten und Stammen-Schichten. Bei allen Einheiten der Solling-Folge handelt es sich im hessischen Verbreitungsgebiet um stark sandsteindominierte Einheiten; die Korngröße der Sandsteine nimmt von den Wilhelmshausen-Schichten zu den Karlshafen-Schichten nach oben tendenziell ab.

Die weiß-grauen bis gelblichen, ton- und glimmerarmen Mittel- bis Grobsandsteine der *Wilhelmshausen-Schichten* weisen Feldspatgehalte von > 10% und einen Quarzzementanteil bis zu 18% auf. Die Geröllführung nimmt mit Korngröße und Häufigkeit von S nach N ab. In den *Trendelburg-Schichten* überwiegen dagegen graue bis rötlichgraue Mittel- bis Feinsandsteine mit einem Feldspatgehalt von über 15%. Die Kornbindung erfolgt über Quarzzement, der örtlich einen Gesamtanteil von 18% erreichen kann. Als weitere Komponenten sind Kaolinit, Illit und Muskovit zu nennen. Die glimmerreichen Feinsandsteine der *Karlshafen-Schichten* weisen Ton- und Feldspatgehalte von jeweils > 15% und einen Quarzzementanteil von 2-8% auf. Die vorherrschenden Tonminerale sind Kaolinit, Illit, Chlorit und Vermiculit.

Der höchste Teil der Solling-Folge, die *Stammen-Schichten*, setzt in weiten Teilen der nördlichen Hessischen Senke (besonders in Niedersachsen) flächenhaft mit einem kompakten Schluffsteinpaket ein.

In Hessen enthalten die Stammen-Schichten noch relativ viele Sandsteine, die jedoch durch – nach Norden immer häufigere – Tonschluffsteinlagen voneinander getrennt sind. Werksteinqualitäten finden sich in den hessischen Stammen-Schichten daher i.A. nicht.

Oberer Buntsandstein (so)

Die im Unteren und Mittleren Buntsandstein Hessens vorherrschende sandige Sedimentation wird im Oberen Buntsandstein (Röt-Folge) zunehmend auf die südlichen Randbereiche der Hessischen Senke zurückgedrängt. Von einigen wenigen grobklastischen Einschaltungen abgesehen weist der Obere Buntsandstein daher nur im Odenwald mächtigere Sandsteinvorkommen (Plattensandsteine und Rötquarzit) Werksteingewinnung im Oberen Buntsandstein erfolgt jedoch nicht im Odenwald, sondern erst weiter östlich in Unterfranken (Bayern).

Rotliegend

Die ehemaligen Abbaustellen des Cornberger Sandsteins liegen in einer kleinräumigen horstartigen, NNW–SSE gestreckten Scholle des Rotliegenden, in der die Sonderentwicklung des Cornberger Sandsteins aufgeschlossen ist. Allseitig wird dieser Aufbruch von Gesteinen des Zechsteins überlagert.

Bei dem Cornberger Sandstein handelt es sich um einen fein- bis grobkörnigen, überwiegend feingeschichteten (mm–cm) Sandstein, der neben Quarz Feldspat und viele Gesteinsbruchstücke

führt. Der Sandstein kann je nach Position kieselig, karbonatisch oder tonig gebunden sein. Die Farbe variiert zwischen gelbbraun und grau. In Teilbereichen sind Schluff- und Tonsteineinschaltungen zu beobachten. Charakteristisch sind mehrphasige Ausfällungszonen von Eisenoxidhydraten (Liesegang'sche Ringe), die sich am Kluftmuster des Gesteinsverbandes orientieren. Die gesamte Schichtfolge erreicht im Steinbruchbereich eine Mächtigkeit von ca. 15 m, fällt nach Nordosten ein und wird von Nordwest–Südost-streichenden Verwerfungen durchzogen. Die südhessischen Rotliegend-Sandsteine sind überwiegend relativ grobkörnige, z.T. kiesige Sandsteine, die als Schwemmfächer- oder auch Schichtflutsedimente in der Nähe damaliger Hochgebiete abgelagert wurden. Ihre Gesteinsausbildung wurde ausführlich beschrieben ([47], [48]) und soll aufgrund der heute nicht mehr gegebenen Bedeutung als Werkstein hier nicht näher dargelegt werden.

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Die *Nehden-Sandsteine* sind marine Ablagerungen und wechsellagern mit Tonschiefern. Während der variszischen Gebirgsbildung wurden die Sedimentgesteine verfaltet, verschuppt und schwach metamorph überprägt.

Grauwacke ist ein bergmännischer Begriff aus dem Harz für dunkelgraue, braungraue bis grünlichgraue Sandsteine mit einem hohen Anteil an nur wenig gerundeten Gesteinsbruchstücken wie z.B. Quarzit und Tonschiefer und einem markanten tonigen Anteil (Matrix).



Abb. 56 : Edersee-Grauwacke. Quelle: [40]

Diese von der Kornzusammensetzung her „unreinen Sandsteine“ sind schlecht sortiert und weisen eine „gradierte Schichtung“ (aufsteigend feinere Korngrößen) auf. Das Korngrößenspektrum von Grauwacken (Abb. 56) ist insgesamt breit, es reicht von Feinsandsteinen über die besonders häufigen Mittel- bis Grobsandsteine bis hin zu sehr grobkörnigen, kiesigen Varianten, die eher an Brekzien erinnern.

Grauwacken können im cm- bis dm-Bereich mit Tonschiefern wechsellagern oder mehr als 1 m mächtige Bänke ausbilden, die nur untergeordnet durch dünne Tonschieferlagen getrennt sind. Grauwacken bilden sich aus Dichteströmungen, sog. "turbidity currents", das sind große untermeerische Rutschmassen an Kontinentalhängen. Wird dort lockeres, wasserreiches Sediment angehäuft, so kann dies schon bei geringer Hangneigung (1 bis wenige Grad) instabil werden. Seebeben dienen oft als Auslöser für die Dichteströmungen. Dabei rauscht eine Wasser-Sedimentlawine hangabwärts. Die Sediment-Wasser-Emulsion ist dichter als das umgebende Wasser, daher gleitet sie - unter turbulenter Verwirbelung - nach unten. Bereits teilverfestigte Lagen darunter, etwa zäher Schlamm, können in Fetzen zerteilt mitgerissen werden. In der turbulenten Emulsion kommt es zu nur schlechter Sortierung der Korngrößen. Wo die Sedimentlawine zur Ruhe kommt und sich das Sediment etwas langsamer im Wasser absetzen kann, nimmt die Sortierung zu. Eine Lawine bildet jeweils eine nach oben feiner werdende (gradierte) Lage, meist aber folgen viele Dichteströmungen übereinander, so dass Grauwacken oft aus entsprechend vielen Einzellagen zusammengesetzt sind. Gradierte Schichtung in den Einzellagen ist typisch, aber auch lateral finden sich Korngrößenunterschiede: Im hangnahen (proximalen) Teil werden die gröberen Korngrößen abgelagert, in hangfernen (distalen) Bereichen nehmen die Korngrößen ab, und die Grauwacken verzahnen sich zunehmend mit Tonschiefern..

Während der variszischen Gebirgsbildung wurden auch die Grauwacken verfaltet, verschuppt und teils schwach metamorph überprägt.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Stellvertretend für diese Gesteinsgruppe wird im Folgenden der sog. Taunusquarzit beschrieben, der in Hessen die rohstoffwirtschaftlich größte Bedeutung unter den Quarziten hat.

Im Gegensatz zu den Einkieselungs- oder *Zementquarziten* des Tertiärs wurden bei Quarziten oder *Felsquarziten*, wie sie auch genannt werden, Sandkörner nicht „eingekieselt“, sondern bereits verfestigte quarzreiche Sandsteine wurden unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen metamorph überprägt, d.h. zu Metasandsteinen. Dies führte zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Verzahnung der einzelnen Quarzkörner, zur Neukristallisation von Quarz in den verbliebenen Porenräumen und z.T. zur Neubildung von Mineralen (z.B. Hellglimmer). Resultat ist ein dichteres und stabileres Korngefüge der Quarzite gegenüber den ursprünglichen Sandsteinen.

Aufgrund der geologischen Struktur des Rheinischen Schiefergebirges treten die Quarzitivorkommen hier in Südwest–Nordost gerichteten Gesteinszügen auf. Auch die Vorkommen des Odenwaldes und des Spessarts sind Südwest–Nordost orientiert.

Der sog. Taunusquarzit ist ein Quarzsandstein des Unter-Devons, der im Flachmeerbereich abgelagert, während der variszischen Gebirgsbildung im Karbon schwach metamorph überprägt und (zusammen mit den unter- und überlagernden Schichten) in viele steilstehende Schuppen gelegt wur-

de. Das harte Gestein bildet den markanten Höhenzug des Taunuskamms, der sich von Lorsch am Rhein im Südwesten bis nach Bad Nauheim im Nordosten erstreckt.

Taunusquarzit ist ein überwiegend bankiger, z.T. auch plattig absondernder hellgrauer bis weißer Meta-Quarzsandstein, der zu 93% aus Quarz und zu ca. 7% aus Hellglimmer und Feldspat besteht. Der Sandstein ist überwiegend feinkörnig, nur lagenweise grobkörnig (bis 4 mm). Die Quarzkörner sind leicht miteinander verzahnt und zeigen kristallinterne Störungen. Die primären Sedimentstrukturen des Sandsteins (Schichtung, Gradierung u.a.) sind jedoch noch gut zu erkennen, was für eine insgesamt nur schwache metamorphe Überprägung spricht.

12.8.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Einkieselungsquarzite

Zementquarzite sind sehr feinkörnig bis dicht. Die Quarzkörner sind durch ein kieseliges (SiO_2 -) Bindemittel zementiert, das mineralogisch Opal, Chalcedon oder feinkristalliner Quarz sein kann. Häufig sind die Quarzkörner kaum noch erkennbar, der Zement dominiert. Zementquarzite sind sehr hart, fühlen sich glatt an und liefern beim Anschlagen scharfkantige Fragmente mit hornsteinartiger Bruchfläche. Geochemisch bestehen sie fast ausschließlich aus SiO_2 , mit nur geringen Anteilen an Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 u.a.

In der Technik kann man durch Zusatz von Zementquarzit zu Silikatmassen den Verlauf chemischer Reaktionen beeinflussen. Geeignet sind hierfür Zementquarzite, die nur geringe Verunreinigungen an Al_2O_3 (< 0,7%), an TiO_2 (< 0,2 %) und an Fe_2O_3 (< 0,5%) aufweisen.

Sandsteine des Buntsandsteins

Sandsteine des Buntsandsteins waren bis vor ca. 150 Jahren in Hessen die dominierenden Werksteine, da sie sich wesentlich leichter als z.B. „Marmor“ (Kalkstein) oder gar Granit bearbeiten ließen. Da vor allen Dingen die Möglichkeit der ortsnahen Gewinnung zählte, war die Qualität oft nur von untergeordneter Bedeutung, so dass auch weniger geeignete Sandsteine zum Abbau kamen, meist in unmittelbarer Umgebung der Städte und Ortschaften. Insgesamt hängt die Abbauwürdigkeit eines Bausandsteinvorkommens stark vom Anteil der eingelagerten Tonsteinlagen und der mineralogischen Zusammensetzung ab.

Im Gegensatz zu magmatischen Gesteinen zeigen Sandsteine aufgrund ihrer Schichtung richtungsabhängige mechanische Eigenschaften. So sind die Druck- und die Biegefestigkeit im Allgemeinen bei einer Krafteinwirkung senkrecht zur Schichtung größer als bei einer Krafteinwirkung parallel zur Schichtung. Bei der Verwendung und beim Einbau von Sandsteinen mit ausgeprägter Schichtung sollte deshalb dieses Gefügemerkmal bei der Orientierung der Werkstücke berücksichtigt werden.

Sandsteine haben im Vergleich zu anderen Natursteinen eine relativ geringe Verfestigung, ein großes Porenvolumen, damit verbunden eine hohe Wasseraufnahmekapazität und eine relativ geringe

Verwitterungsbeständigkeit, was ihre Verwendungsmöglichkeiten sowohl im Außen- als auch im Innenbereich einschränkt. Generell lässt sich sagen, dass tonig gebundene oder bindemittelarme Sandsteine weniger widerstandsfähig sind und daher als Naturwerksteine i.A. eher ungeeignet sind. Dagegen sind quarzitisches zementierte Sandsteine in hohem Maße gegen Verwitterungseinflüsse beständig und verfügen über eine große chemische Resistenz insbesondere bei hohem Quarzkornanteil.

Die in Hessen gewonnenen Bausandsteinsorten (Tab. 19) besitzen bis auf den *Wehrdaer Sandstein* i.A. eine gute Verwitterungsresistenz. Erst nach längerer Zeit kann es zum Absanden, zum Ausbrechen von Komponenten, Auswittern von Sandnestern oder zur Verfärbung des Sandsteins kommen. Heute erfüllen viele der früher genutzten Sandsteine aber oft nicht mehr die notwendigen Qualitätsmerkmale, insbesondere hinsichtlich ihrer Härte, so dass sie nur noch untergeordnet für den Unterbau von Straßen, zu Aufschotterungen oder Bodenaustausch eingesetzt werden. Wichtige technische Daten hessischer Naturwerksteine aus dem Buntsandstein sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt (Tab. 19).

Tab. 19: Geotechnische Kennwerte hessischer Naturwerksteine aus dem Buntsandstein.
 Quelle: [40] (unterstrichen: noch aktive Abbaue, z.T. nur gelegentlich betrieben)

Name (nach Grimm 1990)	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
<u>Odenwälder Buntsandstein</u>	Sandstein, schwachrot bis blasrot, feinsandig; gelegentlich mit auffallenden, kreisrunden, mm- bis max. 1 cm-großen, weißen Flecken; Varietät. Sandstein von Graellenbach: rötlichbraun, ohne Flecken	2,68	2,28	14,95	0,318	4,68	6,57	0,72	Gebäude und Taufbecken der katholischen Kirche in Beerfelden; Kriegerdenkmal-Anlage zwischen Finkenbach und Beerfelden
Wolfshäuser Sandstein	Sandstein, rötlichbraun, feinsandig, mit dunkelgrauen Schlieren	2,69	2,24	16,63	11,900	4,51	7,44	0,61	Zahlreiche Grabsteine aus dem 18. und 19. Jahrhundert auf dem Friedhof von Wolfhagen
<u>Niederweimarer Sandstein</u>	Sandstein, hellrötlichbraun bis rötlichbraun, mittelsandig; leicht kiesig; auffallend dunklere rötliche Flecken; Varietäten: stärker gefärbt und stärker entfärbt; feinporig	2,65	2,24	15,55	26,700	4,12	6,95	0,60	Bildhauerliche Arbeiter im Steinbruch von Niederweimar
Wehrdaer Sandstein	Sandstein, rötlichgelb, mittelsandig; sehr gut sortiert; verhältnismäßig porös; homogen; unterschiedlich stark verkieselte Bereiche	2,64	1,92	27,36		8,65	14,29	0,61	Elisabethkirche, Schloß, alte Universität von Marburg/Lahn

	kommen vor; wenig verfestigte Sandsteine dienen der Sandgewinnung; Varietäten: rötlichgelb, hellgrau bis weißlich								
Eiterfelder Sandstein	Sandstein, hellgrau, fein- bis mittelsandig; glimmerführend, leicht kieselig, feinporig, „löchrige Oberfläche“; Varietäten: hellgrau, dunkelrotbraun	2,65	2,29	13,59		3,19	5,93	0,54	An Gebäuden in Eiterfeld und Umgebung
<u>Friedewalder Sandstein</u>	Sandstein, hellgrau bis bunt, mittelsandig; weitgehend gut sortiert; vereinzelt mm- bis cm-große, dunkelrotbraune oder graugrüne Tongerölle („Tigersandstein“); Mehrere Varietäten in unterschiedlichen Teufenlagen innerhalb eines Steinbruchs	2,65	2,22	3,98		3,64	7,22	0,50	Wasserschloß in Friedewald, Hessische Landesvertretung in Berlin Fassadenbekleidung in Hess. Oldendorf, Stützmauer in Fulda und Hameln, Brücke in Niederellenbach und Oberhonne/Eschwege, Pflasterplatten am Domplatz zu Fulda
<u>Züscherer Sandstein</u>	Sandstein, gelb bis sehr blassbraun, feinsandig, leicht kieselig gebunden; feinporig; oft mit dunkleren, bräunlichgelben Flecken; Varietäten: gelb, hellgelb, rötlichbraun	2,64	2,11	20,11	523,000	5,75	9,52	0,61	Dom zu Fritzlar; viele Gebäude in Fritzlar und Umgebung
Külter Sandstein	Sandstein, hellgrau, feinsandig; homogen; schwach glimmerführend; Varietäten: hellgrau, rötlich, rötlichbraun	2,64	2,08	21,30		5,98	10,24	0,59	Kriegerdenkmal an der Friedhofskapelle, Kirche, Twistebrücke sowie an vielen Gebäuden in Külte; Ehrenmal in Mengerlinghausen; Landesversicherungsanstalt in Kassel
<u>Wrexener Sandstein</u>	Sandstein, bräunlichgrauer, stellenweise rotbraun geflammt, mittelsandiger und porig; Tongallen von max. 5 mm regellos verstreut; Varietäten: grauweiß, graugrün, gelblich-braun	2,65	2,09	20,93	3030,000	6,29	10,00	0,63	Schloß Wilhelmshöhe, Orangerie und Gemäldegalerie in Kassel; Probsteikirche in Dortmund; Nicolai-Kirche und Justizgebäude in Hamburg, Gartenkirche in Hannover, Dom und Busdorfkirche in Paderborn
<u>Roter und Grauer Wesersandstein</u>	Sandstein, rot oder grau, glimmerführend, feinporig bis dicht erscheinend, Quarzanwachsäume durch Drucklösung; undeutlich geschichtet; oft bis zu 1 cm große Sandlöcher; hohe Verwitterungsbeständigkeit	2,65	2,47	7,11	0,409	1,97	2,89	0,68	Evangelische Kirche in Beverungen; Ehrenmal des Karl Landgraf zu Hessen in Bad Karlshafen; Restaurationsstein für verwitterungsanfällige Sandsteine in New York (USA)

Sandsteine des Rotliegend

Cornberger Sandstein hat Naturwerkstein-Qualität und wurde in der Vergangenheit auch entsprechend verwendet. Technische Daten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 20: Geotechnische Kennwerte des Cornberger Sandsteins. Quelle: [40]

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Cornberger Sandstein	Sandstein, bunt, fein- bis grobsandig; z.T. kieselig gebunden, z.T. tonig-eisenhaltig; schwach karbonatisch; Partienweise sind milchigweiße, mm-große Quarzkörner stärker angereichert; Textur: Wechsel zwischen grauen und mehr gelblichbraunen Lagen ergeben ringartige-schlierige Formen	2,68	2,45	8,47		2,54	3,46	0,74	An zahlreichen Gebäuden in Cornberg; Friedhofskapelle sowie zahlreiche Grabsteine auf dem Friedhof von Schenklengsfeld

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Die Rohstoffqualität der Grauwacken kann in weiten Grenzen schwanken. Dementsprechend groß ist die Spannweite technischer Parameter (Tab. 21). Die Härte der Grauwacken wechselt je nach Anteil zersetzter Feldspäte und weicher Gesteinsbruchstücke. Schichtung und Klüftung sind z.T. stark, z.T. schwach ausgeprägt und auch die Mächtigkeit und Häufigkeit zwischengeschalteter Tonschiefer schwankt stark. Von ökonomischem Interesse sind „massige“ d. h. vorwiegend grobbankige Grauwacken-Abfolgen mit geringem Anteil an Schieferlagen. Grauwacken mit kieseligem Bindemittel zeichnen sich durch hohe Druckfestigkeit und gute Haltbarkeit aus.

Tab. 21 Geotechnische Kennwerte von Grauwacken.

Geotechnische Kennwerte*	Grauwacke
Rohdichte	2,60 - 2,65 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,2 - 0,5 Gew.-%
Druckfestigkeit	150 - 300N/mm ²
Biegezugfestigkeit	13 - 25 N/mm ²
Schleifabnutzung	7 - 8 cm ³ /50cm ²
* Die genannten "Technischen Parameter" sind nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt (zitiert nach [39])	

Für die Edersee-Grauwacke, die auch als Naturwerkstein (Bruchstein, s.u.) gehandelt wurde sind nachstehend charakteristische Kennwerte aufgeführt.

Tab. 22 Geotechnische Kennwerte der Edersee-Grauwacke. Quelle: [40]

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luft-permeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Edersee-Grauwacke	Sehr dunkler, grobschluffig bis feinkiesiger, durch tonig-eisenhaltiges Material gebundener, homogener, sehr dichter, schlecht sortierter Sandstein (Grauwacke)	2,69	2,66	0,93		0,30	0,35	0,84	Gebäude an der Edersee-Staumauer sowie die Uferbefestigungen des Stausees

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Typisch für Taunusquarzit ist das dichte Korngefüge, das dem Gestein die besondere Festigkeit verleiht. Dementsprechend hoch sind auch die Druckfestigkeit (150–300 N/mm²) und die Biegefestigkeit (13–25 N/mm²). Das Gesteinsgefüge ist auch für die geringe Schleifabnutzung (7–8 cm³/50cm²), die hohe Griffigkeit, Scharfkantigkeit und Oberflächenrauigkeit und weitere in Tab. 23 aufgeführte Eigenschaften verantwortlich.

Damit erfüllt der Taunusquarzit die Anforderungen des Straßenbaus an einen Zuschlagstoff, der in der Verschleißschicht der Asphaltstraße eingebaut wird. Unerwünscht sind für die meisten Anwendungen Gehalte von Glimmer, Feldspat, Granat, Pyrit, Goethit usw., wenn sie 4% übersteigen.

Tab.23 Geotechnische Kennwerte von Taunusquarziten. Quelle: [40]

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luft-permeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Taunus-Quarzit	Quarzit (Felsquarzit), hellgrau, feinkörnig; Bereichsweise plattige Absonderungen; Spaltflächen mit leicht grünlicher Färbung, Bruchflächen hellgrau bis weiß	2,67	2,65	0,80		0,21	0,30	0,70	Ruinen von ehemaligen römischen Bauwerken entlang des Limes im Taunus; wiederaufgebautes Römerkastell „Saalburg“ nahe Friedrichsdorf/Taunus

Durch Zusatz von 30% Taunusquarzit in Form von Edelsplitt zur Asphaltdeckschicht werden Fahrbahnen spürbar heller und sicherer: Taunusquarzit sorgt für stark streuende, reflektierende Oberflächen mit niedrigen Spiegelfaktoren und schafft dank seiner hohen Lichtdichte-Koeffizienten auch bei Nässe eine Aufhellung (Abb. 57). Zusätzlich wirken helle Fahrbahnen der Spurrinnenbildung entgegen, da Sonnenenergie abgestrahlt wird. Dadurch erhitzt sich der Asphaltkörper nicht mehr so stark, dass er weich wird. Bei Einsatz von Taunusquarzit in offenporigem Asphalt (OPA) wird zudem eine deutliche Geräuschkürzung erzielt. Bei Start- und Landebahnen auf Flughäfen führt

die dauerhafte Polierresistenz bei gleichzeitiger Aufhellung zur Reduzierung des Verschleißes und der Energiekosten.

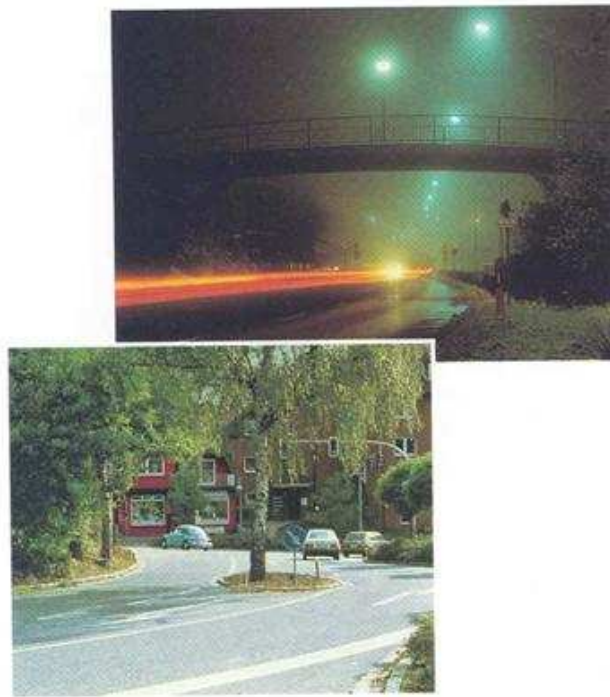


Abb. 57: Aufhellung von Straßenbelegen am Tage, nachts und bei Nässe durch Zusatz von Taunusquarzit-Edelsplitt. Fotos: Taunus-Quarzit-Werke GmbH & Co. KG

In der Betonfertigungsindustrie sorgt der Rohstoff für helle und widerstandsfähige Oberflächen. In der Kalksandsteinindustrie senkt Taunusquarzit den Kalkbedarf und damit die Herstellungskosten. Rohdichte, Druck- und Biegezugfestigkeit der Kalksandsteine werden dabei gleichzeitig erhöht.

Taunusquarzit ist darüber hinaus säure- und laugenbeständig, was u.a. in der chemischen Industrie und beim Zusatz von Taunusquarzit in hochbelasteten Estrichen von Bedeutung ist.

Reinstquarzite mit mehr als 96 % SiO_2 sind in der Feuerfestindustrie beim Einsatz für Ofenauskleidungen und feuerfeste Massen gesucht. Bei der Herstellung synthetischer Formgebungsmassen in erdfeuchten Zustand (saure Stampfmassen) eignen sich Quarzitkörnungen, die als Bindemittel Ton und Klebsand enthalten. Meta-Quarzsandstein bzw. Felsquarzit eignet sich hierfür besser als Einkieselungs-/Zementquarzit, da der Quarz des Felsquarzits bei Temperaturbehandlung $> 1200^\circ\text{C}$ wesentlich langsamer zu Cristobalit und Tridymit, zwei Hochtemperatur-Quarzen, um-

kristallisieren wird. Hierdurch werden Rissbildungen, die aus zu schneller Ausdehnung resultieren, verhindert.

12.8.5. Abbausituation und Verwendung

Einkieselungsquarzite

Zementquarzite sind aus genetischen Gründen, wie oben schon erwähnt, oft mit hochwertigen Quarzsanden vergesellschaftet, so dass eine Gewinnung beider Rohstoffe zweckmäßig ist und heute in einigen Sandgruben auch praktiziert wird.

In der Vergangenheit waren Zementquarzite aber auch massive Abbauehemmnisse im Quarzsandabbau. Das lagenbeständige Auftreten dieser harten Gesteine führte mitunter zur Aufgabe von Sandgruben. Mit der heutigen Technik sind diese Probleme lösbar. Derzeit gibt es im Raum Kassel Bestrebungen eine vor 30 Jahren aufgegebene Sandgrube zu reaktivieren.

Früher wurden Zementquarzite selektiv überall dort gewonnen, wo sie als „Findlinge“ an der Oberfläche auftraten, z.B. in der Landwirtschaft als störende Gesteinsbrocken bei der Feldbestellung („Lesesteine“). Sie wurden sowohl für die Herstellung feuerfester Produkte eingesetzt als auch als Naturwerkstein. Ein Zeugnis hierfür ist der Gedenkstein am Zusammenfluss von Werra und Fulda in Hann. Münden.

Derzeit werden Zementquarzite in Hessen als keramischer Rohstoff gewonnen. Daneben werden sie im Garten- und Landschaftsbau als „Findlingsquarzit“ eingesetzt.

Sandsteine des Buntsandsteins

Die für die Naturwerksteingewinnung nutzbaren Sandsteine des Buntsandsteins stammen aus unterschiedlichen Schichtabschnitten bzw. -folgen. Im Odenwald werden Bausandsteine ausschließlich aus dem Unteren Buntsandstein gewonnen. Im Marburger Raum sind darüber hinaus auch Bausandsteine des Mittleren Buntsandstein, v.a. der Hardegsen- und Solling-Folge (smH, smS) von wirtschaftlichem Interesse. In Nord- und Osthessen dominiert Naturwerkstein-Gewinnung im mittleren Buntsandstein (sm), insbesondere in der Solling-Folge (smS, s.u.: „Wesersandstein“). Insgesamt dürften mehrere hundert bis tausend Buntsandsteinbrüche auf hessischem Boden existiert haben, überwiegend kleinere Steinbrüche und zumeist in unmittelbarer Umgebung der Verbraucher. Die meisten wurden Mitte des 20. Jahrhunderts aufgegeben.

Diese hohe Anzahl ehemaliger Abbaustellen verdeutlicht, dass Buntsandsteinabbau in der Vergangenheit einen weitaus höheren Stellenwert als heute besaß. Die Popularität von Buntsandsteinen



Abb. 58 Naturwerkstein-Rohlinge in einem Quarzsandstein-Tagebau bei Friedewald.
Friedewalder Sandstein (Mittlere Buntsandstein, Solling-Folge)

benachbarter Bundesländer (z.B. Oberkirchener Sandstein, die Mainsandsteine, Maulbronner Sandstein usw.) wurde in Hessen nie erreicht. Vielleicht war gerade die ungeheure Fülle von Sandstein daran schuld, dass sich keiner gegenüber den vielen anderen über die Maßen hervorhob, um auch weit über die Landesgrenzen hinaus bekannt zu werden. Der in der Mitte des 20. Jahrhunderts starke Rückgang des Sandsteinabbaus in Hessen hat sicherlich auch mit gestiegenen Qualitätsanforderungen in der Bauindustrie, gestiegenen Kosten beim Abbau und bei der Bearbeitung sowie mit einem Rückgang der Aufwendungen für Restaurierungsmaßnahmen zu tun.

Derzeit sind nur noch wenige hessische Bausandsteinbrüche in Abbau und diese z.T. nur temporär. Die Abbaumächtigkeiten bewegen sich zwischen 8 und 30 m, die Abraummächtigkeiten zwischen 1 und 12 m. Die Gewinnungsverluste bei der Naturwerksteingewinnung liegen zwischen 50% bis 75%, je nach Schichtfolge, Bankung, Korngefüge, Verwitterung, Kluftständigkeit und tektonischer Beanspruchung.

Nur noch in einem Bruch südlich von Bad Karlshafen wird der hochwertige *Wesersandstein* gebrochen. Im Odenwald südlich Erbach wird in vier Steinbrüchen *Odenwälder Buntsandstein* abgebaut. Ein kleiner noch aktiver Bruch befindet sich in Niederweimar bei Marburg (*Niederweimarer Sandstein*). *Friedewalder Sandstein* (Abb. 58) wird in mehreren Steinbrüchen auf engem Raum bei Friedewald abgebaut. *Züschener Sandstein* wird temporär bei Züschen nördlich Fritzlar gebrochen. Ebenfalls zeitlich begrenzt wird *Wrexener Sandstein* bei Wrexen, westlich Warburg gebrochen. Produkte der Naturwerksteingewinnung sind: Fassaden- und Fußbodenplatten, Treppenstufen für den Außen- und Innenbereich, Fensterbänke, Gesimse und andere architektonische Bauelemente. Daneben liefern Bausandsteine ein gut zu bearbeitendes Material für Grabsteine, Denkmale und jede Art figürlicher Arbeiten, auch bei Restaurationsarbeiten. Wichtige Einsatzbereiche sind außerdem der Gartenbau (allgemeine Mauer- sowie spezielle Bossensteine, Polygonalplatten etc.), der Sakralbau (Altäre, Kanzeln, Taufsteine etc.) und der Tiefbau (Kanten- und Randsteine, Tunnelbau-

steine). Produktionsabfall kann teilweise als Wasserbausteine verwendet oder zu Auffüllmaterial aufbereitet werden.

Stellvertretend für hessische Naturwerksteine aus dem Buntsandstein soll nachstehend der *Wesersandstein* näher charakterisiert werden.

Wesersandstein

Nahe dem Dreiländereck Hessen-Niedersachsen-Nordrhein-Westfalen erstreckt sich im nordwestlichen Reinhardswald das Verbreitungsgebiet des Wesersandsteins. Wesersandsteine zeichnen sich durch hohe Druckfestigkeit, Frostbeständigkeit, Schlagzertrümmerung und Biege-Zugfestigkeit aus und sind für alle Einbaumöglichkeiten qualifiziert.

Eine Vielzahl kleinerer ehemaliger Steinbrüche belegt die jahrhundertealte Tradition in Gewinnung und Verarbeitung dieser Naturwerksteine im Reinhardswald.

Man unterscheidet nach seiner Farbe den *Roten Wesersandstein* und den *Grauen Wesersandstein* (Trendelburg-Schichten). Diese beiden Schichteinheiten gehören der Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins an und können bis maximal 90 m mächtig werden.

Die glimmerhaltigen, fein- bis mittelkörnigen Sandsteine sind rot-violettbraun bzw. grau bis gelblich. Die plattigen bis bankigen Gesteinsschichten spalten gut bis sehr gut und besitzen besonders in den Grauen Wesersandsteinen ein kieseliges Bindemittel. Letzteres ist der Grund für eine hohe Druckfestigkeit.

Das Gestein ist so geklüftet, dass in der Regel nur Rohblöcke < 0,4 m³ gewonnen werden können [50]. Von ökonomischem Interesse war in der Vergangenheit insbesondere der Rote Wesersandstein, der weit über die Region hinaus die sog. **Weser-Renaissance** begründete. Architektonische Beispiele sind das Rathaus in Hann. Münden und das Schloss Wilhelmshöhe in Kassel. Der Schwerpunkt der Sandsteingewinnung liegt heute im niedersächsischen Teil des Reinhardswaldes. In Hessen werden nur noch südlich von Karlshafen bei Wülmersen Wesersandsteine abgebaut. Zu etwa 70% werden derzeit die dickbankigeren, tonärmeren Grauen Wesersandsteine nachgefragt. Nicht als Naturwerkstein, sondern zu gebrochenem Naturstein (Schüttgut) wird Buntsandstein bei Martinhagen verarbeitet. Außerdem wird in mehreren kleineren Abbaustellen oberflächennah entfestigter, bindemittelarmer Sandstein als Sand- und Quarzsand gewonnen, z.T. auch als „Kaolin-sand“ (siehe Fachbericht Tonrohstoffe).

Sandsteine des Rotliegend

Cornberger Sandstein eignet sich als Werkstein und wurde bis 1995 in Cornberg und Umgebung gewonnen. Der Abbau wurde wegen Erschöpfung des Vorkommens eingestellt. Die südhessischen Vorkommen der Rotliegend-Bausandsteine werden schon seit Langem nicht mehr genutzt.

Grauwacken und paläozoische Sandsteine



Abb. 59 Grauwacken-Steinbruch Frankershausen-Schafshof im Werra-Aufbruch.

Von ökonomischem Interesse sind derzeit nur die Grauwacken. Entsprechend ihrer regionalen Herkunft bzw. ihrer stratigrafischen Zuordnung lauten die Handelsnamen: *Edersee-Grauwacke*, *Hörre-Grauwacke*, *Gießener Grauwacke* oder *Kulm-Grauwacke*.

Grauwacken wurden in der Vergangenheit in Hessen als Naturwerksteine für die Produktion von Pflastersteinen sowie zur Herstellung von Bodenplatten und Mauersteinen genutzt. Sie versorgten meist nur die nächste Umgebung mit Bausteinen für Mauern und Häuser oder auch für Uferbefestigungen (z. B. Edersee). Große Steinbrüche lagen z.B. am westlichen Lahnufer bei Gießen (*Gießener Grauwacke*).

Heute werden devonische Grauwacken östlich des Meißners bei Berkatal (*Werra- oder Witzenhäuser Grauwacke*, Abb. 59), nordwestlich Rotenburg a. d. Fulda sowie bei Hatzfeld nördlich von Biedenkopf, karbonische Grauwacken nördlich des Edersees bei Niederwerbe sowie östlich von Frankenberg bei Dainrode abgebaut. Die Grauwacken werden überwiegend zu Schotter und Splitt gebrochen, sie dienen als Packlagen-Material beim Straßen- und Wegebau. Die Edersee-Grauwacke besitzt eine große Härte mit guter Frostschutztauglichkeit, sie findet auch als Bruchsteine im Wasserbau Verwendung.

Die Abbaumächtigkeiten schwanken je nach Lagerstätte zwischen 25 und 90 m. Die Abraummächtigkeiten schwanken zwischen 0,5 m und 12 m.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Taunusquarzit hatte schon zur Römerzeit als Baustoff größere Bedeutung. Viele Türme und Kastelle entlang des Limes im Bereich des Taunus sind aus Taunusquarzit gebaut worden; von ihnen sind heute allenfalls noch Ruinen zu sehen. Für das zwischen 1898 bis 1907 von Kaiser Wilhelm II. wieder aufgebaute Kastell Saalburg wurde zum größten Teil wieder auf den ursprünglichen Baustoff zurückgegriffen.

Im Laufe des 20. Jahrhunderts ist die Gewinnung von Taunusquarzit als Werkstein und auch als gebrochener Naturstein stark zurückgegangen.

Heute werden Taunusquarzite in kleinerem Umfang nördlich Rüdesheim in zwei Steinbrüchen sowie am Mensfelder Kopf (Hünfelden) abgebaut. Südwestlich Wehrheim im Taunus wird der Rohstoff im großen Stil gewonnen (Abb. 60).



Abb. 60 Luftbild des Quarzit-Steinbruchs Saalburg

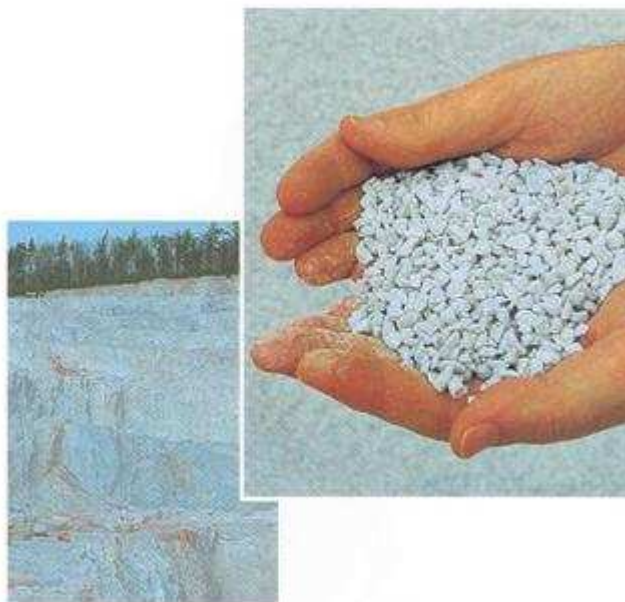


Abb. 61: Links: Quarzit-Steinbruch Saalburg. Rechts: Edelsplitt aus Taunusquarzit. Fotos: Taunus-Quarzit-Werke GmbH & Co. KG

Die Abbaumächtigkeiten betragen in der Lagerstätte Wehrheim derzeit ca. 130 m, bei geringen Abraummächtigkeiten von wenigen Metern. Technisch abbaubar wären ca. 150 m, die geologischen Rohstoffmächtigkeiten liegen deutlich darüber.

Taunusquarzit wird in Hessen überwiegend zu Schotter, Splitten und Edelsplitten aufbereitet. Ein wesentlicher Einsatzbereich ist, wie oben schon erläutert, der Straßenbau (Aufhellung von Fahrbahndecken), daneben auch die Betonindustrie. Teilweise wird Taunusquarzit als Wasserbaustein eingesetzt, untergeordnet auch als Rohstoff für die Herstellung feuerfester Erzeugnisse.

In der Vergangenheit wurden im Rheinischen Schiefergebirge neben Taunusquarzit auch die nördlich des Taunus vorkommenden Ems- und Wollenberg-Quarzite für den lokalen Bedarf abgebaut.

12.8.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Einkieselungsquarzite

Rohstoffsicherungsgebiete für Zementquarzite sind in der Niederhessischen Senke, vom nördlichen Vogelsbergrand über Schwalmstadt, Kassel bis nach Grebenstein, in der Karte Rohstoffsicherung (KRS) des HLUG ausgewiesen und größtenteils in den Regionalplan übernommen. Weitere Zementquarzitvorkommen sind als Sand- bzw. Quarzsandlagerstätten gesichert.

Die Vorratsmenge ist nicht genau bezifferbar, da der Rohstoff sehr selektiv auftritt. Die Größenordnung von wenigen Mio. t hessenweit dürfte jedoch nicht überschritten werden.

Sandsteine des Buntsandsteins

Sandsteine des Buntsandsteins sind in Hessen weit verbreitet. Aufgrund der derzeit geringen Rohstoffnutzung sowie dem hinsichtlich der Werksteinqualität noch hohen Erkundungsbedarf weiterer Buntsandstein-Areale sind nur wenige Rohstoffsicherungsflächen ausgewiesen.

Eine Verifizierung der wirtschaftlich verwertbaren Rohstoffvorräte ist derzeit daher nicht möglich. Für den derzeitigen Bedarf bestehen jedoch keine Engpässe.

Sandsteine des Rotliegend

Die Vorräte an Cornberger Sandstein sind erschöpft. Erkundungen haben keine weiteren Rohstoffressourcen in der Rotliegend-Scholle bei Cornberg ergeben. Für die südhessischen Rotliegend-Sandsteine besteht derzeit kein Bedarf.

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Die geologischen Vorräte können derzeit nicht abgeschätzt werden. Mehrere Mio. t Grauwacke sind sicherlich in den ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebieten noch vorhanden. Die Vorratslage ist jedoch in einzelnen aktiven Steinbrüchen kurz- bis mittelfristig als kritisch einzustufen. Umso mehr gilt es, die Erkundung zur Ausweisung weiterer Grauwacken-Lagerstätten zu intensivieren.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Zwischen Lorsch am Rhein bis südlich Bad Nauheim (Taunuskamm) sind zahlreiche kleine und drei größere Rohstoffsicherungsflächen für Quarzit in der KRS (Abb. 62) sowie im derzeit gültigen Regionalplan Südhessen ausgewiesen.

Die gewinnbaren Vorräte an Taunusquarzit in den derzeitigen Abbau- und Planungsbereichen beziffern sich auf > 35 Mio. t. Bezogen auf die aktuelle Jahresförderung würde dieser Rohstoffvorrat für mehrere Jahrzehnte ausreichen. Für die langfristige Versorgung sind mehrere größere Lagerstätten westlich Rossbach v. d. Höhe im Regionalplan Südhessen ausgewiesen, die aber mit dem Grundwasserschutz konkurrieren. Aufgrund der bundesweiten Bedeutung der Taunusquarzite ist ihre Verfügbarkeit auch in Zukunft sicherzustellen.

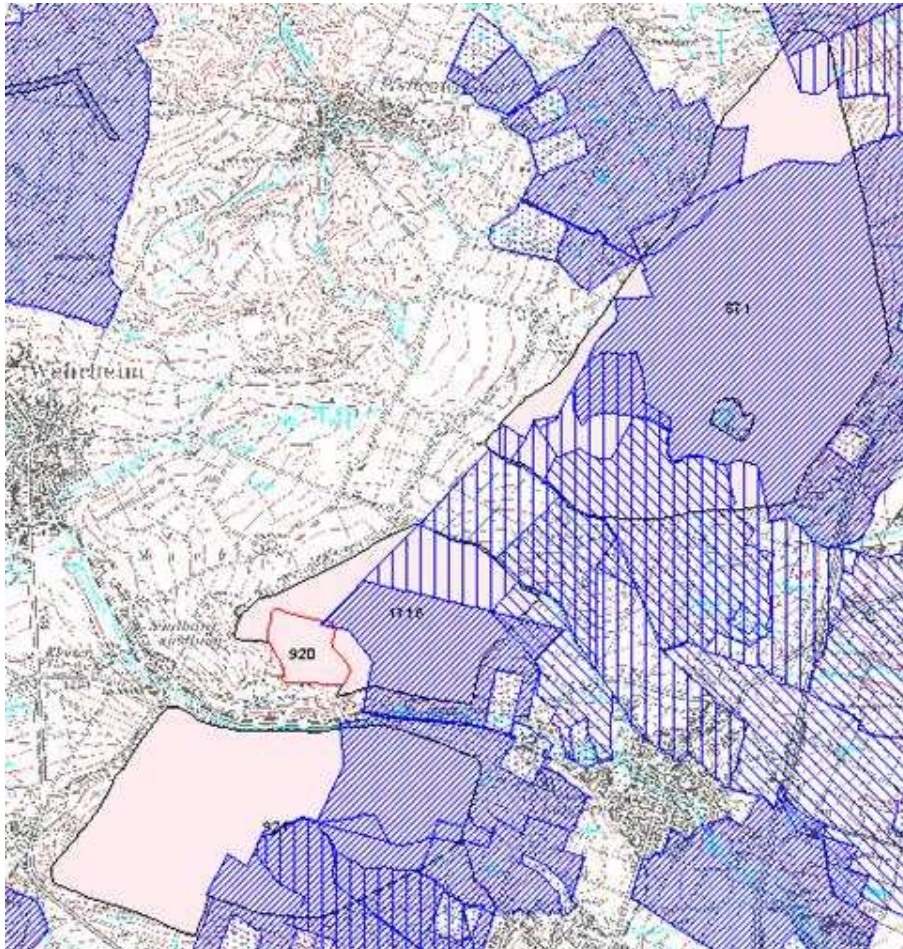


Abb 62 Rohstoffsicherungsflächen für Taunusquarzit (rosa Flächen) und Grundwasserschutz (blaue Schraffuren)

12.8.7. Transportlage

Einkieselungsquarzite

Die Transportsituation ist sehr heterogen je nach Region. Die Anbindung an das hessische Autobahn- und Bundesstraßennetz kann insgesamt als gut eingestuft werden.

Sandsteine des Buntsandsteins

Die Transportsituation ist sehr heterogen je nach Region. Für den regionalen Bereich ist die Situation insgesamt als zufrieden stellend bis gut einzustufen. Eine sehr gute überregionale Anbindung über die Autobahn A 4 besteht für den Bereich Friedewald.

Sandsteine des Rotliegend

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Die Transportsituation ist sehr heterogen je nach Region. Für den regionalen Bereich ist die Situation insgesamt als zufriedenstellend bis gut einzustufen. Eine gute überregionale Autobahn-Anbindung besteht bisher nicht.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Die heute aktiven Abbaue liegen direkt am Rande des Ballungsraumes und Hauptabsatzgebietes Frankfurt/Rhein-Main. Die großen Lagerstätten am nordöstlichen Taunusrand besitzen überdies eine sehr gute Straßenanbindung über die A 5 zur Versorgung überregionaler Wirtschaftsräume. Für viele andere Lagerstätten ist die Verkehrsanbindung jedoch wesentlich schlechter, was auch zur Stilllegung früherer Abbaustellen beigetragen hat (z.B.[51]).

12.8.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Einkieselungsquarzite

Zementquarzite sind als keramische Rohstoffe von Bedeutung für die Keramik- und Feuerfestindustrie. Als Werksteine besitzen sie aufgrund ihrer eher lokalen Nachfrage in Hessen derzeit keine große volkswirtschaftliche Bedeutung.

Sandsteine des Buntsandsteins

Aufgrund der Verarbeitung zu Naturwerkstein besitzen die Sandsteine des Buntsandsteins überregionale Bedeutung und gegenüber gebrochenem Naturstein eine geringere Transportkostenempfindlichkeit. Stoffströme in benachbarte Bundesländer verzeichnen insbesondere die grenznahen Gewinnungsstellen im Odenwald, südlich Friedewald und bei Bad Karlshafen.

Sandsteine des Rotliegend

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Grauwacken besitzen als Hartstein nach den Basalten für den nordhessischen Raum die größte Bedeutung. In basaltarmen Landesteilen wie insbesondere für den Frankenger- und Korbacher Raum sind Grauwacken die einzigen Hartsteine in vertretbarer Transportentfernung.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Der Taunusquarzit ist der wirtschaftlich wichtigste Quarzit in Hessen. Er besitzt für den qualifizierten Straßenbau, insbesondere zur Aufhellung von Straßenbelägen, überregionale Bedeutung und ist als strategischer Rohstoff einzustufen. Die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung sollte sich in der Rohstoffsicherung widerspiegeln.

12.8.9. Substitution und Recycling

Einkieselungsquarzite

Zementquarzite können in der keramischen Industrie durch andere Quarzgesteine oder quarzreiche Produkte ersetzt werden, z.B. Gangquarz. Die besonders hohe Reinheit und das Fehlen störender Erzminerale in Zementquarziten wird in Gangquarzen jedoch nicht erreicht. Als Gartenbauelement ist der Ersatz durch andere Hartgesteine möglich.

Sandsteine des Buntsandsteins

Substitution von Bausandstein ist wegen der spezifischen Gesteinsmuster (Farbe und Musterung, Schichtungsart, Bankhöhe etc.) in der Regel nicht möglich. Dies gilt insbesondere für Restaurationsmaßnahmen.

Sandsteine des Rotliegend

Grauwacken und paläozoische Sandsteine

Substitution ist durch Hartgesteine vergleichbarer Qualität möglich.

Quarzite / Meta-Quarzsandsteine

Als gebrochener Naturstein könnte Quarzit grundsätzlich durch andere Hartsteine vergleichbarer Qualität ersetzt werden. Aufgrund der Aufhellungseigenschaften und vielseitigen Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Industrien lässt sich Taunusquarzit jedoch nur schwer substituieren.

12.9. Tonschiefer und Kieselschiefer

12.9.1. Lage

Tonschiefer treten v.a. im Rheinischen Schiefergebirge auf, daneben in kleinen Arealen paläozoischer Aufbrüche, wie z.B. dem sog. Werra-Aufbruch bei Witzenhausen.

Kieselschiefer treten im Rheinischen Schiefergebirge Mittel- und Nordhessens an vielen Stellen auf, häufig in Wechsellagerung mit Tonschiefern, Grauwacken, Kieselkalken und Metavulkaniten.

12.9.2. Untersuchungsstand

In Regionen, in denen in der Vergangenheit **Tonschiefer** als Dachschiefer oder Rotschiefer (roter Tonschiefer) als keramischer Rohstoff gewonnen wurden, ist der Untersuchungsstand befriedigend (s. Fachbericht Tonrohstoffe). Auch die Dachschiefervorkommen des südlichen Rheinischen Schiefergebirges sind durch alten Bergbau gut erkundet und in ihrer Lage bekannt. Das Verbreitungsgebiet der Tonschiefer insgesamt hat jedoch noch größere rohstoffgeologische Erkundungslücken, die bei steigender Nachfrage nach Tonschiefer geschlossen werden müssten.

Die zahlreichen **Kieselschiefer**-Vorkommen konnten bisher nur ungenügend auf ihre wirtschaftliche Nutzbarkeit erkundet werden. Bei steigender Nachfrage an Kieselschiefer besteht daher Handlungsbedarf.

12.9.3. Geologie und Mineralogie

Die dunkelgrauen bis schwarzen, z.T. auch dunkelroten **Tonschiefer** entstanden vor etwa 420–320 Mio. Jahren (Devon bis Unter-Karbon, z.T. auch Silur) als Meeresablagerungen. Während der variskischen Gebirgsbildungsphase im Ober-Karbon wurden sie durch tektonische Beanspruchung und schwache Metamorphose überprägt, vor allem geschiefert. Als *Schieferung* bezeichnet man engständige, ebene, parallele, durch gerichteten Druck erzeugte Trennflächen im Gestein.

Die metamorphe Überprägung nimmt im Rheinischen Schiefergebirge von Norden nach Süden an Intensität zu. Im Taunus liegen die am stärksten überprägten Tonsteine in Form von Phylliten vor („kristalline Schiefer“). Infolge tektonischer Gesteinsbeanspruchung wurde das primäre tonige Sedimentgestein teilweise bis in den Mikrobereich gefaltet und geschiefert. Die Schieferung kann den primären sedimentären Lagenbau mitunter vollständig überprägen (Abb. 63).

Tonschiefer sind blättrig bis plattig ausgebildet und brechen splittrig. Der Mineralbestand umfasst neben Hellglimmer (Muskowit/Serizit) Illit, Chlorit und Quarz, z.T. auch Kaolinit. Farbgebende Minerale sind Chlorit (grün), Hämatit (rot) oder organische Substanzen (Bitumen, schwarz). Tonschiefer treten häufig in Wechsellagerung mit Grauwacken, (Meta-)Sandsteinen oder Kieselschiefern auf, z.T. auch assoziiert mit Metabasalten.



Abb. 63: Aufgelassener Tonschieferbruch bei Haiger (Wissenbacher Schiefer, Mittel-Devon). Deutlich zu sehen ist die Schieferung; die ursprüngliche Sedimentschichtung verlief quer dazu und ist fast vollständig überprägt. Die Schiefer brechen hier splittrig „griffelig“ und haben keine gute Dachschieferqualität.

Kieselschiefer ist ein Kieselgestein, das überwiegend aus den Kieselskeletten von Radiolarien aufgebaut wird. Oft im gleichen Sinne, vielfach aber bei besonders festen, rot bis - durch Einschluß kohligter Substanzen - schwarz gefärbten Kieselgesteinen, wird auch der Ausdruck **Lydit** (=Probierstein) verwendet.

Die Entstehung dieser Gesteine ist bisher nicht eindeutig geklärt. Ausflockung von Kieselsäure im Meer, Ausscheidung von submarinen heißen Quellen oder diagenetisch veränderte Radiolarie-nablagerungen werden genannt.

Die zumeist hell- bis dunkelgrauen Gesteine sind dünnbankig, plattig oder auch gebändert ausgebildet.

12.9.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Besitzen **Tonschiefer** (Abb. 64) eine ideale Spaltfähigkeit, d.h. liegen Schicht- und Schieferungsflächen parallel zueinander und sind sie arm an störenden Bestandteilen wie z.B. Eisensulfiden (Pyrit und Markasit), ist das Gestein zur Dach- und Fassadenbedeckung geeignet und wird als **Dachschiefer** bezeichnet. Die Schieferungsflächen bituminöser Tonschiefer sind zudem hydrophob (wasserabweisend). Die maximale Biegezugfestigkeit von Schieferplatten wird bei senkrecht zu den Schieferungsflächen einwirkender Drucklast gemessen.

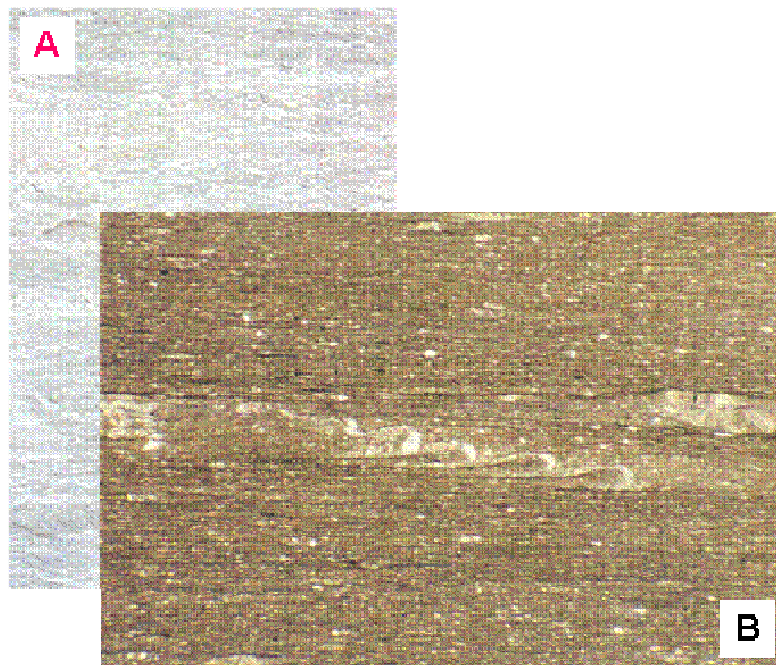


Abb. 64: Waldecker Schiefer. A: Dachschieferplatte, B: Dünnschliffbild mit deutlich ausgeprägter Paralleltexur durch Einregelung der blättchenförmigen Tonminerale. Quelle: [40]

Mit dem Übergang vom Tonstein und Schiefertone (schiefrig spaltender Tonstein) zu Tonschiefer nehmen die Gesteinshärte, die Dichte, die Druck- und Biegefestigkeit deutlich zu. In der nachfolgenden Tabelle sind einige technische Parameter des Waldecker Schiefers aufgeführt (Tab. 24).

Tab. 24: Geotechnische Kennwerte des Waldecker Tonschiefers. Quelle: [40].

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Waldecker Schiefer	Tonschiefer, dunkelgrau, quarzarm, karbonatisch; reichsweiser Anreicherung von Pyrit; Schieferung etwa parallel zur Schichtung	2,80	2,76	1,35		0,39	1,06	0,79	Rathaus von Frankenberg; Marburger Altstadt; Hausdächer und –fassaden im gesamten Bereich des Rheinischen Schiefergebirges und den angrenzenden Gebieten

Die chemischen und technischen Eigenschaften der Dachschiefer lassen im Gegensatz zur petrographischen Analyse keine Rückschlüsse auf die Qualität bzw. die Lebensdauer der verschiedenen Schieferarten zu und sind somit zur Qualitätssicherung meist nicht verwendbar.

Dagegen ist – zusammen mit den geologischen Kontrollen in der Gewinnung, Fertigung und Selektion – die mikroskopische Petrographie ein wichtiger Stützpfiler der Qualitätssicherung. Mit dieser Methode werden einige wenige schädliche Bestandteile der Schiefer (z.B. Kalzit, kohlige Bestandteile, Pyrit, Markasit und andere Erzminerale) untersucht und gemeinsam mit dem mikroskopischen Gefüge hinsichtlich ihres Einflusses auf die Schieferqualität bewertet.

Tonschiefer ohne Dachschieferqualität, aber ausreichender Gesteinshärte, werden z.T. als Wegeschotter für den lokalen Bedarf gewonnen (z.B. verkieselte Tonschiefer). Dagegen werden für die Verwendung als keramischer Rohstoff weichere Tonschiefer vorkommen bevorzugt, z.B. die sog. Rotschiefer, die i.d.R. besonders weich sind (s. Kap. 12.9.5. und Fachbericht Tonrohstoffe).

Kieselschiefer besitzen ein dichtes Mineralgefüge. Sie sind überwiegend hart bis sehr hart und brechen scharfkantig. Der Gesteinsverband zerfällt häufig kleinstückig. Aufgrund ihrer Härte und Stückigkeit eignen sich Kieselschiefer zur Wald- und Wegebesehtterung. Für den qualifizierten Straßenbau wird Kieselschiefer nicht eingesetzt. Ihre Scharfkantigkeit ist mitunter ein Risiko für die Bereifung der Fahrzeuge.

12.9.5. Abbausituation und Verwendung

Der Abbau von **Tonschiefer** wird heute in Hessen nur noch sehr eingeschränkt betrieben, v.a. für die Keramik- und Ziegelindustrie, z.T. auch für den lokalen Bedarf an Wegeschotter.

Durch Oxidation rot gefärbte und relativ weiche Tonschiefer, die sog. Rotschiefer, werden bei z.B. bei Sachsenberg und Langenaubach als keramischer Rohstoff gewonnen. Es werden auch Terazzo-Körnungen für Fensterbänke und Treppen sowie zur Gartenwegebestreuung hergestellt. Die Rotschiefer von Sachsenberg sind der Rohstoff für die örtliche Ziegelei (s. Fachbericht Tonrohstoffe).

Die Produktion von Dachschiefer dagegen ist in Hessen – im Gegensatz zur rheinland-pfälzischen Seite des Rheinischen Schiefergebirges – vollständig eingestellt worden. Vor wenigen Jahren hat die letzte Dachschiefergrube Schwalefeld bei Willingen an der nordwestlichen Landesgrenze den Abbaubetrieb in mitteldevonischem *Waldecker Schiefer* eingestellt.

Das war in der Vergangenheit anders. Zur Blütezeit des Schieferabbaus in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts waren auf hessischem Boden wahrscheinlich mehrere hundert Gruben in Betrieb, viele im Untertagebetrieb. Die Ursache für diese rege Schiefergewinnung war eine Verordnung (um 1860), nach der die bis dahin üblichen Strohdächer durch weniger leicht entflammables Material ersetzt werden sollten (vgl. [51]). Die Gewinnung von Dachschiefer war nicht auf einen bestimmten stratigraphischen Horizont beschränkt. Vom Silur bis ins Unterkarbon fanden sich immer wieder Schichten, die für die Herstellung von Dachschiefen geeignet waren.

So wurden die silurischen *Plattenschiefer* bei Sinn bereits 1617 als *Sinner Dachschiefer* erwähnt. Deren Abbau endete 1781. Die Tonschiefer des Unter-Ems (Devon) kamen in der Gegend von Usingen zum Abbau, Tonschiefer der Eifel-Stufe und des Givet (beides Devon) wurden in den Ederhöhen südlich des Edersees gewonnen. *Hunsrückschiefer* der Siegen-Stufe (Devon) spielten im Wispental zwischen Bad Schwalbach und Lorch eine größere Rolle.

Die mitteldevonischen *Wissenbacher Schiefer* wurden bei Wissenbach von 1767 bis in das 20. Jahrhundert hinein ausgebeutet. Tonschiefer der Adorf-Stufe (Ober-Devon) fördert man bis 1949, zuletzt im Untertagebau, ebenfalls südlich des Edersees, dazu weitere oberdevonische Schichten wie die *Plattenschiefer* (dunkle Tonschiefer) sowie rote und grüne Tonschiefer nördlich von Weilburg. Noch um 1920 konnte man die vielfarbigen Dächer von Obershausen bewundern in dessen Umgebung die *bunten Schiefer* im Abbau gestanden hatten. *Cypridinenschiefer* des Oberdevons wurden bei Merenberg und östlich von Dillenburg als Dachschiefer verwendet. Auch das Unterkarbon hat gelegentlich noch brauchbares Material geliefert, so z. B. die *Liegenden Alaunschiefer* (Unterkarbon II alpha) und Tonschiefer (Unterkarbon III alpha) westlich von Bad Wildungen sowie die *Posidonienschiefer* (Unterkarbon III alpha/beta) bei Ehringshausen zwischen Wetzlar und Herborn.



Abb. 65: Waldecker Schiefer als Dach- und Fassadenverkleidung. Quelle: [40].

Daneben wurden Tonschiefer früher wesentlich häufiger als heute als Beschotterungsmaterial für kleinere Feld- und Waldwege benutzt. Auch zur Herstellung von Schreibgerät – Schiefertafel und Griffelschiefer – sowie für Operationstischen, Billardtischen und Schalttafeln waren bestimmte Tonschiefer-Lagen verwendbar.

Nur noch südwestlich Battenberg werden **Kieselschiefer** in zwei Steinbrüchen für den Wald- und Wegebau gebrochen. Die Abbaumächtigkeiten erreichen bis zu 20 m bei Abraummächtigkeiten von 5 bis 8 m. Viele kleinere, zumeist offengelassene Steinbrüche mit Abbaumächtigkeiten zwischen 3 und 12 m lassen eine deutlich größere Bedeutung des Kieselschieferabbaus in der Vergangenheit erahnen.

12.9.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Tonschiefer haben in Hessen ein großes Verbreitungsgebiet. Die Vorräte mit Dachschieferqualität sind nicht bezifferbar, da die Vorkommen nur z.T. genau kartiert sind. Derzeit besteht kein akuter Handlungsbedarf, den Anteil der bisher ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebiete auszuweiten. Für die Rotschiefer-Gewinnung der keramischen Industrie reichen die Vorräte noch für mehrere Jahrzehnte (s. Fachbericht Tonrohstoffe).

Kieselschiefer-Vorräte sind noch in ausreichendem Maße vorhanden. Die derzeitige Nachfrage an Kieselschiefern ist sehr begrenzt, so dass die Ausweisung der sechs Rohstoffsicherungsflächen bei Battenberg, Lohra und Haina als ausreichend angesehen wird.

12.9.7 Transportlage

Die Transportlage der **Tonschiefer** ist aufgrund der bereichsweise geringen Straßendichte infolge der geringeren Bevölkerungsdichte im Rheinischen Schiefergebirge sehr heterogen. Gut bis sehr gut angebunden sind Lagerstätten in der Nähe von Autobahnen und Bundesstraßen, die das Rheinische Schiefergebirge durchqueren (z.B. A 3, A 45, B 252).

Aufgrund der Lage der **Kieselschiefer**-Lagerstätten im Rheinischen Schiefergebirge mit weniger guter Anbindung an Ballungsräume stellt sich die Transportsituation hier weniger gut dar.

12.9.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Derzeit haben **Tonschiefer** als Dachschiefer keine volkswirtschaftliche Bedeutung in Hessen.

Auch Tonschiefer als Wegeschotter haben heute höchstens lokale Bedeutung. Der Rotschiefer-Abbau bei Langenaubach hat überregionale Bedeutung für die keramische Industrie; Produkte werden ins Sauerland und nach Süd- wie Norddeutschland vertrieben.

Derzeit besitzen **Kieselschiefer** nur für den lokalen Bereich eine kleinere wirtschaftliche Bedeutung.

12.9.9. Substitution und Recycling

Dachschiefer lässt sich heute durch vielfältige Dach- und Fassaden-Materialien ersetzen. Für Restaurationszwecke und den Erhalt landschaftstypischer Gebäude bleibt Dachschiefer jedoch unersetzlich und muss derzeit aus den benachbarten Bundesländern oder aus dem EU-Raum importiert werden.

Kieselschiefer können durch andere Hartgesteine substituiert werden.

12.10. Kalksteine und Marmore

Karbonatgesteine, zu denen neben Kalksteinen (Hauptbestandteil CaCO_3), Dolomitstein [$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$] und Mergelgesteinen (Karbonat-Ton-Mischgesteine) auch Marmore (metamorph überprägten Karbonatgesteine) gezählt werden, sind eine industriell vielseitig einsetzbare Gesteinsgruppe. Neben der Verwendung als Natur- und Naturwerkstein dienen sie in der Kalk- und Zementindustrie als Basisrohstoffe vieler Produkte und spielen auch in zahlreichen anderen Industrien eine wichtige Rolle. Daher werden Karbonatgesteine in einem eigenen Fachbericht (*Fachbericht Kalk- und Zementrohstoffe*) behandelt. Dieses Kapitel konzentriert sich auf Karbonatgesteine als Naturwerksteine.

12.10.1. Lage

Kalksteine

Der Großteil der Karbonatgesteine für die Verwendung als Naturstein stammt aus Nordhessen und entstand in der Zechstein- und Muschelkalkzeit.

Die hochwertigen Kalksteine des Lahn- und Dill-Gebietes sind die ältesten Karbonatgesteine Hessen und eignen sich überdies zur Naturwerksteingewinnung („Lahnmarmor“). Diese überwiegend als kompakte Massenkalk aus gebildeten Gesteine der Devonzeit treten in im Raum Limburg-Wetzlar und Brilon auf.

Marmore

Im Odenwald südlich Hochstädten, bei Bensheim, tritt ein ca. 2 km, schmales, SW-NE orientiertes Marmorband zutage, der *Auerbacher Marmor*.

12.10.2. Untersuchungsstand

Kalksteine

Zum Untersuchungsstand wird auf den *Fachbericht Kalk- und Zementrohstoffe* verwiesen.

Marmore

Aufgrund von Untersuchungen und der Abbautätigkeit in der Vergangenheit kann der Untersuchungsstand als gut bezeichnet werden.

12.10.3. Geologie und Mineralogie

Kalksteine

Zur Geologie und Mineralogie wird auf den *Fachbericht Kalk- und Zementrohstoffe* verwiesen.

Marmore

Marmor entsteht aus relativ reinen Kalksteinen und besteht zu mindestens 80% aus Kalzit.

Der dem Carrara-Marmor ähnliche Auerbacher Marmor (Abb. 66) ist hellgrau bis weiß, feinkörnig, mit dunkelgrauen Schlieren. Das Gestein ist stark zerklüftet, wobei die Risse mit jüngerem Kalzit wieder verheilt sind. Der metamorphe Kalkstein bildet eine fast senkrecht einfallende maximal 40 bis 45 m breite Bank, die jedoch örtlich, besonders zur Tiefe hin, auf 2 bis 3 m ausdünn.



Abb. 66 Auerbacher Marmor. Quelle: [40]

12.10.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Kalksteine

Hier soll auf den Lahnmarmor Bezug genommen werden. Dieser zeichnet sich durch eine gut bis sehr gute Verwitterungsbeständigkeit aus. Er lässt sich gut polieren, die Politur ist jedoch im Außenbereich vergleichsweise weniger haltbar. Es kann auch zu Entfärbungen kommen. Aber erst nach langer Zeit sind Ausbrüche von Gesteinsmaterial zu beobachten.

Die geotechnischen Kennwerte der Lahnmarmor-Varietäten sind in der folgenden Tabelle 25 aufgeführt.

Tab. 25 Geotechnische Kennwerte der verschiedenen Lahnmarmor-Varietäten.

Quelle: [40]

Name (nach [40])	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Villmarer Kalkstein (Bongard)	Kalkstein („Lahn-marmor“), sehr bunt, dicht; mit orangenen Strukturen; teilweise stärker zerklüftet; Risse mit weißem Calcit verheilt	2,71	2,70	0,59	< 0,001	0,16	0,22	0,71	In der Reuer-Kirche, Würzburg; ehemalige Reichskanzlei, Berlin; im UNICEF-Gebäude, Paris; im Empire-State-Building, New York; im Kremel sowie in den U-Bahn-Stationen, Moskau
Villmarer Kalkstein (Unika)	Kalkstein („Lahn-marmor“), schwachrot, dicht; mit zu mehreren dm großen Strukturen von koloniebildenden Organismen sowie reichlich Fossilschutt	2,72	2,71	0,65		0,19	0,24	0,77	Zwei Säulen auf dem Lutherplatz in Kassel; im Turm der TU, Gabelsbergerstraße, München; in den Schlössern von Mannheim und Bruchsal
Steedener Kalkstein (Steedener Rot)	Kalkstein („Lahn-marmor“), schwachrot, dicht; Echinodermenreste, Korallen-, Bryozoen- und	2,73	2,71	0,44		0,09	0,16	0,53	Fassadenverkleidung am Cafe in der Maffeistraße 3, München; Reichsparteitagsgelände, Nürnberg; in

	Schalenbruchstücke führend; das Gestein ist von vielen, braun gefärbten Drucksuturen (Stylolithen), durchzogen								der Paulskirche, Frankfurt; Brunnen vor der Kreissparkasse in Steeden
Wirbelauer Kalkstein	Kalkstein („Lahn-marmor“), dunkelgrau, dicht, mit vielen Fossilresten; auffallend strukturiert durch breite Säume von faserigem Calcit um Komponenten; Graue bis schwarze Färbung wahrscheinlich durch hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff)	2,71	2,70	0,38	< 0,001	0,11	0,14	0,78	Bodenbelag am Eingang der Hessischen Landesbank, Ständplätze, Kassel; Grabsteine auf dem Kasseler Hauptfriedhof; Nepomuk-Denkmal auf der Alten Lahnbrücke in Limburg; in der Kirche St. Gallus in Flörsheim; im Altarraum des Doms zu Speyer
Schupbacher Kalkstein (Schupbach Schwarz)	Kalkstein („Lahn-marmor“), schwarz, dicht, homogen; von vielen weißen Calcitadern durchzogen; keine Komponenten erkennbar; Varietäten: mit orangefarbenen Calcit-Adern („Goldader“)	2,72	2,70	0,62		0,19	0,23	0,79	Epitaphe im Limburger Dom; an der Friedhofskapelle des Alten Friedhofs in Gießen; Säule auf dem Lutherplatz in Kassel; im Turm der TU, Gabelsbergerstraße, München; in U-Bahn-Stationen in Moskau; in der St. Petersburger Eremitage
Schupbacher Kalkstein (Famosa)	Kalkstein („Lahn-marmor“), hellgrau bis dunkelgrau, dicht; massig ausgebildet mit vielen, meist nicht mehr identifizierbaren organischen Strukturen	2,72	2,71	0,22		0,06	0,08	0,76	Grabsteine auf alten Friedhöfen von Gießen, Fulda und Marburg; Brüstung am Schlossgarten von Weilburg; im Würzburger Dom; im Turm der TU, Gabelsbergerstraße, München; in U-Bahn-Stationen in Moskau

Marmore

Das Gestein ist durch eingelagerte Linsen anderer metamorpher Gesteine verunreinigt und

Tab. 26 Geotechnische Kennwerte des Auerbacher Marmors. Quelle: [40].

	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Auerbacher Marmor	Marmor, hellgrau, feinkörnig, mit dunkelgrauen Schlieren. Das Gestein ist stark zerklüftet, Risse mit Calcit verheilt sind	2,76	2,75	0,68		0,14	0,25	0,58	Epitaph in der Auerbacher Bergkirche, Grabsteine, Säule am Brunnen des Heidelberger Schlosses; im Mainzer Dom

örtlich verkarstet. Insbesondere bei hellen Marmor-Partien besteht aufgrund der Kapillarität und möglicher akzessorisch auftretender Mineralien wie Pyrit Verfärbungsgefahr. Der Auerbacher Marmor eignet sich aufgrund seiner technischen Eigenschaften (Tab. 26) als Naturwerkstein.

12.10.5. Abbausituation und Verwendung

Kalksteine

Aktuelle Abbauschwerpunkte für gebrochenen Naturstein liegen in Nord- und Osthessen. Aber auch im Lahn-Dill-Gebiet werden Kalksteine u.a. zu Schotter und Splitt gebrochen. Hier blühte in der Vergangenheit der Abbau von Naturwerkstein mit überregionaler Bedeutung.

Als Naturwerksteine spielen Karbonatgesteine Hessens heute aus wirtschaftlichen Gründen aber keine Rolle mehr. Dies war in der Vergangenheit anders. Kalk- und Dolomitgesteine unterschiedlichstem Alter hatten zumindest auf lokaler Ebene eine Bedeutung als behauener Baustoff.



Abb. 67 Plattenkalke an der Toreinfahrt des Weilburger Schlossgartens

Von den mittel- bis oberdevonischen Karbonatgesteinen kamen vor allem zum Abbau: Dunkle *Plattenkalke* (Abb. 67) bei Niederkleen südlich von Gießen, Massen-/Riffkalke (*Lahnarmor*) (Abb. 68) vor allem im Lahnggebiet zwischen Weilburg und Limburg, *Padberger Kalk* sowie *Cephalopoden-Kalk* – beide teilweise polierfähig – nördlich von Korbach, *Flinzplattenkalke*

(*Waldecker Marmor*) bei Giebringshausen südlich des Diemelsees und *Stringocephalenkalke* im Biebertal nordwestlich von Gießen.

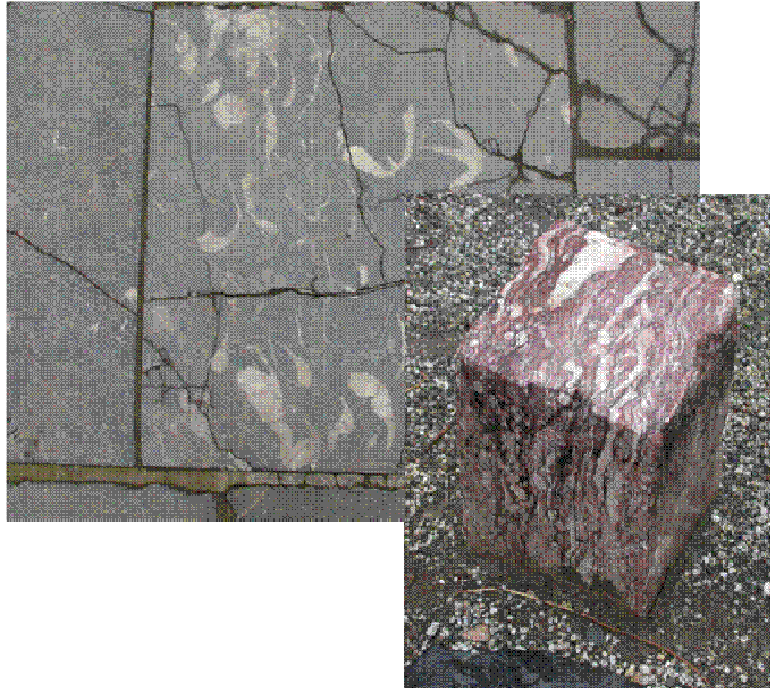


Abb. 68: Lahnmarmore mit unterschiedlicher Farbgebung und Zeichnung

Von den Zechstein-Karbonaten nutzte man früher die *Randkalke* z. B. für alte Stadtbefestigungen und Kirchen wie in Korbach. Weitere Gesteine, die als Naturwerkstein gebrochen wurden, sind der *Adorfer Zellenkalk* und der *Plattendolomit*.

In verschiedenen Regionen Nordhessens waren die härteren Kalksteinbänke der Oolith-, der Te-rebratel- und Schaumkalk-Zone im Unteren Muschelkalk und die Trochitenkalke des Oberen Muschelkalkes für den Gebäudebau von Interesse. Aus den plattigen Kalken des Gelben Zwischenmittels der Oolith-Zone errichtete man im Mittelalter die Scharnburg nördlich von Zierenberg.

Tertiäre Kalksteine wurden in der Gegend von Frankfurt gewonnen. Die *Corbiculakalke* sollen bereits von den Römern abgebaut worden sein. Im Mittelalter schuf man die Dome zu Mainz und Oppenheim sowie die Burg Landskron aus diesen tertiären Kalksteinen.

Kalktuff wurde in einer kleinen Grube nördlich von Trendelburg für den lokalen Gebrauch gebrochen.

Lahnmarmor

Von überregionaler Bedeutung waren die zur Naturwerkstein-Verwendung gebrochenen devonischen Massenkalken der sog. „Lahnmarmor“ des Lahn-Dill-Gebietes im Rheinischen Schiefergebirge. Es ist kein Marmor im petrographischen Sinn, sondern zeigt marmorähnliche Gesteinszeichnungen.

Lahnmarmor wurde bis nach Amerika geliefert. Berühmtestes Beispiel ist die Innenauskleidung im Empire State Building (Abb. 69).



Abb. 69 Innenverkleidung im Empire State Building. Quelle: [52].

Unter Napoleon I. wurden im Bereich des Mittelrheins die ersten Steinstraßen angelegt, und ab 1847, als Herzog Adolf von Nassau mit dem Schleusenbau an der Lahn begonnen hatte, konnte das Gestein auch auf dem Wasserwege transportiert werden. Dadurch kam es zu einer explosionsartigen Verbreitung der Devonkalken dieser Region besonders in den großen Städten am Rhein. Auch in die Niederlande wurde viel Material geliefert. Über die Kolonialherrschaft der Niederlande gelangte Lahnmarmor im vorigen Jahrhundert sogar bis nach Batavia, heute Jakarta, die Hauptstadt Indonesiens. Er wurde dort beim Bau des neuen königlichen Palastes eingesetzt.

400 Jahre lang wurde an der Lahn Marmor abgebaut. Ende der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts kam das Ende: Lahnmarmor war unrentabel geworden. Billigerer Importmarmor aus fernen Kontinenten hatte ihm den Rang abgelaufen. Seither sind etwa 15 Steinbrüche verwaist.

Marmore

Auerbacher Marmor wurde in der Vergangenheit übertage und untertage auf bis zu 7 Sohlen im Stollenabbau gewonnen und im 1865 gegründeten Auerbacher Marmorwerk weiterverarbeitet. Seit 1928 wurde unter dem Namen „Marmorit“ farbiger Trockenmörtel aus mineralischen Rohstoffen

hergestellt und vertrieben, seit 1934 mineralische Edelputze unter dem Namen "Bollerit". Seit 1975 geht kein Marmor-Abbau mehr um.

Ein Epitaph in der Auerbacher Bergkirche sowie zahlreiche Grabsteine auf dem Kirchhof, eine der fünf Säulen am Brunnen des Heidelberger Schlosses und Elemente im Mainzer Dom zeugen von einer regional bis überregionalen Bedeutung als Naturwerkstein in der Vergangenheit.

12.10.6 Vorräte und Rohstoffsicherung

Kalksteine

Mit den in den Rohstoffsicherungsgebieten noch vorhandenen Vorräten ist die Versorgungslage in Hessen mittel- bis langfristig als gesichert anzusehen, soweit diese in Zukunft für die Rohstoffwirtschaft nutzbar sein werden. Bei regionalen Nachfrageengpässen muss es auch in Zukunft möglich sein neue Lagerstättenflächen auszuweisen und zu erschließen.

Allein in den genehmigten Lagerstättenflächen devonischer Massenkalk sind > 80 Mio. t Vorräte vorhanden, z.T. mit Lahnmarmor-Qualität.

Für die rohstoffwirtschaftliche Nutzung der großflächigen Muschelkalk-Areale im Raum Fulda-Bad Hersfeld wird ein zwischen Abbaufirmen, den betroffenen Landkreisen, Städten und Gemeinden sowie den Genehmigungs- und Fachbehörden konzipierter Perspektivplan, der Abbau- und Folgemaßnahmen langfristig skizziert, als sinnvoll erachtet.

Marmore

Der Auerbacher Marmor ist ein seltener Rohstoff, da er nur an einer Stelle in Hessen vorkommt. Vorräte sind in begrenztem Maße noch vorhanden. Die gesamte Marmor-Lagerstätte ist als Rohstoffsicherungsfläche im Regionalplan Südhessen 2000 ausgewiesen, um mögliche Abbauaktivitäten in der Zukunft nicht unzumutbar zu erschweren oder gar unmöglich zu machen. Diese Fläche sollte daher auch für die Zukunft fortgeschrieben werden.

12.10.7. Transportlage

Kalksteine

Bedingt durch das gute Bundes- und Autobahnnetz in Hessen ist die Transportlage insgesamt als gut einzustufen.

Marmore

Durch die Nähe zum Rheintal mit seiner Infrastruktur und den Ballungsräumen Rhein-Main und Rhein-Neckar ist die Transportsituation als gut bis sehr gut zu bezeichnen.

12.10.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Kalksteine

Die Massenkalken besitzen aufgrund ihrer hohen Veredelbarkeit, ihrer guten Vorratslage, der ballungsraumnahen Verfügbarkeit und ihres geringen zeitlichen Flächenverbrauch bei hohen Abbaumächtigkeiten eine bedeutende volkswirtschaftliche Bedeutung.

Die Stoffströme sind abhängig von der Verwendung des Rohstoffes. Schotter- und Splitte für die Bauindustrie haben lokal bis regionale Bedeutung.

Marmore

Derzeit hat der Auerbacher Marmor keine volkswirtschaftliche Bedeutung. Er hat jedoch ein Potenzial als Naturwerkstein.

12.10.9. Substitution und Recycling

Kalksteine

Kalksteine können je nach Einsatzgebiet und abhängig von der jeweiligen örtlichen Situation z. T. durch andere mineralische Rohstoffe ersetzt werden. Als Zuschlagsstoff im Betonbau kann Karbonatgestein durch Sand & Kies, andere Natursteine oder auch durch künstliche Steine wie Hochofenschlacke substituiert werden.

Die devonischen Massenkalken als Naturwerkstein (Lahnmarmor) sind aufgrund ihrer Textur Unikate. Eine Substitution durch andere Naturwerksteine ist daher nicht möglich.

Marmore

Als Naturwerkstein ist der Marmor ein Unikat und lässt sich insbesondere für Restaurationszwecke nicht ersetzen.

12.11. Granite und Granodiorite

12.11.1. Lage

Granite und Granodiorite kommen ausschließlich im kristallinen Teil des Odenwaldes vor (Abb. 70). Lagerstätten und Gewinnungsstellen liegen östlich Heppenheim, nordwestlich Rimbach, bei Reichelsheim, nördlich Böllstein und im Raum Groß-Umstadt. Vereinzelt Vorkommen gibt es auch westlich Dieburg.

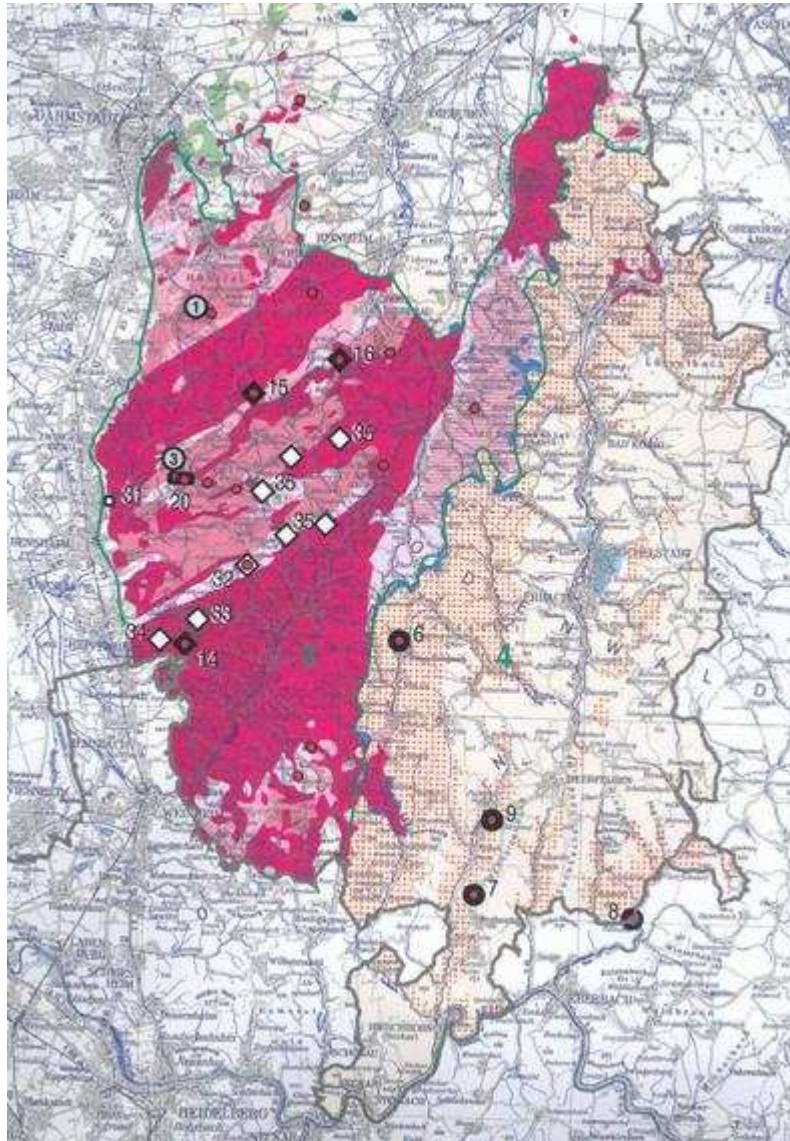


Abb. 70: Natur- und Naturwerksteine des Odenwaldes. Ausschnitt aus der Übersichtskarte der Natur- und Naturwerksteine in Hessen 1:300000. Rote und dunkelrosa Farben verdeutlichen die Granit- bzw. Granodiorit-Verbreitung.

12.11.2. Untersuchungsstand

Petrographie und Mineralogie der Granite und Granodiorite sowie die geologischen Rahmenbedingungen wurden in diversen geowissenschaftlichen Arbeiten untersucht. Die Rohstoffsicherungsflächen sind geologisch kartiert und überwiegend durch Steinbrüche aufgeschlossen, die gesteinstechnischen Eigenschaften und die Verwertbarkeit der dort angetroffenen Gesteine sind durch z. T. langjährige Nutzungspraxis hinreichend bekannt.

Im Vergleich zum Verbreitungsgebiet besitzen die bisher ausgewiesenen Lagerstätten eine relativ kleine Fläche, so dass weiterer Erkundungsbedarf besteht.

12.11.3. Geologie und Mineralogie

Granite und Granodiorite sind in petrographisch-mineralogischer Hinsicht ähnliche Gesteine. Sie unterscheiden sich vor allem durch unterschiedliche Anteile bestimmter Feldspäte, der Plagioklase und Kalifeldspäte.

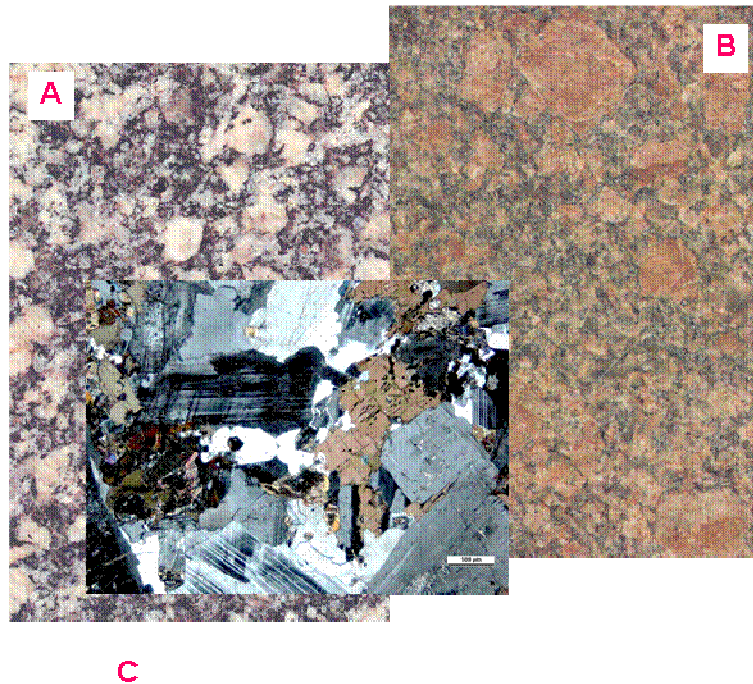


Abb. 71: Granite; A: Streiterberg-Granit (Hessisch Rot), B: Tromm-Granit, Quelle:[40]; C. Dünnschliffbild mit für Plutonite typischem unregelmäßigem Mineralgefüge.

Beide Gesteinsarten sind Produkte von Aufschmelzungsprozessen innerhalb einer durch Gebirgsbildungsprozesse verdickten Erdkruste. Aber auch eine Bildung infolge heißen Erdmantelmaterials, das durch thermische Instabilität die Basis der Erdkruste zum Schmelzen bringt wird diskutiert.

Unter den erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen beginnen Krustengesteine mit hohem Wassergehalt bereits bei ca. 650°C partiell zu schmelzen und in der Erdkruste in Schwächezonen aufzusteigen, begleitet von Metasomatose und Kristallisationsprozessen.

Langsam erstarren diese Schmelzen in mehreren Kilometern Tiefe. Dadurch können die einzelnen Mineralien, aus denen das Gestein besteht, langsam wachsen und sichtbare Kristalle bilden.

Granite sind hell- bis dunkelgrau, rotgrau, fleischfarben bis rot, gelbliche, fein- bis grobkörnige Tiefengesteine bestehend aus den hellen Hauptgemengteilen: Alkalifeldspat 30 - 65 Vol.-%, Plagioklas (Na-reich) < 30 Vol.-%, Quarz 15 - 40 Vol.-% und dem dunklen Hauptgemengteil Biotit (bis 10 Vol.-%). Häufig tritt neben Biotit auch Muskovit auf (Zweiglimmergranit), gelegentlich kommt Amphibol (Hornblende), seltener Pyroxen hinzu.

Granodiorit führt im Vergleich zum Granit mehr Plagioklas als Alkalifeldspat, dessen Anteil bis auf 10 Vol.-% zurückgeht. Es sind hell- bis dunkelgraue, meist mittelkörnige Tiefengesteine bestehend aus den Hauptgemengteilen: Plagioklas 30 - 50 Vol.-%, Alkalifeldspat 10 - 30 Vol.-%, Quarz 15 - 30 Vol.-%, Biotit und Hornblende 05 - 20 Vol.-%. Mit der Erhöhung des Volumenanteils von Plagioklas nimmt auch der Gehalt an dunklen Gemengteilen zu, wie Biotit und/oder Hornblende, seltener Augit.



Abb. 72: Sonderbacher Granodiorit. Quelle: [40]

Weil fließende Übergänge zu Granit bestehen, ist eine eindeutige Gesteinszuordnung im Steinbruch mitunter problematisch. Oft kann eine eindeutige Gesteinsansprache erst nach detaillierten geochemischen und petrographischen Untersuchungen im Labor vorgenommen werden. In der Rohstoffwirtschaft wird daher in der Regel keine Unterscheidung vorgenommen und für beide Gesteinsarten gleichermaßen die Bezeichnung "Granit" verwendet.

12.11.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Granite wie Granodiorite treten gewöhnlich massig auf und sind in tektonisch wenig beanspruchten Bereichen überwiegend weitständig geklüftet.

Bedingt durch Abtragung des Gebirges werden Plutonite an der Erdoberfläche freigelegt. Hier zerfallen Granite, Granodiorite aber auch andere grobkörnige plutonische Hartgesteine bei der Verwitterung nach ihrem natürlichen Trennflächengefüge zuerst in kubischen Blöcke, die dann durch Abwitterung der Kanten zu sackförmigen Gebilden ("Wollsackverwitterung") umgeformt werden.

Die bei der Abkühlung und Auskristallisation der Gesteinsschmelze angelegten Schwächezonen der Granite und Granodiorite ist für die Naturwerksteingewinnung von großem Nutzen, z.B zur Herstellung von würfeligen Pflastersteinen bis hin zu großen kubischen Blöcken. Auch beim Sprengen paust sich das natürliche „Sollbruchsystem“ im gelockerten Hartgestein bereits durch. Im

Tab. 27: Geotechnische Kennwerte von Granit und Granodioriten

	Granit	Granodiorit
Rohdichte	2,6 - 2,8 g/cm ³	2,6 - 2,8 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,2 - 0,5 Gew.-%	0,2 - 0,5 Gew.-%
Druckfestigkeit	160 - 240 N/mm ²	160 - 240 N/mm ²
Biegezugfestigkeit	10 - 20 N/mm ²	10 - 20 N/mm ²
Schleifabnutzung	5 - 8 cm ³ /50cm ²	5 - 8 cm ³ /50cm ²

Nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt. Quelle: [39]

Gestein bestimmen hauptsächlich Quarz die Festigkeit, Feldspat die Farbe und Biotit die Verwitterungsanfälligkeit. In den wichtigen technischen Parametern unterscheiden sich Granite und Granodiorite im Allgemeinen kaum (Tab. 27). Auch in ihrer Naturwerksteineignung liegen sie eng beieinander (Tab.28).

Verschiedene Gesteinsfarben und -texturen haben die Odenwälder Granite und Granodiorite in der Vergangenheit für die Naturwerksteingewinnung interessant gemacht. Eine Besonderheit der Odenwälder Varietäten ist deren gelegentlich intensiv rötliche Färbung ("*Roter Odenwald-Granit*"). Häufig sind sie jedoch grau bis hellgrau gefärbt. Das Gefüge ist häufig mittel- bis grobkörnig, seltener feinkörnig, z. T. auch porphyrisch, d.h. mit erkennbaren Mineraleinsprenglingen. Gesteine der grobkörnig-porphyrischen Variante (sog. Typ Weschnitz-Pluton) treten speziell im Raum Hepenheim auf.

Tab. 28: Geotechnische Kennwerte von Graniten und Granodioriten als Naturwerksteine

Name (nach [40])	Gesteinsbeschreibung	Dichte, rein (g/cm ³)	Dichte, roh (g/cm ³)	Porosität (Vol. %)	Luftpermeabilität (mD)	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Gew. %)	Wasseraufnahme unter Vakuum (Gew. %)	Sättigungsgrad	Verwendungsbeispiele
Tromm-Granit	Biotitgranit, blassrot, fein- bis grobkörnig; Einsprenglinge aus bis zu mehreren cm großen Feldspatkristallen	2,67	2,64	1,06		0,25	0,40	0,6	An zahlreichen Gebäuden und Mauern in Zotzenbach/Tromm und Rimbach; an Bauwerken des Reichsparteitag-Geländes in Nürnberg
Streiterberg-Granit (Hessisch Rot)	Hornblende-Biotit-Granit, blassrot, mittel- bis grobkörnig; mit cm-großen, rosafarbenen Alkalifeldspäten	2,69	2,67	0,70		0,21	0,27	0,81	Häuser (Sockelbereich und Treppen sowie zahlreiche Grabsteine in Brandau
Sonderbacher Granodiorit	Hornblende-Biotit-Granodiorit, hellgrau bis grau, mittel- bis grobkörnig; gut ausgebildete Feldspatkristalle bis 10 mm	2,74	2,72	0,46		0,13	0,17	0,74	Taufbecken und Säulen in der Kirche von Kirschhausen; Gebäude (vor allem Sockelbereiche) und Treppen in Sonderbach und Kirschhausen

Sie bestehen vorherrschend aus Quarz, Feldspat (Orthoklas und Oligoklas/Sanidin), Biotit und Hornblende und werden als Granodiorite eingestuft. Ein vereinzelt Vorkommen bei Dieburg birgt einen aus Quarz, Kalifeldspat, Oligoklas und Biotit zusammengesetzten, rötlich-grauen Biotitgranit (sog. Typ Tromm) mit ebenfalls grobkörnig-porphyrischem Gefüge.

12.11.5. Abbausituation und Verwendung

Auf den Lagerstättenflächen bei Heppenheim, Böllstein und Dieburg existieren derzeit vier Gewinnungsstellen. Die Abbaumächtigkeiten erreichen max. 70 m. Die Abraummächtigkeit liegt im Bereich von 5 bis 15 m je nach Mächtigkeit der vergrusten Verwitterungsschicht. Gesteinsgrus wird z.T. als Sand- bzw. Kiesmaterial („Felsenkies“) für den Wegebau verwendet.

In den Gewinnungsstellen wird überwiegend Brechgut für den Straßen-, Beton- und Deichbau (Schotter, Edelsplitle etc.) gewonnen. Der Abbau erfolgt mit den üblichen Sprengmethoden. Die Aufbereitung geschieht allgemein vor Ort. Für spezielle Einsatzbereiche so für die keramische Industrie (z.B. Beschichtungen), die Bauchemische Industrie (z.B. für Putze und Mörtel) oder sogar in der Spielwarenindustrie (feiner Gleisschotter für Modelleisenbahnen) erfolgt die Weiterverarbeitung bis hin zu Gesteinsstäuben. Der Trend zur Veredelung des Rohstoffes, zur Verbreiterung der Produktpalette und zur Erschließung neuer Geschäftsfelder für die Abbaubetriebe hat in den letzten Jahren zugenommen. Geringe Mengen werden nahe Heppenheim je nach Nachfrage als Naturwerkstein zu Stelen, Rand-, Kant- und Grenzsteinen etc. verarbeitet.



Abb. 73: Granodiorit-Steinbruch bei Heppenheim-Sonderbach.

Bekannte Naturwerksteine aus dem Odenwald sind der *Tromm-Granit*, der *Streiterberg-Granit* (*Hessisch Rot*) und der *Sonderbacher Granodiorit*. Die seit der Römerzeit praktizierte Gewinnung als Naturwerkstein für Denk- und Grabmäler und sonstige Einsatzbereiche in der Werksteinindustrie ist aufgrund der heute erdrückenden Konkurrenzsituation insbesondere zu China und Indien vollständig zum Erliegen gekommen. Einzig das anfallende Abraummateriale findet für die genannten Zwecke nach Bedarf in geringen Mengen Verwendung.

12.11.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Die Vorräte an Granit und Granodiorit beziffern sich in den Gewinnungstellen nur noch auf < 5 Mio. t. Für die mittelfristige Rohstoffversorgung sind daher weitere Flächenausweisungen und - soweit technisch möglich und genehmigungsfähig - Abbauvertiefungen notwendig. Die insgesamt im Odenwald vorhandenen geologischen Vorräte sind als langfristig ausreichend anzusehen.

12.11.7. Transportlage

Die Lagerstätte bei Dieburg ist gut an das überregionale Straßenverkehrsnetz (B 26) angeschlossen. Die Vorkommen im Raum Rimbach – Kirschhausen befinden sich in recht günstiger Nähe zur A 5 Frankfurt–Darmstadt–Heidelberg. Etwas abseits liegen die Vorkommen bei Reichelsheim (Odenwald) und Böllstein. Sie sind aber über Kreis- bzw. Landesstraßen anfahrbar.

12.11.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Als Material für die Gewinnung von Brechgut besitzen die Odenwälder Granite und Granodiorite regionale bis überregionale Bedeutung, insbesondere für den Rhein-Neckar-Raum und das Rhein-Main-Gebiet. Als Werksteinmaterial spielen die Rohstoffe z. Zt. zwar wegen der Konkurrenz aus Übersee keine große Rolle, ihr hohes Lagerstättenpotenzial für die Naturwerksteingewinnung sollte dennoch so weit wie möglich erhalten werden.

12.11.9. Substitution und Recycling

Substitution durch Hartsteine vergleichbarer Qualität aus dem Odenwald ist einerseits zwar grundsätzlich möglich, andererseits aber produktabhängig und wird von der Verfügbarkeit alternativer Hartgesteine angrenzender Regionen bestimmt.

Als Naturwerkstein haben Odenwald-Granite und –Granodiorite regionaltypische Gefügemerkmale, die eine Substitution erschweren oder ausschließen.

12.12. Gabbros, Diorite und Quarzdiorite

12.12.1. Lage

Die Tiefengesteine Gabbro, Diorit und Quarzdiorit kommen nur im Bergsträßer Odenwald vor; Gabbros nur in dessen nördlichem Teil.

Die drei Gesteinsarten weisen makroskopisch keine großen petrographischen und gesteintechnischen Unterschiede auf. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden sie hier zu einer Gruppe zusammengefasst.

12.12.2. Untersuchungsstand

Aufgrund der komplexen Tektonik ist der Untersuchungsstand insgesamt nur als befriedigend zu bezeichnen. Erkenntnisse über die Verbreitung, Struktur und Qualität der Hartgesteinsarten ergeben sich aus geologischen Kartierungen, den Tagesaufschlüssen der Steinbrüche und aus Bohrungen. Infrastrukturmaßnahmen wie der im Bau befindliche Lohbergtunnel und weitere Erkundungsbohrungen werden durch das HLUG geologisch ausgewertet, um den Erkenntnisstand weiter zu verbessern.

12.12.3. Geologie und Mineralogie

Gabbros, Diorite und Quarzdiorite sind durch langsame Abkühlung von Magmenkörpern innerhalb der Erdkruste entstanden, sind nicht zur Erdoberfläche durchgedrungen und weisen wegen der vergleichsweise langsamen Abkühlung des Magmas in der Regel ein mittel- bis grobkristallines Mineralgefüge auf.

- **Gabbros** des Odenwaldes lassen sich als harte, vorwiegend mittelkörnige, gelegentlich grob- oder feinkörnige, graue bis schwarze, seltener auch hellgraue, vereinzelt schwach bläuliche oder grünliche Magmatite mit insgesamt wechselvollem Aussehen kennzeichnen. Als Hauptgemengteile treten Feldspäte (Labradorit bis Bytownit), Pyroxen (diagonalnaher Augit) sowie Hornblende und Biotit, als Nebengemengteile bzw. Akzessorien Olivin, Apatit, Magnetit, Titanit, Pyrit auf. Quarz kommt nur in Ausnahmefällen und in geringen Anteilen vor. Gabbros sind meist massig entwickelt, häufig von Kalzitadern sowie Aplit- und Pegmatitgängen durchzogen und stellenweise tiefgründig zu lehmigem Gesteinsgrus zersetzt. Die Absonderung ist wechselnd bankig oder unregelmäßig polyedrisch in großen Blöcken.
- **Diorite** des Odenwaldes sind vorherrschend klein- bis mittelkörnig, massig ausgebildet und meist dunkelgrau/-grün bis schwarz gefärbt. Sie setzen sich aus Plagioklas (in erster Linie Labradorit) und dunkelgrüner, im Gestein schwarz erscheinender Hornblende zusammen. Als Nebengemengteile bzw. Akzessorien treten Biotit, Titanit, Magnetit und Pyrit auf. Quarz ist gelegentlich als Zwickelfüllung vorhanden.
- **Quarzdiorite** sind quarzreiche Diorite mit einem Quarzanteil von 5-20 Vol.-%.

12.12.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Alle drei Hartgesteinsarten eignen sich als hochwertige Natur- und Naturwerksteine. Sie zeichnen sich durch große Härte, hohe Rohdichten, hohe Druck- und Biegefestigkeit sowie durch eine allgemein geringe Wasseraufnahmefähigkeit aus. Für Gabbro und Diorit sind einige Parameter nachstehend aufgeführt (Tab. 29).

Tab. 29 Geotechnische Kennwerte von Dioriten und Gabbros.

	Diorit	Gabbro
Rohdichte	2,8 - 3,0 g/cm ³	2,8 - 3,0 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,2 - 0,4 Gew.-%	0,2 - 0,4 Gew.-%
Druckfestigkeit	170 - 300 N/mm ²	170 - 300 N/mm ²
Biegezugfestigkeit	10 - 22 N/mm ²	10 - 22 N/mm ²
Schleifabnutzung	5 - 8 cm ³ /50cm ²	5 - 8 cm ³ /50cm ²
Nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt. Quelle: [39]		

Weniger günstig erweisen sich die mehr grobkristallinen Gesteinspartien mit Lagengefüge, speziell, wenn eine starke Glimmerführung in diesen Bereichen hinzukommt. Das Gestein zeigt parallel zur den Glimmerlagen dann bei der Schlagzertrümmerung weniger Widerstand. Gute Rauigkeit (Griffigkeit) besitzen die mittel- bis feinkörnigen Varietäten.

12.12.5. Abbausituation und Verwendung

Die Römer waren die ersten, die im Odenwald nordöstlich Bensheim am Felsberg (Felsenmeer

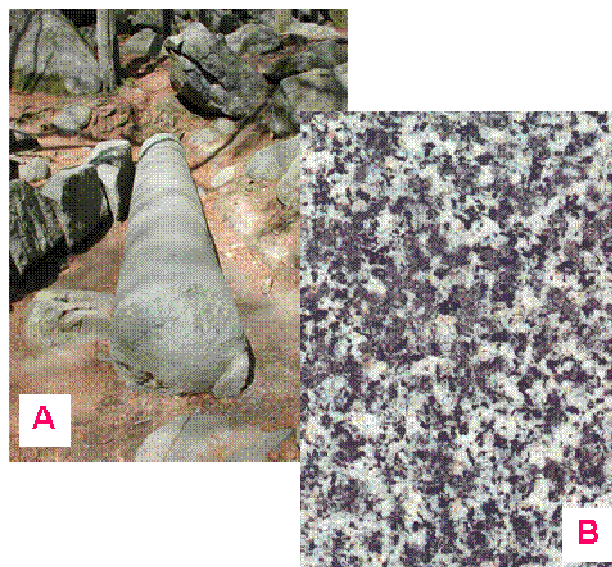


Abb. 74 A. Römerzeitliche, unfertige Naturwerksteinsäule am Felsberg bei Reichenbach im Odenwald. B. Gefüge des Felsberg-Diorits. Quelle B:[40].

bei Reichenbach) organisierten Naturwerksteinabbau betrieben. Zeitzeugen sind zahlreiche behauene Diorite (Hornblende-Biotit-Diorite) insbesondere die liegende „Römersäule“ (Abb. 74). Die Produkte wurden beispielsweise in der Basilika zu Trier verbaut.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde schwarzer Diorit aus der Umgebung von Lindenfels vielfach noch als polierter Denkmalstein eingesetzt. Heute werden die Gesteine hauptsächlich zur Erzeugung von Straßenbaumaterial und Betonzuschlägen genutzt. Abbau zur Naturwerksteingewinnung findet derzeit nicht statt. In zwei Brüchen dienen sie aufgrund ihrer sehr guten Qualitätseigenschaften außerdem zur Gewinnung von Gleisschottern. Darüber hinaus finden größere Mengen im Wasserbau Verwendung.

Gabbros werden im Mühlthal bei Waschenbach und Nieder-Beerbach (Abb. 75) sowie südlich Gross-Bieberau abgebaut. Diorit kommt in Nieder-Ramstadt und südwestlich Lindenfels bei Erlenbach vor, wo er derzeit abgebaut wird. Kleinere Brüche für Quarzdiorit liegen bei Lichtenberg und Ernsthof. Der Abbau wurde vor längerem eingestellt.

Die nutzbaren Mächtigkeiten in den aktiven Steinbrüchen liegen bei etwa 80 bis 190 m. Die Abbaumächtigkeiten schwanken zwischen 80 m (Erlenbach), 80–100 m (Waschenbach) und 100 m (Gross-Bieberau und Nieder-Beerbach). Der Abraum aus Bodenschicht und verwittertem Gestein ist durchschnittlich 10–15 m (Waschenbach max. 25 m) mächtig.



Abb. 75 Gabbro-Steinbruch Nieder-Beerbach im nördlichen Odenwald.

12.12.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Die geologischen Vorräte in den bereits genehmigten und geplanten Abbauflächen beträgt > 70 Mio. t. Eine Versorgungssicherheit mit Gabbro ist zurzeit gewährleistet. Die Diorit- und Quarzdiorit-Vorräte in den Rohstoffsicherungsgebieten lassen sich nicht genau beziffern, sind jedoch mit einer Zehnerpotenz geringer anzusetzen.

12.12.7. Transportlage

Die Steinbrüche im Odenwald sind ausreichend an das lokale und regionale Straßennetz angeschlossen. Das Bundesautobahnnetz ist ebenfalls in ausreichender Nähe. Die Förderung aus den beiden Brüchen im Mühlthal wird zum Teil am Rhein auf Schiffe umgeladen. Förderprodukte aus dem Steinbruch bei Gross-Bieberau werden teilweise auch per Bahn abtransportiert.

12.12.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Die Hartgesteine werden hauptsächlich in Südhessen und im Rhein-Neckar-Gebiet abgesetzt, z. T. aber auch überregional z.B. in die Niederlande verschifft. Entsprechend kann die wirtschaftliche Bedeutung als regional bis überregional eingestuft werden.

12.12.9. Substitution und Recycling

Substitution durch Hartsteine vergleichbarer Qualität aus dem Odenwald ist einerseits zwar grundsätzlich möglich, andererseits aber produktabhängig und wird von der Verfügbarkeit alternativer Hartgesteine angrenzender Regionen bestimmt.

Technisch gleichwertige und chemisch ähnliche Gesteine wie z.B. Basalt treten erst wieder nördlich des Rhein-Main-Gebietes auf. Substitution durch andere Hartgesteine wie z.B. Basalt wäre daher in den südlichen Absatzgebieten mit größeren Transportweiten verbunden und damit ökonomisch wie ökologisch nicht sinnvoll.

12.13. Gneise und Migmatite

12.13.1. Lage

Im kristallinen Teil des Odenwaldes, im Bereich des *Bergsträßer Odenwald*, werden östlich Weinheim, in zwei kleineren Lagerstätten (Mackenheim und Obermengelbach) Gneise und Migmatite als gebrochener Naturstein gewonnen.

12.13.2. Untersuchungsstand

Die beiden Lagerstätten sind seit Jahrzehnten durch Steinbrüche erschlossen, geologisch kartiert und mit Lagerstättenbohrungen erkundet. Aufgrund des Auftretens seltener Mineralien ist die Lagerstätte Abtsteinach-Mackenheim und ihr geologischer Rahmen in zahlreichen Veröffentlichungen hinreichend charakterisiert worden.

12.13.3. Geologie und Mineralogie

Gneise sind mittel- bis grobkörnige Metamorphite mit ausgeprägtem Parallelgefüge (lagige gebänderte Textur). Hauptgemengteile sind Feldspat (meist Orthoklas), Quarz und Glimmer (Biotit, Muskovit u.a.). Der Feldspatgehalt liegt meist über 20%. Als Nebengemengteile können je nach Ausgangsgestein Cordierit, Disthen, Granat, Epidot, Hornblende, Sillimanit, Staurolith oder andere Minerale auftreten.

Migmatite sind durch extreme Metamorphosebedingungen partiell aufgeschmolzene Gneise. Je nach Aufschmelzungsgrad haben Migmatite noch deutlich erkennbaren Gneislagenbau mit einzelnen hellen Schlieren bis hin zur fast vollständigen Auflösung der Gneis-Textur. Die hellen Anteile in den Migmatiten sind von granitartiger Zusammensetzung (Quarz und Feldspat), werden als Leukosome bezeichnet. Sie sind die partiellen Aufschmelzungsprodukte. Gesteinsbereiche, in denen sich die dunklen, mafischen Minerale wie Biotit, Hornblende, Cordierit, Granat, und Al-reiche Minerale wie Sillimanit u.a. anreichern, werden Melanosom genannt.

Die oben genannten Lagerstätten liegen im Gebiet von kristallinen Schiefern des Schieferzuges von Weinheim–Wald-Michelbach. Diese wurden unter hohen Temperaturen und Gebirgsdrücken mehrfach metamorph bis zum partiellen Aufschmelzen überprägt und deformiert [53]. Der Schieferzug wurde zudem durch aufsteigende Granitschmelzen des Weinheimer Plutonitkomplexes stark durchsetzt.

Die lokale geologische Situation ist daher gekennzeichnet durch vielfach zertrennte Schieferstreifen (sog. *Wald-Michelbacher Schollenaglomerat*), die wirr angehäuft vorliegen, sowie durch einen komplizierten tektonischen Verband und innige Verschweißung von metamorphen und magmatischen Gesteinen.

Im Kontaktbereich zu lokalen Granitintrusionen werden Migmatite durch verstärktes Wachstum einzelner Minerale (Metablastese) auch Metablastite angetroffen, wobei die Übergänge zwischen den verschiedenen Gesteinsarten z. T. fließend sind und keine genaue Grenzziehung zulassen. Vorherrschende Gneisarten sind feinkörnige Biotit-Hornblende-Gneis und Biotit-Plagioklas-Gneis. Die Gneise sind schwärzlich bis grau gefärbt. Quarz, Feldspat und Biotit treten als Hauptminerale auf, untergeordnet z. T. Hornblende. Quarze und Feldspäte zeigen zumeist ein vergrößertes Kristallwachstum. Die Gesteine zeigen eine gute Verzahnung der Mineralanteile.

Die Migmatite und Metablastite bestehen gleichfalls hauptsächlich aus Quarz, Biotit und stellenweise recht großen Feldspatblasten. Das Gefüge ist metamorph geprägt, teils durch fortgeschrittene Umkristallisation bereits unregelmäßig-granitisch entwickelt.

Die durch die Metamorphose auftretende Sammel- und Rekristallisation der Mineralanteile hat einen positiven Einfluss auf die Gesteinsgüte.

Der Migmatit-Anteil ist in beiden Lagerstätten unterschiedlich stark ausgeprägt. Abbauarbeiten haben gezeigt, dass Amphibolit-Einschaltungen des Schiefergürtels eher selten und vom Volumen her vernachlässigbar sind.

Die Gesteinsserien werden zudem von zahlreichen, überwiegend nur geringmächtigen Aplit- und Pegmatitgängen durchzogen.

12.13.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Im Hinblick auf die Verwendbarkeit bestehen zwischen den verschiedenen Gesteinstypen keine nennenswerten Unterschiede. Die technischen Parameter bei Migmatiten können sich je aber nach Grad der Aufschmelzung von den Gneisen unterscheiden (Tab. 30).

Tab. 30: Geotechnische Kennwerte von Gneisen und Migmatiten

	Gneis	Migmatit
Rohdichte	2,6 - 3,0 g/cm ³	2,68 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,1 - 0,6 Gew.-%	0,39 Gew.-%
Druckfestigkeit	160 - 280 N/mm ²	155 N/mm ²
Biegezugfestigkeit		20,4 N/mm ²
Schleifabnutzung	4 - 10 cm ³ /50cm ²	
Nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt. Quelle: [39]		

Gneise wie Migmatite sind unterhalb einer stellenweise recht mächtigen Verwitterungs- und Vergrusungszone frisch und weisen aufgrund hoher Kornbindung und dem Fehlen quellfähiger Schichtsilikate gute Festigkeitswerte auf. Das Hartgestein eignet sich durch seine guten Mineraleigenschaften für Straßen- und Gleisbaustoffe, als Wasserbausteine und Gesteinskörnungen in der Asphalt- und Betonindustrie.

Der Schlagzertrümmerungswert SD von 12, bzw. der Los Angeles-Wert LA von 14 gestattet für beide Gesteinsarten die Anwendung als Gesteinskörnung > 32 mm.

12.13.5. Abbausituation und Verwendung

In den beiden Steinbrüchen Mackenheim und Obermengelbach werden die anstehenden Gesteine abgebaut. Die Abbaumächtigkeiten liegen zwischen 40 und 130 m. Der Abraum aus einer dünnen Bodenschicht sowie verwittertem/vergrustem Gesteinsmaterial ist mit 7–25 m nicht unerheblich aber typisch für den Odenwald.

Die Nutzgesteine werden mittels Großbohrlochsprengung aus der Wand gelöst. Die Aufbereitung des Förderguts aus beiden Steinbrüchen erfolgt gemeinsam in einem Werk bei Mackenheim. Gneise und Migmatite werden gemeinsam zu Brechsand, Splitt, Schotter und Mineralgemischen für den Straßen-, sonstigen Tief- und Betonbau (Beton Splitt) sowie Gleisschotter aufbereitet. Große Blöcke

finden als Wasserbausteine Verwendung. Die Gewinnung von Naturwerksteinen wird nicht betrieben.

12.13.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Die in den beiden Lagerstätten noch vorhandenen Gesamtvorräte an Rohmaterial dürften in der Größenordnung von ca. 10 Mio. t liegen. Mittelfristig wird jedoch der Vorrat der Migmatit-Lagerstätte erschöpft sein.

12.13.7. Transportlage

Beide Lagerstätten sind relativ gut an das regionale Straßenverkehrsnetz angeschlossen und befinden sich in ausreichend günstiger Entfernung zur B 3 und den Parallelautobahnen A 5 und A 67.

12.13.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Die Brecherprodukte werden überwiegend vorwiegend im Rhein–Neckar–Raum abgesetzt. Durch Stilllegung und Erweiterungsprobleme von Hartgesteinsteinstbrüchen im nahe gelegenen badenwürttembergischen Odenwald-Anteil kommt den hessischen Gneis- und Migmatiten eine besondere Bedeutung zu.

Substitution durch Hartsteine vergleichbarer Qualität aus dem Odenwald ist einerseits zwar grundsätzlich möglich, andererseits aber produktabhängig und wird von der Verfügbarkeit alternativer Hartgesteine angrenzender Regionen bestimmt.
werden.

12.14. Amphibolite und Kristalline Schiefer

12.14.1. Lage

Amphibolite treten nur im kristallinen Odenwald auf und sind mit den Schiefergürteln assoziiert (vgl. Kap. 12.13.3.).

Kristalline Schiefer wie Phyllite und Grünschiefer treten im Vordertaunus auf. Glimmerschiefer, auch von Serie mit Gneisen und Quarziten begleitet, bilden mehrere südwest-nordost verlaufende Schiefergürtel im kristallinen Teil von Odenwald und Spessart.

12.14.2. Untersuchungsstand

Der rohstoffgeologische Erkundungsgrad ist aufgrund der geringen Nachfrage als ausreichend zu bezeichnen.

12.14.3. Geologie und Mineralogie

Kristalline Schiefer und Amphibolite sind metamorphe Gesteine. Ihre sedimentären oder magmatischen Ausgangsgesteine wurden während der varistischen Gebirgsbildung vor mehr als 300 Mio. Jahren durch höhere Drücke und/oder Temperaturen in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und Struktur verändert und besitzen überwiegend ein lagiges, paralleltexturiertes Mineralgefüge.

Amphibolite sind dunkelgrün, grau- bis schwarzgrün, mittel- bis grobkörnige, teils massig, teils geschiefert, bestehend aus den Hauptgemengteilen: Amphibol 30 - 70%, Plagioklas 15 - 40 %, Quarz und Granat. Gelegentlich tritt auch Pyrit auf.

Der Begriff kristalliner Schiefer ist ein Sammelbegriff für hell- bis dunkelgraue, schiefriige Metamorphite, die vom Gneis durch das Zurücktreten von Feldspat unterschieden werden können. Es sind mittel- bis grobkörnige Gesteine mit ausgezeichnetem planarem und linearem Gefüge. Bei Glimmerschiefern beträgt der Anteil an Schichtsilikaten (vor allem Hellglimmer : Muskovit) mehr als 50%. Der Feldspatanteil liegt unter 20%. Weitere Gemengteile sind neben Quarz u.a. Granat, Staurolith, Disthen. Die Mineralkörner sind makroskopisch erkennbar.

Dünnschiefrig-blättrige Schiefer mit feinschuppigem Hellglimmer (Serizit) werden als Phyllite bezeichnet.

12.14.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Amphibolite mit massigem Gesteinsgefüge weisen hohe Druckfestigkeiten auf (Tab. 31). Schiefriige Gesteinsgefüge wirken sich negativ auf bestimmte Qualitätsanforderungen für Natur- und Naturwerksteine wie Kornform, Schlagwiderstand, Abrieb- und Verwitterungswiderstand aus.

Tab .31: Geotechnische Kennwerte von Amphiboliten.

	Amphibolit
Rohdichte	2,7 - 3,1 g/cm ³
Wasseraufnahme	0,1 - 0,4 Gew.-%
Druckfestigkeit	170 - 280 N/mm ²
Nach Angaben der DIN 52 100 und anderen Quellen zusammengestellt. Quelle: [39].	

12.14.5. Abbausituation und Verwendung

Derzeit haben Amphibolite und kristalline Schiefer aufgrund gestiegener Qualitätsstandards in Hessen keine Verwendung mehr. In der Vergangenheit dienten vor allem Amphibolite in geringem Umfang und lokal begrenzt für den Mauerbau oder zur Wegebeschotterung.

12.14.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Odenwald, Spessart und Taunus sind besitzen in ausreichendem Maße Vorkommen dieser Gesteine. Da Vorkommen kristalliner Schiefer und Amphibolite derzeit keine Lagerstättenqualität besitzen, sind auch keine Rohstoffsicherungsflächen in der Karte Rohstoffsicherung ausgewiesen.

12.14.7. Transportlage

Die Vorkommen liegen Ballungsraumnah und haben insgesamt eine gute Anbindung an das hessische Straßennetz.

12.14.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Derzeit kommt Amphiboliten und kristallinen Schiefen keine volkswirtschaftliche Bedeutung zu.

12.15. Quarz

12.15.1. Lage

Quarz (SiO_2) tritt in Hessen lediglich in Form von Gängen auf, vor allem im Odenwald, Taunus, Lahn–Dill-Gebiet und im Kellerwald.



Abb. 76: Rohstoffsicherungsgebiet (Stand Dezember 2005) im Bereich des Quarzanges bei Usingen im Taunus

Diese besitzen in der Regel Mächtigkeiten deutlich unter zehn Metern. Es sind ausschließlich hydrothermale (aus heißen Lösungen entstandene) Lagerstätten. Sulfidische Erzmine-

rale und Eisen-Mangan-Oxide/Hydroxide können mit Quarz vergesellschaftet sein; häufig sind mehrere Quarzgenerationen und eine vertikale Zonierung zu erkennen.

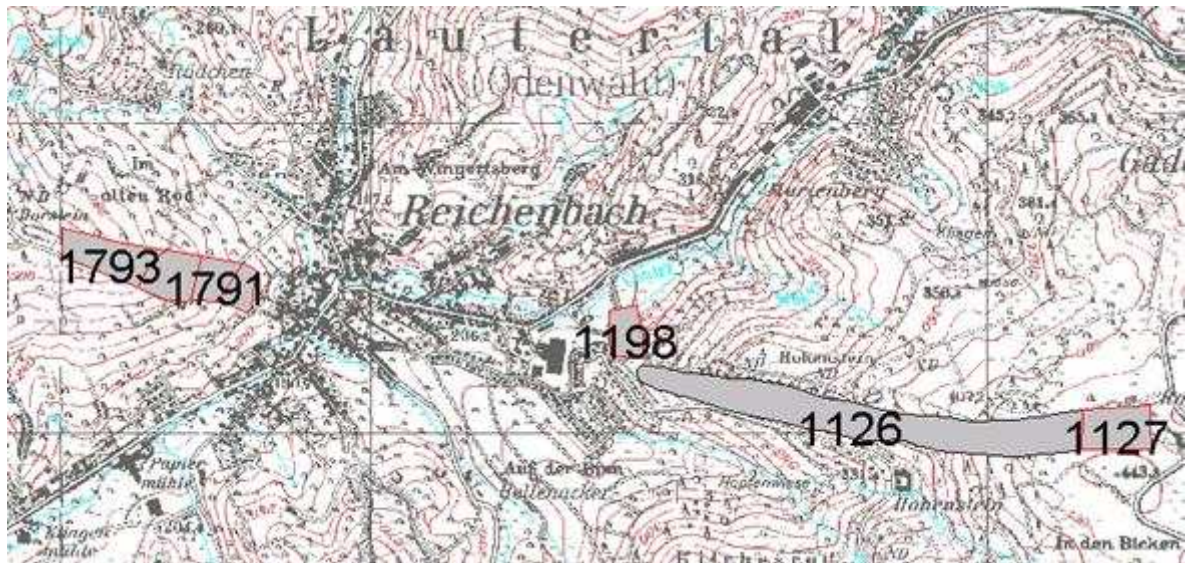


Abb. 77: Rohstoffsicherungsgebiete (Stand Dezember 2005) im Bereich des Quarzanges bei Reichelsheim im Odenwald

Quarze von ökonomischem Interesse treten in zwei Gangzügen im Taunus im Bereich von Waldems sowie bei Usingen (Abb. 76) und ein Quarzgang im Odenwald bei Lautertal-Reichenbach auf (Abb. 77). Der Reichenbacher Quarzgang ist am Borstein, Hohenstein und Katzenstein durch die Verwitterung freigelegt und als Naturdenkmal naturschutzrechtlich gesichert.

12.15.2. Untersuchungsstand

Die in Abbau stehenden Gangabschnitte sind gut untersucht. Für die übrigen als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesenen Gangquarzflächen besteht noch Erkundungsbedarf.

12.15.3. Geologie und Mineralogie

Im Taunus wie im Odenwald handelt es sich um ursprünglich mit hydrothermal entstandenem Baryt(= Schwerspat-) gefüllte Spalten und Risse im Gebirge. Diese Schwerspatgänge wurden später durch Quarz verdrängt. Dabei hat sich die Struktur des Schwerspatkristalle und -texturen überwiegend erhalten (Bildung von Quarz-Pseudomorphosen nach Schwerspat).

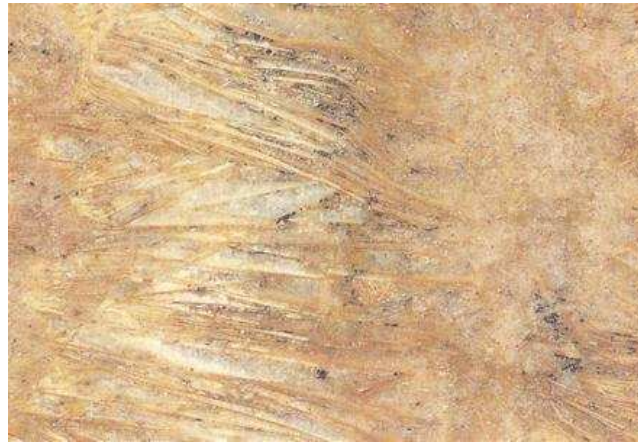


Abb. 78: Nadelige Struktur im Quarz ist auf Quarz-Pseudomorphosen nach Schwerspat zurückzuführen.

Gerade diese zuweilen parallel, meist aber zueinander schief stehenden Striche (=Querschnitte durch die tafeligen Kristalle von Schwerspat) sind charakteristisch für *Odenwald-Quarz* (Abb. 78). Oft stellt sich dabei auch Bänderung ein. Eine mehr oder weniger starke Rotfärbung rührt von Hämatit her. Fe-Hydroxid ergibt orange, braune und gelbe Färbung. Gelegentlich sind Karbonate nämlich Malachit (grün) und Azurit (blau) eingelagert. Fast immer zeigen sich Hohlräume (1-10 mm).

Infolge erneuter Gebirgsbewegungen rissen die Spaltöffnungen z.T wiederholt auf. Zwischen den Pseudomorphosequarzen und dem Nebengestein konnten sich Quarzbänder aus fast reiner Kieselsäure abscheiden.

12.15.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die Quarze sind ausgesprochen hart und spröde. Durch ihre Verwitterungsresistenz bilden die mit Quarz gefüllten Gänge meist deutlich im Gelände hervortretende Felsklippen. Der Odenwald-Quarz besitzt eine hohe Abriebfestigkeit und ist beständig gegen Frost und aggressive Substanzen (Tab. 32).

Tab. 32: Geotechnische Kennwerte des Odenwald-Quarz.

Rohdichte*	2,4-2,8 kg/dm ³
Abriebfestigkeit	cm ³ /50 cm ²
Porosität	2-6 Vol.-%
Wasseraufnahme	0,3-1,3 Gew.-%
gegen Frost	beständig
gegen Aggressorien	beständig
Politur	gut, trotz der Poren

* je nach Porosität und verbliebenem Gehalt an Schwerspat

Der Taunus-Quarz des Quarzanges von Usingen-Eschbach ist infolge des hohen Reinheitsgrades für die Herstellung von optischen Gläsern geeignet. Der Reinheitsgrad liegt teilweise über 99,6 %, meist um 97 % SiO_2 .

12.15.5. Abbausituation und Verwendung

Der Odenwald-Quarz, der auch als *Reichenbacher Quarz*, oder *Borstein-Quarz* nach dem bekanntesten Fundort, bzw. *Rosenquarz* gehandelt wird, steht mit Unterbrechungen fast über die gesamte Erstreckung des Quarzanges in 6 Steinbrüchen derzeit für die Naturwerkstein-gewinnung in Abbau (Abb. 77).

Der Quarzgang hat eine maximale Rohstoffmächtigkeit von ca. 50 m bei einer wechselnden Breite von wenigen Metern bis zu ca. 40 m. Die genutzte Abbaumächtigkeit schwankt zwischen 3 und 25 m.

Je nach Stellung im Quarzgang treten unterschiedliche Farb- und Gefügevarietäten auf. Westlich der Ortschaft Reichenbach treten zunehmend rote Quarze auf, östlich der Ortschaft helle Quarz-Varietäten.

Das nahezu unverwüstliche Gestein hat in früherer Zeit hauptsächlich Mühlsteine geliefert. Heute wird Odenwald-Quarz fast ausschließlich für meist polierte Grabdenkmale verwendet. In Westdeutschland ist es eines der häufigsten eingesetzten Friedhofsgesteine.



Abb. 79: Gedenktafel am Kloster Lorsch aus Odenwald-Quarz.

Neben Grabmalen wird das Gestein für Verkleidungen, seltener für Gedenktafeln (Abb. 79) und Bodenbeläge wie z.B. am Kloster Lorsch und für kleinere Baudetails verwendet. Für anspruchsvolle bildhauerische Arbeiten ist das Material wegen seiner zu großen Härte und Sprödigkeit wenig geeignet.

Die nicht verquarzten Teile der Schwerspatgänge wurden früher ebenfalls genutzt, so z.B. bei Schriesheim (Baden-Württemberg). Der fein gemahlene Schwerspat fand bei der Herstellung von Photopapier Verwendung.

Der Taunus-Quarz aus dem *Usinger Quarzgang* (auch *Eschbacher Klippen* genannt) hat als Bau- und Naturwerkstein nie die Bedeutung wie sein Pedant aus dem Odenwald erlangen können. Der Gang streicht NW–SE, ist über eine Entfernung von 6 km zu verfolgen und ist im Abbaubereich 20 bis 40 m breit. Er besitzt eine maximale Mächtigkeit von ca. 75 m, davon sind stehen ca. 65 bereits in Abbau. Die Abraumüberdeckung beträgt ca. 10 m. Teile des Ganges (Buchstein bei Eschbach) stehen unter Naturschutz.

Nur der Taunus-Quarz des Quarzanges von Usingen-Eschbach besitzt infolge des hohen Reinheitsgrades Eigenschaften für die Herstellung von optischen Gläsern. Der Quarz-Rohstoff wird deshalb überwiegend zu Quarzsand und Quarzmehl vermahlen.

Verwendung findet der Quarz außerdem zur Herstellung von Emaille und Porzellan, von Silizium-Metall, Ferrosilizium sowie in der Silikonproduktion und in der Schmuckglasindustrie.

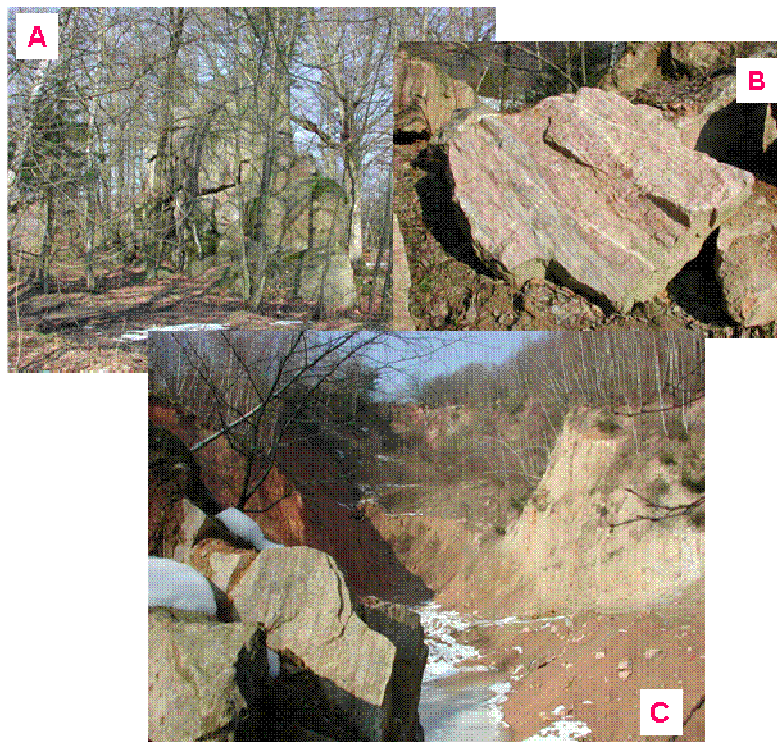


Abb. 80: Odenwald-Quarz: A. Durch die Verwitterung herauspräparierter Quarzgang, B. Odenwald-Quarz gebrochen, C. bereits ausgeräumter Bereich des Quarzanges.

12.15.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

Im genehmigten Abbaubereich und den weiteren Quarzgang-Lagerstätten des Taunus können mehr als 250.000 t abbaubarer Rohstoff prognostiziert werden. Eine genauere Eingrenzung ist derzeit nicht möglich.

Die Vorräte im Reichenbacher Quarzgang sind zwar begrenzt, reichen aber bei den derzeitigen geringen Entnahmemengen noch für mehrere Jahrzehnte.

12.15.7. Transportlage

Infolge der Nähe zu den Bundesautobahnen A5, A67 und dem hessischen Bundesstraßennetz, sowie der Nähe zu den Ballungsräumen Rhein-Neckar und Rhein-Main ist die Transportanbindung als gut bis sehr gut einzustufen.

12.15.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Die hessischen Odenwald- und Taunus-Quarze sind hochwertige Rohstoffe von überregionaler Bedeutung. Das gilt insbesondere für die Naturwerksteine aus Odenwald-Quarz

Die hessischen Quarzrohstoffe sind keine Massenrohstoffe. Ihre Transportempfindlichkeit dementsprechend weniger ausgeprägt. Die „technischen“ Quarze des Taunus werden ins nahe liegende Rhein-Main-Gebiet, nach Süddeutschland, aber auch nach Österreich und Schweden geliefert. Odenwald-Quarz wird in ganz Hessen, benachbarten Bundesländern, der Schweiz und den Niederlanden nachgefragt.

12.15.9 Substitution und Recycling

Als Naturwerksteine sind insbesondere die Odenwald-Quarze aufgrund ihrer spezifischen Musterung und Farbe nicht substituierbar.

13. Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V. (1983): TL Min-Stb 83. Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau. Köln.
- [2] www.geologieinfo.de/gesteine/index.html
- [3] Vogeley, J. (2002): Stein-Produktionsdatenblätter – Semesterarbeit im Fachgebiet Baustoffe und Produkte SS 2002, Universität Karlsruhe (TH)
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V. (1993): TL SKG-Stb 93. Technische Lieferbedingungen für Schmelzkammergranulat im Straßenbau. Köln.
- [5] Lorenz, W. & Gwodz, W. (2003): Handbuch zur geologisch-technischen Bewertung von mineralischen Baurohstoffen.- Geol. Jb. H, Bd. **SH 16**: 498 S., 103 Abb., 301 Tab.; Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).
- [6] Hahn, U. (2005): Die Naturstein-Industrie im Zeitraum 2004/2005. – MIRO-Mineralische Rohstoffe 5/2005, S. 15-19.
- [7] Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (2002): Gemeinsame Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch inTagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen. – Staatsanzeiger für das Land Hessen, Nr. 41/2002, S. 3884 ff.
- [8] Weber, R. Riechers, H.-J. (2003): Kies und Sand für Beton. – Bundesverband der Kies- und Sandindustrie e.V., Verlag Bau und Technik, Düsseldorf.
- [9] Ehrenberg, K.-H. & Hickethier, H. (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5620 Ortenberg.- 351 S., 44 Abb., 12 Tab., 2 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [10] Diederich, G., Ehrenberg, K.-H. & Hickethier, H. (1988): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5621 Wenings.- 267 S., 33 Abb., 24 Tab., 3 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [11] Ehrenberg, K.-H., Hansen, R., Hickethier, H. & Laemmlen, M. (1994): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5425 Kleinsassen.- , 2. Aufl.: 385 S., 55 Abb., 16 Tab., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [12] Ehrenberg, K.-H. & Hickethier, H. (2002): Vulkanologische Karte der Wasserkuppenrhön 1:15000 mit Erläuterungen. Mit Vergleichen zur Kuppenrhön.- 28 S., 21 Abb., 2 Tab., 1 Karte; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Umwelt u. Geologie).
- [13] Ebhardt, G., Ehrenberg, K.-H., Hottenrott, M., Kött, A., Leßmann, B. & Nesbor, H.-D. (2001): Geologie und Hydrogeologie des südwestlichen Vogelsberges und seiner Umrahmung.- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., **83**: 65-87; Stuttgart.
- [14] Ehrenberg, K.-H. (1986): Vulkanische Bildungen im Vogelsberg.- Fortschr. Miner., **64** (2): 1-34; Stuttgart.
- [15] Ehrenberg, K.-H., Fromm, K., Grubbe, K., Harre, W., Hentschel, G., Hölting, B., Holtz, S., Kreuzer, H., Meisl, S., Nöring, F., Plaumann, S., Pucher, R., Strecker, G., Susic, M. &

- Zschau, H. J. (1981): Forschungsbohrungen im Hohen Vogelsberg (Hessen). Bohrung 1 (Flösser-Schneise), Bohrung 2/2a (Hasselborn.- Geol. Abh. Hessen, Bd. **81**: 166 S.; Wiesbaden.
- [16] Ehrenberg, K.-H. & Hickethier, H. (1985): Die Basaltbasis im Vogelsberg. Schollenbau und Hinweise zur Entwicklung der vulkanischen Abfolge.- Geol. Jb. Hessen, **113**: 97-135; Wiesbaden.
- [17] Hoppe, A. & Schulz, R. (2001, Hrsg.): Die Forschungsbohrung Vogelsberg 1996: Einblicke in einen miozänen Vulkankomplex.- Geol. Abh. Hessen, Bd. **107**: 215 S., 69 Abb., 21 Tab., 4 Taf.; Wiesbaden.
- [18] Ladnorg, U. (1976): Zur Genese einiger Basaltvorkommen des Westerwaldes.- Diss. Univ. Mainz, 179 S.
- [19] Schreiber, U. (1996): Tertiärer Vulkanismus des Westerwaldes.- In: Thein, J. & S. A., Hrsg.: Exkursionsführer zur 148. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft und der 3. Jahrestagung der Gesellschaft für UmweltGeowissenschaften, Bonn. Terra Nostra, **96/7**: 187-212, 14 Abb., 2 Tab.; Köln (Selbstverlag der Alfred-Wegener-Stiftung).
- [20] Wedepohl, K. H. (1978): Der tertiäre basaltische Vulkanismus der Hessischen Senke nördlich des Vogelsberges.- Aufschluß, Sonderbd. (Göttingen), **28**: 156-167, 4 Abb., 2 Tab.; Heidelberg.
- [21] Wedepohl, K. H. (1983): Die chemische Zusammensetzung der basaltischen Gesteine der nördlichen Hessischen Senke und ihrer Umgebung.- Geol. Jb. Hessen, **111**: 261-302, 3 Abb., 16 Tab.; Wiesbaden.
- [22] Steindlberger, E. (2003): Vulkanische Gesteine aus Hessen und ihre Eigenschaften als Naturwerksteine.- Geol. Abh. Hessen, Bd. **110**: 167 S., 25 Abb., 6 Tab., Bildteil (53 Taf. mit Erläuterungen); Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Umwelt u. Geologie).
- [23] Wimmenauer, W. (1985): Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine.- 382 S., 297 Abb., 106 Tab.; Stuttgart (Enke).
- [24] LeMaitre, R. W. (2002, ed.): Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms.- , 2. Aufl.: Cambridge (Cambridge University Press).
- [25] Vinx, R. (2005): Gesteinsbestimmung im Gelände.- 439 S., 370 Abb.; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- [26] Lippolt, H. J. (1982): K/Ar Age Determinations and the Correlation of Tertiary Volcanic Activity in Central Europe.- Geol. Jb. D, **52**: 113-135, 3 Fig.; Hannover.
- [27] Bogaard, P. J. F., Wörner, G. & Henjes-Kunst, F. (2001): Chemical stratigraphy and origin of volcanic rocks from the drill core "Forschungsbohrung Vogelsberg 1996".- Geol. Abh. Hessen, **107**: 69-99, 7 fig., 4 tab., 1 annex; Wiesbaden.
- [28] Ernst, T. (1960): Probleme des "Sonnenbrandes" basaltischer Gesteine.- Z. dt. geol. Ges., **112**: 178-182; Hannover.

- [29] Schreiber, U. (1990): Neue Untersuchungsergebnisse über die charakteristische fleckige Verwitterungserscheinung basaltischer Gesteine (basaltischer "Sonnenbrand").- N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **6**: 353-366; Stuttgart.
- [30] Leßmann, B., Wiegand, K. & Scharpff, H.-J. (2001): Die Hydrogeologie des vulkanischen Vogelsberges.- Geol. Abh. Hessen, Bd. **108**: 144 S., 65 Abb., 13 Tab.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Umwelt u. Geologie).
- [31] Hentschel, H. (1970): Vulkanische Gesteine.- In: Lippert, H.-J., Hentschel, H. & Rabien, A.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5215 Dillenburg: 314-374, 10 Tab.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [32] Meisl, S., Lippert, H.-J. & Strecker, G. (1982): Geosynklinalvulkanismus im Lahn-Dill-Gebiet.- Fortschr. Miner., **60** (2): 3-15, 1 Abb.; Stuttgart.
- [33] Schmincke, H.-U. (1988): Devonischer und karbonischer Vulkanismus bei Dillenburg und Herbormseelbach (Exkursion F am 8. April 1988).- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., **70**: 99-140, 31 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- [34] Nesbor, H.-D., Buggisch, W., Flick, H., Horn, M. & Lippert, H.-J. (1993): Vulkanismus im Devon des Rhenoherynikums. Fazielle und paläogeographische Entwicklung vulkanisch geprägter mariner Becken am Beispiel des Lahn-Dill-Gebietes.- Geol. Abh. Hessen, **98**: 3-87, 37 Abb., 8 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- [35] Nesbor, H.-D. (2004): Paläozoischer Intraplattenvulkanismus im östlichen Rheinischen Schiefergebirge - Magmenentwicklung und zeitlicher Ablauf.- Geol. Jb. Hessen, **131**: 145-182, 21 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- [36] Kirnbauer, T. (1998, Hrsg.): Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge.- So.-Bd., Bd. **1**: 328 S., 77 Abb., 12 Tab., 8 Farbtaf.; Wiesbaden (Nass. Ver. Naturkd.).
- [37] Lippert, H.-J., Hentschel, H. & Rabien, A. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5215 Dillenburg.- , 2. Aufl.: 550 S., 18 Abb., 56 Tab., 6 Taf., 3 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [38] Bender, P., Lippert, H.-J. & Nesbor, H.-D. (1997): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5216 Oberscheld.- , 2. Aufl.: 421 S., 41 Abb., 28 Tab., 2 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [39] www.geodienst.de
- [40] Grimm, W.-D. (1990: Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsheft 50, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München 1990.
- [41] Sommermann, A.E., Mehl, St. & Todt, W. (1992): Zirkonalter von drei verschiedenen Metavulkaniten aus dem Südaunus. Geol. Jb. Hessen, **120**, S. 67-76, Wiesbaden.
- [42] HNA Hessische/Niedersächsische Allgemeine, Nr. 248, 24.10.1987
- [43] Singewald, C. (1992): Naturwerkstein – Exploration und Gewinnung. – Steintechnisches Institut, Mayen, 260 S.
- [44] Freyberg, B. v. (1926): Die Tertiärquarzite Mitteldeutschlands.- Stuttgart.

- [45] Ahrens, W. (1936): Die Ton- und Quarzitlagerstätten des Westerwaldes.- Z. dt. geol. Ges., **88**: 438-447; Berlin.
- [46] David, C. (2002): Der Marburger Bausandstein unter der Lupe. Interdisziplinäre Forschung zwischen Geowissenschaften und Denkmalpflege.- Denkmalpflege & Kulturgeschichte, **2**; Wiesbaden.
- [47] Kowalczyk, G. (1983): Das Rotliegende zwischen Taunus und Spessart.- Geol. Abh. Hessen, **84**: 99, 48 Abb., 2 Tab., 8 Taf.; Wiesbaden.
- [48] Marell, D. (1989): Das Rotliegende zwischen Odenwald und Taunus.- Geol. Abh. Hessen, **89**: 128, 57 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- [49] Backhaus, E. (1975): Der Buntsandstein im Odenwald.- Aufschluß, Sonderbd. (Odenwald), **27**: 299-320, 5 Abb.; Heidelberg.
- [50] Lepper, J. (1994): Die niedersächsischen Naturwerksteine mit besonderer Berücksichtigung des Wesersandsteins- N. Arch. Nieders., 1994, 2: 35-41, 1 Abb., 3 Tab., Hannover.
- [51] Ehrenberg, K.-H., Kupfahl, H.-G. & Kümmerle, E. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5913 Presberg.- 201 S., 22 Abb., 9 Tab., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- [52] www.naturstein-netz.de/lahnmarmor-museum
- [53] Stein, E., Altenberger, U. & Kreher-Hartmann, B. (2001): Geologie des kristallinen Odenwaldes – seine magmatische und metamorphe Entwicklung. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 83, 89-111, Stuttgart.

14. Nützliche Websites

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe:
www.bgr.de

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.:
www.bvbaustoffe.de

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.:
www.fgsv.de

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie:
www.hlug.de

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz:
www.hmuv.hessen.de

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung:
www.wirtschaft.hessen.de

Natursteinindustrie Hessen und Thüringen e.V.

www.natursteinindustrie-hessen-thueringen.de

Planungsportal des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung
(u.a. Regionalplan online):

www.landesplanung-hessen.de

Regierungspräsidium Darmstadt (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Darmstadt):

www.rp-darmstadt.de

Regierungspräsidium Giessen (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Giessen):

www.rp-giessen.de

Regierungspräsidium Kassel (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Kassel):

www.rp-kassel.de

Umweltallianz Hessen:

www.umweltallianz.de