

Quarz



Quarzrohstoffe in Deutschland

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover

Autor: Dr. Harald Elsner

Kontakt: Dr. Harald Elsner
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover
harald.elsner@bgr.de

Layout: Jolante Duba

Karten: Annegret Tallig

Stand: Januar 2016

ISBN: 978-3-943566-31-4 (Druckversion)
978-3-943566-32-1 (PDF)

Titelbild: Ohne Quarzrohstoffe keine Energiewende. Aus Quarzsand werden Glasfasern produziert, die wiederum in Form von glasfaserverstärkten Kunststoffen zur Produktion von Rotoren für Windkraftanlagen benötigt werden. Das Foto zeigt Windkraftanlagen in der Nähe des Quarzsandwerkes Haida in Sachsen-Anhalt, Foto: WOLFF & MÜLLER Baustoffe GmbH

Quarzrohstoffe in Deutschland

Januar 2016



Inhaltsverzeichnis

<i>Einleitung</i>	4
<i>1 Übersicht und Definitionen</i>	5
<i>2 Verwendungsbereiche</i>	9
<i>3 Rohstoffanforderungen</i>	13
<i>4 In Abbau stehende Lagerstätten in Deutschland</i>	19
4.1 Quarz	20
4.2 Quarzkies	23
4.3 Quarzsand	28
4.4 Quarzsandstein	39
4.5 Quarzit	42
4.6 Kieselgur	44
4.7 Kieselerde	45
<i>5. Wertschöpfung in der weiterverarbeitenden Industrie</i>	47
<i>6. Silizium</i>	53
6.1 Grundlegendes	54
6.2 Ferrosilizium	54
6.3 Rohsilizium	55
6.4 Solarsilizium	56
6.5 Halbleitersilizium	58
<i>7 Quarzrohstoffe und Naturschutz</i>	59
<i>8 Gibt es noch genug?</i>	61
<i>9 Kleine komplizierte Produktionsstatistik der Quarzrohstoffe</i>	63
<i>Literatur</i>	65

Einleitung

„Deutschland ist arm an Rohstoffen“. Dieser oft und immer wieder gehörte Satz entspricht in seiner Einfachheit so nicht der Wahrheit und muss stark relativiert werden.

Zwar produziert Deutschland derzeit nur verschwindend geringe Mengen an Metallerzen, kann aber auf ein großes Sekundärangebot an Metallen aus dem Recycling zurückgreifen. Auch bei den Energierohstoffen – Erdgas, Erdöl und Kohle – wird zumindest ein Teil noch in Deutschland produziert. Zudem verfügt unser Land weiterhin über bedeutende Vorräte an Braun- und Steinkohlen.

Noch wesentlich besser sieht es bei den Baurohstoffen und den Industriemineralen aus. Bei allen Baurohstoffen – Ton, Sand, Kies, Splitt, Gips/Anhydrit sowie Kalkstein für die Zementherstellung – ist Deutschland ein bedeutender Produzent, von Importen unabhängig und verfügt über weitreichende Vorräte.

Auch einige Industriemineralien, z. B. Stein- und Kalisalz, Kaolin, Feld-, Fluss- und Schwerspat sowie Graphit, kommen in Deutschland vor, stehen in Abbau und reichen teils zur Deckung unseres eigenen Bedarfs.

Beim Wissen um die Gewinnung und Nutzung vieler nicht-metallischer mineralischer Rohstoffe ist Deutschland weltweit führend und deshalb in aller Welt ein sehr geschätzter Ansprechpartner. Besonders in den großen und viel eher mit Rohstoffen in Verbindung gebrachten Bergbauländern, wie Australien oder Kanada, fehlt dieses Wissen dagegen weitgehend und behindert deshalb die Entwicklung eigener Projekte.

Zu den nicht-metallischen mineralischen Rohstoffen, die wichtige wirtschaftliche Bedeutung besitzen und bei denen Deutschland größtenteils von Importen unabhängig ist, gehören die Quarzrohstoffe. Quarz ist der mineralogische Name für kristallines Siliziumdioxid – SiO_2 . Aber auch hier ist zu differenzieren. Hochwertige Quarzsande sind in Deutschland verbreitet und Ausgangsstoffe sowohl für die Produktion einer großen Vielzahl von Baustoffen als auch von Industriegütern. Für die Herstellung von Silizium geeignete Quarzrohstoffe sind dagegen wesentlich seltener und werden größtenteils importiert.

Warum werden aus Quarzsand keine Solarzellen hergestellt? Wo kommen in Deutschland welche Quarzrohstoffe vor? Wer nutzt sie für was? Wozu braucht Deutschland überhaupt einen Bergbau auf Quarzrohstoffe? Und welche Industrien sind diesem Bergbau in Deutschland nachgelagert?

Diese und andere Fragen rund um die Industriemineralgruppe der Quarzrohstoffe sollen in dieser Broschüre beantwortet werden.

Quarzrohstoffe – Rohstoffe für die deutsche Industrie!

1

Übersicht und Definitionen

Zur Gruppe der Quarzrohstoffe zählen nach LORENZ & GWOSDZ (1999) „...natürliche mineralische Rohstoffe mit einem SiO_2 -Gehalt im Allgemeinen $> 95 \text{ M.-%}$...“. „Nicht zur Gruppe der Quarzrohstoffe gehören Sande und Kiese, die ohne oder nach der Aufbereitung als Bausande und -kiese genutzt werden, und auch nicht diejenigen quarzreichen Festgesteine, die als Werkstein genutzt werden.“

Vereinfachend sollen auch in dieser Broschüre alle als Baurohstoffe oder für die Baustoffproduktion oder als Naturwerksteine genutzten Quarzrohstoffe nicht näher betrachtet werden. Dem Leser sollte jedoch bewusst sein, dass dies in Deutschland die Haupteinsatzbereiche von quarzreichen Sanden und Gesteinen sind.

Folgende hochwertige Quarzrohstoffe treten in Deutschland auf:

Quarz in Form von Quarzgängen und -pegmatiten, die aus heißen Lösungen entstanden und vorwiegend SiO_2 enthalten. Große Quarzgänge sind häufig so hart und widerstandsfähig, dass sie heute teils als harte Gesteinsrücken, z. B. im Bayerischen Wald, die Landschaft durchziehen.

Quarz

Quarzkies

Quarzkiese sind durch Abtragung von Gangquarzen und Ablagerung durch Flüsse oder Verwitterung aller anderen Kiese (Quarzrestschotter) entstandene grobkörnige Lockergesteine. Reine Quarzkieslagerstätten sind jedoch selten.

Quarzsand

Quarzsande sind Produkte einer intensiven chemischen Verwitterung, bei der die anderen gesteinsbildenden, weniger widerstandsfähigen Minerale größtenteils zersetzt und weggeführt wurden. Durch Abtragung über Jahrtausende, Transport und erneute Ablagerung entstanden Lagerstätten und Vorkommen.



Quarzsandstein

Quarzsandsteine sind Sedimentgesteine, die im Wesentlichen aus Quarzkörnern bestehen, die durch ein kieseliges Bindemittel verkittet sind. Sind diese Quarzsandsteine wenig verfestigt, kann aus ihnen durch Brechen Quarzsand produziert werden. Stark verfestigte Quarzsandsteine dienen dagegen als Werksteine oder zu Splitt gebrochen als Betonzuschlag.

Quarzit

Quarzite sind natürlich auftretende Quarzrohstoffe mit SiO_2 -Gehalten $> 96\%$. Nach ihrer Genese unterscheidet man Felsquarzite und Zementquarzite. Felsquarzite entstanden durch Umwandlung (Metamorphose) von Quarzsanden und Quarzsandsteinen. Zementquarzite (sog. Findlings- oder Tertiärquarzite) sind dagegen mit gelöstem SiO_2 gebundene Quarzsande, deren Bindemittel („Zement“) feinstkörnig rekristallisierte. Während Felsquarzite vorzugsweise dickbankig im Bereich von (alten) Gebirgen vorkommen, treten Zementquarzite meist als Findlinge im Verwitterungsschutt oder in kleinen Nestern in Quarzsanden auf.

Kieselerde

Wesentlich weniger als 95% SiO_2 enthält ein nur in einer Region in Deutschland vorkommender Quarzrohstoff, die **Kieselerde** bzw. „Neuburger Kieselerde“. Da diese sehr hochwertig ist und nur als Industriemineral Verwendung findet, soll auch sie im Folgenden beschrieben werden.

Kieselgur

Biogene Kieselgesteine werden nach den sie aufbauenden kieseligen Organismen benannt. Von diesen hatte in Deutschland stets nur **Kieselgur** (aus Kieselalgen – Diatomeen) wirtschaftliche Bedeutung.





2

Verwendungsbereiche



Bauen mit Kalksandsteinen, Foto und Copyright: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover.

Wie schon erwähnt, finden quarzreiche Rohstoffe in Deutschland weit vorwiegend als Baurohstoffe bzw. in der Baustoffproduktion Verwendung. Zu den Baurohstoffen zählen:

- Füllsand/-kies
- Einfegesand
- Betonsand/-kies (Betonzuschlag)
- Mauer- und Putzmörtelsand (Innen- und Außenputze)
- Estrichsand
- Straßenschotter (Sauberkeitsschicht, Frostschutzschicht, Trag- und Deckschicht)
- Dammschüttmaterial
- Gleisbettungsschotter
- Drainagekies
- Dachkies für Flachdächer

Zu den Baustoffen, zu deren Herstellung Quarzsand benötigt wird bzw. eingesetzt werden kann, zählen:

- Betonwerksteine
- Betonpflastersteine
- Betonfertigteile
- Porenbeton und Porenbetonerzeugnisse
- Hohlblock- und Vollmauersteine
- Dachsteine
- Fertigmörtel
- Asphalt (Stützkörnung, Aufhellmaterial) für Straßen-, Hoch-, Wasser- und Deponiebau
- Zement (als SiO_2 -Quelle)
- Kleb-, Binde-, Dichtungs- und Spachtelmassen
- Dichtungsbeläge für Dächer und in der Wasserwirtschaft
- Glasbausteine und Glasfliesen
- Glaswolle

Zudem werden Quarzsande bzw. -kiese bevorzugt genutzt als:

- Strahlsande zum Reinigen von Oberflächen. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, gesundheitsschädigenden silikogenen Staub zu erzeugen bzw. einzuatmen, so dass zwischenzeitlich andere Strahlmittel, z. B. Granatsande, bevorzugt werden.
- Bremsande zur Verbesserung der Haftung zwischen Schiene und Rad beim Anfahren und Bremsen von Schienenfahrzeugen
- Wirbelschichtsanlagen
- Frac-Sande als Stützmittel beim Fracking (Anm.: In Deutschland sind keine geeigneten Frac-Sandvorkommen bekannt, da hier rein kugelige Quarzsande nicht auftreten.)
- Filtersande/-kiese im Brunnenbau und in Trinkwasseraufbereitungsanlagen
- weißer Zierkies im dekorativen Garten- und Landschaftsbau
- Spielplatz-, Sandkisten-, Golfplatz-, Reitplatz- und Beachvolleyballsande
- Kunstrasensand für sandgefüllte Kunststoffrasen auf Tennis-, Golf-, Fußball- und Hockeyplätzen
- Vogelsande für Ziervögel, Papageiensand, Chinchillasand, Aquariensand/-kies, Terrariensand/-kies



Vom Deutschen Volleyball-Verband zertifizierter Quarzsand in einem Beachvolleyballturnier, Foto: J. Kazah/ Wikipedia.

Hochwertige, in Deutschland vorkommende Quarzrohstoffe finden Verwendung in der

- **Glasindustrie** als Glassand für die Herstellung von weißem und farbigem Behälterglas sowie weißem Flachglas, Spiegelglas, Kristall- und Bleikristallglas, optischen und technischen Gläsern, Autoglas, Scheinwerferglas, Spezialglas und Borosilikatglas (Laborglas). Im Mittel 60 % des in Deutschland produzierten Glases, vor allem des Farbglases, werden heute allerdings schon aus Altglasscherben produziert.
- **Kunststoffindustrie** in Form glasfaserverstärkter Kunststoffe (Fiberglas), die heute zu den wichtigsten Konstruktionswerkstoffen zählen. Als Beispiel sind glasfaserverstärkte Kunststoffe der bevorzugte Werkstoff für Rotoren von Windkraftanlagen. Glasfasern werden ebenso als Glasfaserkabel zur Datenübertragung, zum flexiblen Lichttransport und als textiles Gewebe zur Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Beschichtungen aus SiO_2 und Titandioxid (TiO_2) machen PET-Flaschen gasundurchlässig und Kunststoff-Brillengläser kratzfest sowie nahezu blendfrei.
- **Quarzgutindustrie**, wobei Quarzgut (auch: „Kieselgut“) aus Erschmelzen von aufbereitetem Quarzsand und Quarzglas (auch: „Kieselglas“) aus Erschmelzen von Gang- oder Pegmatitquarz gewonnen wird. Nach Brechung, eisenfreier Aufmahlung und Windsichtung dient Quarzgut unter anderem zur Herstellung von Gefäßen und Reaktoren zur Schwefel- und Salzsäureherstellung, als Füllstoff für Silikon- und Epoxidharzsysteme, als Formmaterial in Präzisionsgießereien (z. B. zum Guss von Schaufeln für Flugzeugturbinen oder Windkraftanlagen) sowie in gepresster Form als Feuerfeststeine.



Schleifmittel auf Siliziumkarbidbasis, Foto: VSM • Vereinigte Schmirgel- und Maschinen-Fabriken AG (mit frdl. Genehmigung).

Zudem ist Quarzgut Rohstoff zur Herstellung von synthetischem Christobalit. Synthetische Christobalit-Sande bzw. -mehle zeichnen sich durch einen hohen Weißegrad aus. Sie werden verwendet u. a. in keramischen Fliesenmassen, als Füllstoffe für Straßenmarkierungsfarben oder zur Herstellung von Silikonkautschuk.

- **Chemischen Industrie**, wo Quarzsand besonders zur Herstellung von Siliziumkarbid und Wasserglas benötigt wird. In zahlreichen Anwendungen dient meist flüssiges Kaliwasserglas als Abdichtungs-, Kleb- und Bindungsmittel. Siliziumkarbid ist sehr hart und daher ein vielgenutztes Schleifmittel. Große Mengen an weniger reinem Siliziumkarbid werden zudem in der Metallurgie zur Legierung von Guss-eisen mit Silizium und Kohlenstoff verwendet.
- **Gießereiindustrie** als Form- und Kernsande zur Herstellung von Gussformen sowie als Schiebersand zum Füllen des Gießkanals beim Gießpfannenschieber.
- **Feuerfestindustrie** als Feuerfeststeine (aus Zementquarziten) und zur Herstellung von sog. Silikasteinen sowie sauren Stampf- und Reparaturmassen (aus Felsquarziten). Hochwertige Silikasteine können unter günstigen Bedingungen im Temperaturbereich bis nahe 1.700 °C eingesetzt werden.
- **Elektroindustrie** Sicherungssand für elektro-nische Schmelzsicherungen.



Buntes Behälterglas aus Quarzsand, Feldspat, Kalk und Altglas. Foto: Aktionsforum Glasverpackung (mit frdl. Genehmigung).

- **Keramischen Industrie** für grobkeramische Massen und Steinzeug (zum Einstauben der Formlinge), Fliesenmassen, Formmassen, Füllmassen, Spachtelmassen sowie zement- und kunstharzgebundenen Systemen.
- **Füllstoffindustrie** als hochwertige Füllstoffe in Kunststoffen, Farben und Asphalt, kunstharzgebundenen Industrie-Estrichen sowie säure- und laugenfesten Abflussrinnen und -rohren, wobei säurefeste Quarzfüllstoffe meist aus Felsquarziten gewonnen werden. Quarzmehle/-sande sind zudem aktive Füllstoffe in Schleif-, Scheuer-, Polier- und Putzmitteln (auch Zahnpasta).

Nur einen geringen Teil des deutschen Bedarfs decken die bei uns produzierten Quarzrohstoffe dagegen in der Produktion von

- Ferrosilizium für die Eisen- und Stahlindustrie
- Rohsilizium für chemische und metallurgische Produkte
- Reinstsilizium für die Herstellung von Solarzellen und Computerchips

Auf die Produktion und Verwendung von metallischem Silizium in Deutschland wird in Kapitel 6 gesondert eingegangen.

Kieselgur ist ein sehr lockeres, erdiges und leichtes Sedimentgestein aus Schalen einzelliger Kieselalgen. In gereinigter und gebrannter Form ist es ein wichtiges und wertvolles Filterhilfsmittel für alle Flüssigkeiten (Getränke, Öle, Trink- und Abwasser). Zudem dient Kieselgur der Boden- und Substratverbesserung, als Füllstoff unter anderem für Kunststoffe und in Reinigungsmitteln, als Trägerstoff z. B. für Insektizide, als Isoliermittel, als Sorptionsmittel (Katzenstreu), als Antihafmittel und als Schleif- und Poliermittel für besonders empfindliche Produkte.



Neuburger Kieselerte ist ein wichtiger funktioneller Füllstoff zum Beispiel in Kompressorschläuchen, Foto: Hoffmann Mineral GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Kieselerte ist ein äußerst feinkörniges, lockeres Gestein von weißer bis gelblicher Farbe. Es stellt ein Gemisch aus amorpher Kieselsäure plus Rückständen verkieselter Schwämme und dem Mineral Kaolinit dar und zeichnet sich durch seine hohe spezifische Oberfläche von 10 bis 15 m²/g aus. Daneben weist die Neuburger Kieselerte eine hohe Säure- und Laugenbeständigkeit und leichte Einmischbarkeit auf. Der hohe Anteil an Kieselsäure führt zu großer mechanischer Widerstandsfähigkeit. Nach Gewinnung, sehr aufwändiger Aufbereitung und Trocknung, findet die Kieselerte u. a. Verwendung als

- funktioneller Füllstoff in Gummi (z. B. in Zahnriemen und Kühlerschläuchen), Farben, Lacken, Thermoplasten, Klebstoffen, Reaktionsharzen und Spachtelmassen
- Schleifmittelkomponente in Polier- und Pflegemitteln (Autopflegemittel SONAX, Glaskeramik-Kochfeld-Reiniger, Haushaltsreiniger)
- Trägersubstanz in Pflanzenschutzmitteln
- SiO₂-Komponente in Schweißelektrodenumhüllungen
- Schleifmittelkomponente in Drogerieartikeln (Peelingcreme, Zahncreme, Zahnpflegetabletten)



Quarzmehl ist ein wichtiger Füllstoff in Farben, so zum Beispiel der Fassadenfarbe von Alpina, Foto: Alpina Farben GmbH (mit frdl. Genehmigung).

3

Rohstoffanforderungen



Beladung eines Silofahrzeugs im Quarzsandwerk Haltern, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Glassande müssen eine hohe und konstante chemische und mineralogische Reinheit (99 – 99,8 % SiO_2) besitzen. Vor allem die Gehalte an Eisen ($< 0,025\% \text{Fe}_2\text{O}_3$), Titan ($< 0,05\% \text{TiO}_2$) und Chrom ($< 1 \text{ppm Cr}_2\text{O}_3$) müssen bei weißen Gläsern extrem gering sein, da diese Elemente bzw. ihre Verbindungen färbend wirken. Huminstoffe, Kalk, lösliche Salze und sonstige Verunreinigungen sind ebenfalls absolut unerwünscht. Gefordert wird auch eine konstante Korngröße der Quarzkörner, idealerweise für Flachglas 0,1 – 0,5 mm, Hohlglas 0,1 – 0,6 mm (bevorzugt 0,2 – 0,4 mm) und Kristallglas meist Quarzmehl mit 95 % $< 0,125 \text{mm}$. Die als Glassande verwendeten Quarzsande werden deshalb in den deutschen Quarzsandwerken mehrfach gewaschen, aufstromklassiert (in Korngrößen fraktioniert) und alle störenden Schwerminerale durch gravimetrische und magnetische Verfahren entfernt.

Feuertrocknet oder auch mit einer Restfeuchte von rund 5 % werden die Glassande dann in 25 kg- oder 50 kg-Säcken, 500 – 1.500 kg-Big-

Bags oder lose in Silozügen zu ihren Abnehmern transportiert.

Quarzrohstoffe zur Herstellung von **Quarzgut/Quarzglas** höchster Reinheit dürfen nur Verunreinigungen von maximal 150 – 200 ppm enthalten; davon müssen Kupfer, Kobalt, Chrom, Mangan, Nickel und Vanadium zusammen $< 5 \text{ppm}$ sein. Ferner ist die Rekristallisationsbeständigkeit des Quarzguts/Quarzglas entscheidendes Kriterium. Diese Beständigkeit ist abhängig von der Menge der Verunreinigungen, besonders der Alkalien (Oxide von Lithium, Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium).

Die in der **chemischen Industrie** verarbeiteten Quarzrohstoffe müssen hochrein sein. Die meisten der in Deutschland produzierten Quarzsande/-kiese oder Quarzite enthalten keine Rückstände von Flotationsreagenzien oder anderen chemischen Hilfsmitteln, da bei ihrer Aufbereitung nur rein physikalische Verfahren zum Einsatz kommen. Mit Hilfe dieser Aufbereitungsverfahren können Quarzrohstoffe mit äußerst geringen Gehalten an Aluminium ($< 0,10\% \text{Al}_2\text{O}_3$), Kupfer ($< 0,5 \text{ppm Cu}$), Nickel ($< 0,3 \text{ppm Ni}$), Eisen ($< 0,02\% \text{Fe}_2\text{O}_3$) und Titan ($< 0,04\% \text{TiO}_2$) erzeugt werden.



Die Eignung von Quarzsand für die **Gießerei-industrie** wird in erster Linie durch den Gehalt an SiO_2 bestimmt. Je höher dieser Gehalt, d. h. je weniger Beimengungen niedrigschmelzender Verbindungen vorliegen, umso günstiger wird sich der Sand besonders gegenüber hohen thermischen Belastungen verhalten. Allgemein sollte der SiO_2 -Gehalt zwischen 94 und > 99 % liegen. Der Quarzsand muss trocken sein. Die zulässigen Anteile an Alkalien (K_2O und Na_2O) sind mit 0,1 bis 0,2 %, die von Erdalkalien (CaO und MgO) mit 0,1 bis 0,4 % begrenzt. Höhere Gehalte bewirken, besonders wenn sie an der Kornoberfläche festhaften, eine Herabsetzung des Sinterpunktes von idealerweise > 1.500 °C. Auswirkungen sind auch auf den Härungsverlauf, besonders bei säurehärtenden Kunstharzbindern gegeben. In diesem Zusammenhang ist auch eine Begrenzung der Schlammstoffgehalte auf 0,2 bis 2,0 % festgelegt. Die im Schlammstoff enthaltenen Verunreinigungen bewirken ebenfalls eine Neutralisation des Säurehärters und führen dadurch zu höheren Härterverbräuchen.

Für einen niedrigen Bindemittelbedarf soll die Kornoberfläche glatt und das Korngefüge monokristallin sein. Die spezifische Oberfläche von Gießereisanden sollte 80 – 160 cm^2/g betragen,



Eine mehrlagige Schicht auf Quarzsandbasis auf einem ausschmelzbaren Wachsmodell bildet eine Formmaske aus, die zum Guss hochgenauer Gussteile in Großserien dient, Foto: Andreas Bednarek (mit frdl. Genehmigung).

das entspricht einer Korngröße von etwa 0,1 bis 0,5 mm.

Als Rohstoff für die Silikasteinherstellung für die **Feuerfestindustrie** werden überwiegend chemisch reine Quarzite mit SiO_2 -Gehalten > 96 % eingesetzt. Al_2O_3 und insbesondere Alkalien (K_2O und Na_2O) wirken als starke Flussmittel. Auch der Gehalt an TiO_2 ist wichtig für die Beurteilung der Quarzite. Anteilig finden in der Feuerfestindustrie auch Quarzsande mit hohem Reinheitsgrad Verwendung.



Durch Fraktionierung werden die Rohkiessande in verschiedene Korngrößen getrennt, Foto: Holcim (Süddeutschland) GmbH (mit frdl. Genehmigung).



In der **Elektroindustrie** wird bei Quarzsanden besonders auf eine hohe chemische (> 99,6 % SiO_2) und mineralogische Reinheit, eine hohe thermische Stabilität sowie eine definierte Korngrößenverteilung ohne jegliches Überkorn geachtet.

In der **keramischen Industrie** und auch in Email dienen Quarzfeinstsande und Quarzmehle als SiO_2 -Träger und Magerungsmittel. Letztere vermindern die Plastizität, die Bindefähigkeit, die Trockenempfindlichkeit und die Trockenfestigkeit der keramischen Massen und erhöhen gleichzeitig ihre Feuerstandsfestigkeit und ihre Kühlempfindlichkeit.

Bei Quarzsanden für die **Füllstoffindustrie** und kunstharzgebundene Systeme sind eine hohe Reinheit, ein hoher Weißegrad und eine hohe Helligkeit gefragt. Durch Zugabe von Quarzsand können die mechanischen Eigenschaften wie Schlagfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und das Elastizitätsmodul von Kunststoffen verbessert werden. Der lineare Ausdehnungskoeffizient wird herabgesetzt. Bei der Aushärtung werden Wärmeentwicklung und Schwindung verringert. Darüber

hinaus kann die Säure- und Laugenbeständigkeit deutlich erhöht werden. Da sich Quarzsand gegenüber Kunststoffen weitgehend chemisch inert verhält, ändern sich die Verarbeitungszeiten nicht oder nur unwesentlich.

Die Anforderungen an Sande und Kiese, die in Deutschland für Filter zur **Trinkwasseraufbereitung** eingesetzt werden dürfen, sind bei uns in der DIN EN 12904:2005 beschrieben. In Deutschland darf laut Trinkwasserverordnung nur die reinste Produktklasse (Typ 1) verwendet werden. Das bedeutet, dass das Produkt einen Massenanteil von mindestens 96 % SiO_2 aufweisen muss. Die Säurelöslichkeit, die auf Verunreinigungen wie z. B. Kalk hinweist, darf max. bei 2 % Massenanteil liegen. Zudem muss das Produkt generell homogen und frei von sichtbaren Verunreinigungen sein. In Abhängigkeit der Anwendung dürfen Unter- und Überkornanteil der Produkte 5 % bzw. 10 % nicht überschreiten oder der Ungleichförmigkeitsgrad < 1,5 sein. Die in Deutschland produzierten Quarzsande und -kiese sind alle von so hoher Qualität, dass sie gemäß DIN EN 12904 die höchste Anforderungsstufe (Typ 1) erfüllen.



Abbau von quarzreichen Rheinsanden im Kiessandwerk Malsch südlich Karlsruhe, Foto: Holcim (Süddeutschland) GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Spezialsiebmaschinen zur Korngrößenfraktionierung von Quarzsand, Foto: Schlingmeier Quarzsand GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).



20.000 Tonnenlager für eisenarme Quarzsande der Schlingmeier Quarzsand GmbH & Co. KG in Uhry, Foto: BGR.



Fertig verpackter Filterquarzsand im Quarzsandwerk Haida der Wolff & Müller Baustoffe GmbH, Foto: BGR.



Quarzkiese verschiedener Fraktionen im Quarzkieswerk Niersbach der Kies-Bandemer & Co. Eifel-Quarz-Werke GmbH, Foto: BGR.



Quarzsande sind die besten Spielplatzsande, Foto: Emil Steidle GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).

Bei der Auswahl von Sanden für **Spielplätze und Sportanlagen** ist eine Vielzahl von Kriterien von Bedeutung. Qualitätsrelevant sind insbesondere die Sandeigenschaften Farbe, Helligkeit, Körnung, Kornform, Reinheit und chemische Zusammensetzung. Auch hygienische Aspekte spielen eine große Rolle. Gewaschener Quarzsand aus deutschen Werken enthält keine tonigen Bestandteile oder Steine und ist praktisch frei von Huminstoffen und damit extrem nährstoffarm. Dadurch wird die Entwicklung und Ausbreitung von unerwünschten und schädlichen Bodenorganismen gehemmt. Die Kornform ist kantengerundet bis kugelförmig. Sande mit kantengerundeten Körnern zeichnen sich durch ihre besonders günstigen biomechanischen Eigenschaften aus. Behördlich festgesetzte Grenzwerte für Schwermetalle in Spielsanden werden in den in Deutschland produzierten Quarzsanden stets deutlich unterschritten.



4



In Abbau stehende
Lagerstätten in Deutschland

4.1 Quarz



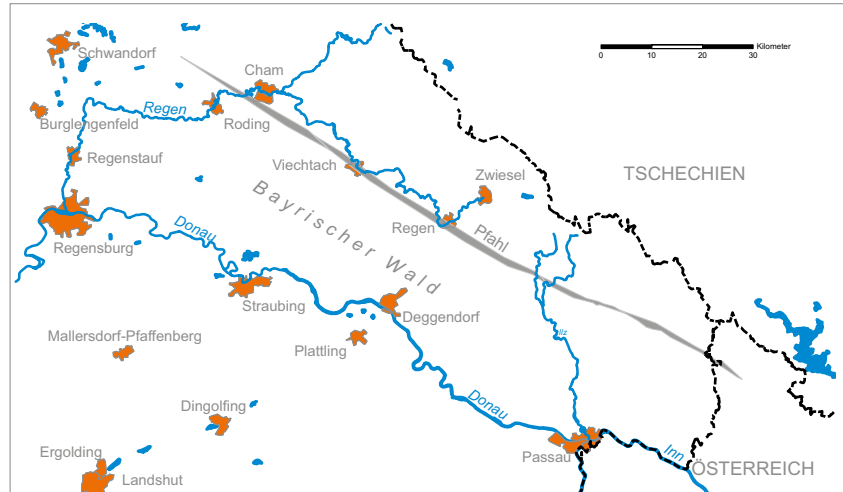
Der Pfahl ist ein rund 140 km langer und im Mittel 60 m breiter Gangquarz, der sich in erster Linie durch den nordöstlichen Bayerischen Wald („Bayerischer Pfahl“) zieht. Im Nordwesten beginnt der Pfahl bei Nabburg in der Oberpfalz, führt südöstlich bis nach Passau und zieht sich durch das oberösterreichische Mühlviertel bis kurz vor Linz. Der helle, bis in 20 m Tiefe aufgelockerte Quarz führt im Durchschnitt 99 % SiO_2 . Er tritt nur an wenigen Stellen an die Oberfläche, ansonsten ist der Pfahl nur als Höhenzug erkennbar. Im Ort Weißenstein bei Regen erreicht er mit 758 m über dem Meeresspiegel seinen höchsten Punkt; auf dieser Erhebung steht die Burgruine Weißenstein. Westlich der Stadt Viechtach sind die Quarzformationen am besten sichtbar, erreichen bis 100 m Breite und ragen bis zu 30 m in die Höhe.

Früher gab es im Pfahl zahlreiche Steinbrüche, doch heute verhindern meist naturschutzfachliche Gründe eine weitergehende und umfangreichere Nutzung. Dennoch sind auch gegenwärtig noch zwei Quarzproduzenten neben der Herstellung von hochwertigen Schottern und Splitten auch in der Quarzproduktion für die weiterverarbeitende Industrie tätig.

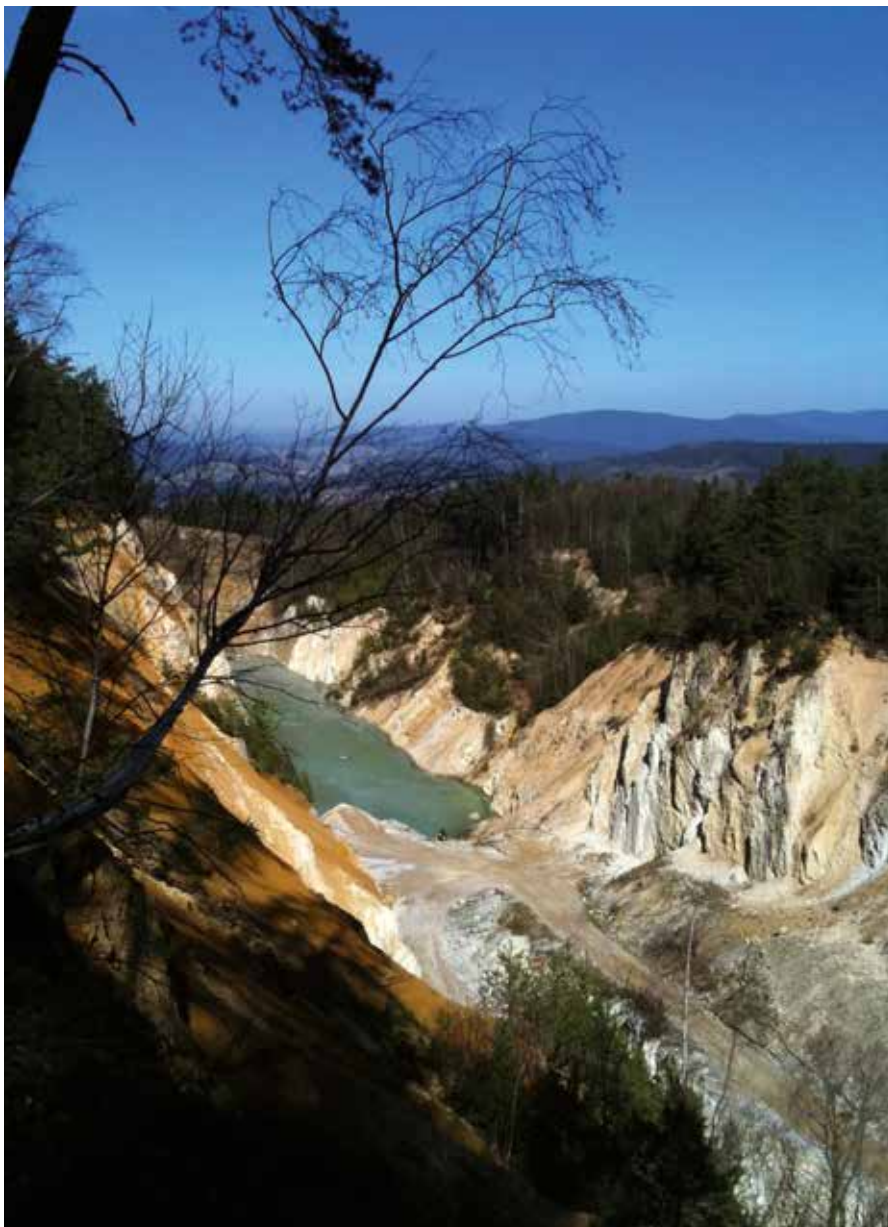
Abbaustellen von als Industriemineral genutztem Quarz in Deutschland, Karte: BGR.

Wirtschaftlich abbauwürdige Quarzgänge und damit Lagerstätten von Quarz sind in Deutschland auf den Bayerischen Wald („Bayerischer Pfahl“) und auf den Hochtannus („Usinger Gang“) beschränkt. Quarzpegmatite sind noch seltener und bilden, wie im Schwarzwald oder Odenwald, meist nur kleine Körper. Häufig wurden sie früher zur lokalen Glasherstellung genutzt, aber alle Abbauaktivitäten wurden schon lange eingestellt.

Die familiengeführte Waschinger Quarz- und Schotterwerk GmbH & Co. KG (Homepage: www.quarzwerk-waschinger.de) produziert seit 1924 Quarzprodukte aus dem Bayerischen Pfahl in March westlich der Kreisstadt Regen. Seit 1945 beliefert die Firma auch die metallurgische Industrie mit Quarzrohstoffen, aktuell mit Quarzschotter (Korngröße 30 – 100 mm, 99,4 % SiO_2) die Ferrosiliziumhütte der ASK Chemicals Metallurgy GmbH in Hart bei Unterneukirchen (Landkreis Altötting) und die Rohsiliziumhütte der RW silicium GmbH in Pocking, südlich Passau (vgl. Kapitel 6).



Lage des zentralen Bayerischen Pflaß in Niederbayern, Karte: BGR.



Quarzgewinnung im Bayerischen Wald, Foto: Waschinger Quarz- und Schotterwerk GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).



Einfahrt zum Quarzsteinbruch Eschbach, Foto: Bremthaler Quarzitwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Ähnliches gilt für die Dachs Georg GmbH & Co. KG (Homepage: www.dachs-quarz.de) in Regen, die aus ihrem unweit entfernt liegenden Steinbruch in Arnetsried ebenfalls diese beiden Verbraucher mit Rohquarz beliefert.

Im Hochtaunus, zwischen Michelbach/Stadt Usingen und Pfaffenwiesbach/Gemeinde Wehrheim, verläuft über 6 km Länge ein weiterer, bis zu 50 m breiter Quarzgang. Er besitzt eine sehr hohe Reinheit von bis zu 99,98 % SiO_2 und < 80 ppm Fe_2O_3 und wird seit mittlerweile rund 100 Jahren in der Gemarkung Eschbach der Kleinstadt Usingen abgebaut. Seit 1941 zuständiges Abbauunternehmen ist die Bremthaler Quarzitwerk GmbH (Homepage: www.quartzpure.com), ein Schwesterunternehmen der Mineralmühle Leun, Rau GmbH & Co. KG in Leun, westlich Wetzlar.

Die Bremthaler Quarzitwerk GmbH gewinnt im Abstand von zwei bis vier Jahren jeweils wenige Tausend Tonnen Quarz aus ihrem Steinbruch in Eschbach/Usingen und bereitet diese durch Brechung, Waschung, Trocknung, Siebung und eisenfreie Vermahlung zusammen mit aus dem Ausland zugekauften Quarzen zu monatlich 100 – 200 t hochreinem Quarzsand und -mehl auf. Produkte aus Eschbacher Rohquarz werden unter dem Handelsnamen Sipur® C vermarktet. Nach Abfüllung in Säcke oder 1.000 kg Big-Bags treten sie per Lkw aus ihre Reise zu Kunden in der Spezialglasindustrie, u. a. der D. Swarovski KG in Österreich, der Bauchemie- sowie der Lacke- und Farbenindustrie an, wo sie als Füllstoffe Verwendung finden.



4.2 Quarzkies

Reine Quarzkiese sind ein äußerst begehrtes und seltenes Produkt. Nach Waschung und Klassierung in verschiedene Korngrößen finden die weißen Quarzkiese weit vorwiegend in der Wasseraufbereitung, dem Brunnenbau und als gut bezahlte Zierkiese in deutschen Vorgärten Verwendung.

Ein Vorkommen von besonders hochwertigem Quarzkiessand liegt westlich von Bonn im Dreieck Weilerswist – Euskirchen – Witterschlick im Bereich Kottenforst-Ville des Naturparks Rheinland. Es handelt sich um einen zu großen Teilen aus reinem Quarzkies und -sand bestehenden Flußschotter eines verwilderten Ur-Rheins vor rund 5 Mio. Jahren. Die Mächtigkeit der quarzkiesreichen Abschnitte dieser Rheinschotter schwankt zwischen 10 und 50 m. Die Korngrößenverteilung der Kiessande und alle ihre Gesteinsparameter sind optimal. Der Kiesanteil liegt bei durchschnittlich 40 % und besteht zu rund 90 % aus Geröllquarz. Die gewaschenen Quarzsande enthalten 97 bis > 99,5 % SiO_2 , die Quarzkiese bis zu 99,85 % SiO_2 . Die Gehalte an Spurenelementen in den gewaschenen und klassierten Quarzkiesen sind so niedrig (0,10 % Al_2O_3 , 100 ppm Fe_2O_3 , 30 ppm CaO , 20 ppm TiO_2), dass man aus ihnen sogar Silizium produzieren könnte (vgl. Kapitel 6).

In dem o. g. Dreieck westlich Bonn sind zwei Quarzkieswerke mit Gesamtvorräten von zusammen mehreren Millionen Tonnen Quarzkies aktiv:

Die Kieswerk Rheinbach GmbH & Co. KG (Homepage: www.kieswerk-rheinbach.de) gewinnt seit 1980 bei Rheinbach-Flerzheim Kiessande und begann im Jahr 2000 mit der getrennten Produktion von Betonkies und weißem Quarzkies. Zwischenzeitlich werden drei Sorten von Quarzsand, sieben Sorten von Quarzkies zwischen 2 und

Abbauwand mit Quarzgeröllen eines Ur-Rheins im Kieswerk Rheinbach, Foto: BGR.



Abbaustellen von als Industriemineral genutztem Quarzkies in Deutschland, Karte: BGR.



64 mm und vier Sorten von Quarzedelbrechanden und -splitten erzeugt. Die gebrochenen Quarzprodukte werden in der Bauindustrie, z. B. zur Aufhellung von Asphalten und in der Herstellung von Produkten aus Waschbeton, eingesetzt. Das Rundkorn wird weltweit in der Wasseraufbereitungsindustrie nachgefragt.

Die Quarzwerke Witterschlick GmbH (Homepage: www.quarzwerte-witterschlick.de), ein Tochterunternehmen der Quarzwerke GmbH in Frechen, baut in unmittelbarer Nachbarschaft zum Kieswerk Rheinbach mittels zwei Schwimmgreifern dasselbe Quarzkiessandvorkommen ab. Als Produkte werden bis zu sechs Quarzsand- und zehn Quarzkiessorten zwischen 1 und 50 mm hergestellt. Diese werden je nach Bedarf wäscherfeucht oder feuergetrocknet, lose als Schüttgut oder verpackt in 25 kg PE-Säcke oder Big-Bags, per Lkw oder Schiff an Kunden vor allem in der Bau-, Baustoff- und Wasseraufbereitungsindustrie geliefert. Zusätzlich versorgen die Quarzwerke Witterschlick den regionalen Garten- und Landschaftsbau mit einer Vielzahl von Gesteinen.

Ebenfalls in Nordrhein-Westfalen, südwestlich Dorsten in der Kirchheller Heide, gewinnt die Euroquarz GmbH (Homepage: www.euroquarz.de), ein Unternehmen der Lübecker Possehl-Gruppe, Quarzkiese und -sande. Bei Dorsten werden seit über 100 Jahren Quarzkiessande der Jüngeren Hauptterrasse des Rheins (abgelagert vor rund 700.000 Jahren) abgebaut. Sie fanden und finden in den vielfältigsten Einsatzbereichen Verwendung. Bei der Vermarktung ihrer Quarzkiese hat sich Euroquarz dabei auf die Wasseraufbereitung (Trinkwasser, Brauchwasser, Badewasser, Brunnenbau, Getränkeindustrie) sowie die Herstellung von Spezialprodukten – vor allen Spezialmörteln – spezialisiert. Durch ein Schwesterunternehmen bietet sie aber auch exotische Produkte, wie gefärbte Aquarien- und Zierkiese, an.



Gewinnung hochwertiger Quarzkiessande mittels Schwimmgreifer bei der Quarzwerke Witterschlick GmbH, Foto: BGR.



Gefärbter Quarzkies im Farbton „Enzianblau“, Foto: Euroquarz GmbH (mit frdl. Genehmigung).





Abbau von über 30 Millionen Jahre alten Quarzkies-sandschichten bei Dodenburg in der Eifel, Foto: BGR.

Rheinland-Pfalz, genauer der Landkreis Bernkastel-Wittlich, ist mit einer Vielzahl von sehr quarzreichen ($> 95\% \text{ SiO}_2$, lagenweise $> 98\% \text{ SiO}_2$) Kiessandvorkommen gesegnet. Diese entstanden durch die intensive Verwitterung älterer Gesteine vor 38 bis 34 Mio. Jahren, wobei nach fluviatiler Umlagerung nur die widerstandsfähigsten Sande und Kiese zurückblieben. Heute findet man in den zahlreichen Kiessandgruben südwestlich der Kreisstadt Wittlich, vor allem bei Dodenburg, Wechsellagerungen aus schluffreichen Sanden und feinen bis groben Kiesen (40 – 50 % Kiesanteil). Diese bestehen überwiegend aus weißen, meist gut gerundeten, erbsen- bis faustgroßen Quarzgeröllen.

Gegenwärtige Produzenten von Quarzkiesen im Landkreis Bernkastel-Wittlich sind die Firmen:

- Rech Kies-GmbH mit Sitz und Kieswerk in Oberkail (Homepage: www.rech-kies.de)
- Mick Kies GmbH mit Sitz in Dierscheid und Kieswerk in Dodenburg (Homepage: www.mick-kies.de)
- Günter Wey GmbH & Co. KG mit Sitz in Rivenich und Kieswerk in Dodenburg (Homepage: www.vey-gruppe.de)
- Kies-Bandemer & Co. Eifel-Quarz-Werke GmbH mit Sitz in Niersbach, Grube in Dodenburg und Quarzkieswerken in Binsfeld und Niersbach (Homepage: www.kies-bandemer.de)

Neben Filter-, Dach- und Zierkiesen sowie Kiesen für die Wasch- und Transportbetonindustrie stellt nur die Firma Kies-Bandemer durch Brechen der Quarzkiese auch hochwertige Edel-Quarzbrechsande und -splitte mit bis 99,4 % SiO_2 her. Diese werden lagerfeucht oder auch feuergetrocknet, in Säcken, Big-Bags oder als loses Schüttgut an Kunden in der Bau- und Baustoff-, aber auch Feuerfest-, Gießerei-, Kunststoff- und Farbenindustrie geliefert.

Ähnliche Lagerstätten von vor Jahrmillionen verwitterten und umgelagerten Quarzkiesen, die aber nur in der Bau- und Baustoffindustrie Verwendung finden, ziehen sich auch weiter nordwestlich, von westlich Koblenz bis in den Großraum Limburg – Hadamar:



Jährlich nur geringe Mengen an hochreinen Quarzkiesen, -sanden und -edelspliten produziert Deutschlands wohl kleinstes Quarzkiessandwerk in Niederbrechen bei Limburg, Foto: BGR.

- Bei Ochtendung, westlich Koblenz, bauen die Koberner Quarzkieswerke GmbH & Co. KG (Homepage: www.quarzkieswerke.de) Quarzkiessande ab. Hier liegt der Quarzgeröllanteil bei 89 %.
- Südöstlich Nassau befinden sich die Quarzkiessandgruben der Singhofener Quarzkieswerke hw Schmitz GmbH & Co. KG (Homepage: www.hwschmitz.de). Seit 1968 gewinnt hier die Unternehmensgruppe hw Schmitz aus Andernach Quarzkiese mit bis zu 99 % SiO_2 -Gehalt. Die durch diese Firma aufbereiteten Quarzkiese finden Anwendung nicht nur in der Bauindustrie, sondern auch national und international bei Epoxidharzverarbeitern.
- 20 km weiter westlich, südlich der Gemeinde Cramberg, betreibt die Hartmann GmbH aus Diez (Homepage: www.hartmann-beton.de) das Cramberger Quarzkieswerk. Auch hier liegt der SiO_2 -Gehalt der gewaschenen Quarzkiese und -sande bei 99 %.
- Ebenfalls bis zu 99 % SiO_2 weisen die aufbereiteten Quarzkiese und -sande aus dem Quarzkiessandwerk Niederzeuzheim der Buss Sand- und Kieswerk GmbH aus Hadamar (Homepage: www.kieswerk-buss.de) auf.
- Die kleine und familiengeführte Quarzkieswerk Alfred Kremer GmbH (keine Homepage) vertreibt Quarzkiese, -edelsplitte und -sande aus ihrem Kieswerk Niederbrechen südlich Limburg. Während der Rohkiessand 98,7 % SiO_2 enthält, wurden in den Quarzsplitten über 99,6 % SiO_2 gemessen. Die in diesem Werk

hergestellten Quarzprodukte dienen als Ziermaterial im Garten- und Landschaftsbau. Sie finden aber auch überregional Verwendung in ganz speziellen Nischenprodukten der Bauindustrie. Auch wird ein sehr feiner und reiner Quarzsand für Windhundrennbahnen produziert.

In Niederbayern wurden hochwertige Quarzkiese bis zum Jahr 2014 aus einer Kiesgrube bei Jederschwing gewonnen. Die dort abgebauten, gewaschenen und nachträglich sogar noch handverlesenen Quarzkiese dienten als wichtiger Rohstoff für das Rohsiliziumwerk der RW silicium GmbH in Pocking (s. Kapitel 6). Da dieses Kieswerk jedoch von Naturschutzgebieten umgeben ist und die Vorräte begrenzt waren, wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt bereits ab 2006 in einem großen Erkundungsprogramm im gesamten südöstlichen Niederbayern alternative Quarzkiesvorkommen untersucht. Hierbei konnten in acht „Rohstoffpotenzialflächen“ Vorräte von insgesamt knapp 12 Mio. t geeigneten Quarzkies nachgewiesen werden.

Auch Sachsen und Thüringen verfügen über mehrere bedeutende Quarzkieslagerstätten, doch stehen hiervon nur zwei im Abbau:

Im Jahr 1949 wurde der Kiessandtagebau Laußnitz der heutigen Kieswerk Ottendorf-Okrilla GmbH & Co. KG (Homepage: www.kieswerk-ottendorf.de) nördlich Dresden eröffnet. In diesem Kieswerk werden seitdem bis zu 35 m mächtige, quarzreiche



Kiessande (45 % Kiesanteil) einer Ur-Elbe von vor 5 – 2 Mio. Jahren abgebaut. Der dortige Kies enthält rund 93 % Geröllquarz und Quarzite und der Sand bis zu 99 % SiO_2 .

Seit 1993 werden von der Euroquarz GmbH (s. Dorsten) die Quarzkiessande bis 16 mm Korngröße vor Ort aufbereitet. Das Unternehmen produziert daraus in einem eigenen Quarzwerk das gewaltige Spektrum von 17 verschiedenen Quarzkies- und 29 verschiedenen Quarzsandsorten für eine Vielzahl von bauchemischen Produkten.

Im Altenburger Land, bei Nobitz, betreibt die Heim Kieswerk Nobitz GmbH & Co. KG, ein Unternehmen der Heim-Gruppe aus Ulm, seit 1991 einen großen Kiessandabbau. In diesem Raum lagern bis zu 35 m mächtige Kiessande eines ehemaligen „Altenburger Flusses“ von vor 38 – 34 Mio. Jahren. Seit Anfang 2012 veredelt das Schwesterunternehmen Heim Industrial Minerals GmbH & Co. KG (Homepage: www.nobitz-quarz.de) jährlich bis zu 40.000 t dieser Sande und Kiese in einem hochmodernen Quarzwerk zu verschiedenen Quarzsand- und Quarzkiesfraktionen, die alle unter dem Markennamen Nobitz Quarz™ vermarktet werden. Die kantengerundeten Quarzsande (98,7 % SiO_2) finden in der Baustoff-, Gießerei- und keramischen Industrie sowie in der Wasseraufbereitung Verwendung. Die Nobitzer Quarzkiese (bis 99,5 % SiO_2) gehen vor allem in die Wasseraufbereitung und Bauchemie.



Das Quarzwerk in Nobitz, Foto: Heim Industrial Minerals GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).



Kiessandabbau im Tagebau Laußnitz, Foto: Kieswerk Ottendorf-Okrilla GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).



4.3 Quarzsand



Mit Abstand größtes Abbaunternehmen von Quarzsand in Deutschland und mit deutschlandweit rund 1.200 Mitarbeitern ist die 1884 gegründete Quarzwerke GmbH (Homepage: www.quarzwerke.com) mit Hauptsitz in Frechen. In Deutschland fördert das Unternehmen aus sechs verschiedenen Quarzsandlagerstätten:

Frechen, westlich von Köln. Hier lagern 25 Mio. Jahre alte, fein- und mittelkörnige Strandsande von durchschnittlich 48 m, maximal sogar 70 m Mächtigkeit und hoher Reinheit (> 99 % SiO₂). Mit geschätzten Restvorräten von rund 100 Mio. t handelt es sich um eine der bedeutendsten Quarzsandlagerstätten Deutschlands. Bereits in römischer Zeit wurde hier Quarzsand für die Glasherstellung gewonnen und 1884 begann der industrielle Abbau. Heute, gut 130 Jahre später, wird der Quarzsand bei Frechen in einem großen Tagebau mit Schaufelradbaggern abgebaut und in einem benachbarten Quarzsand- und -mahlwerk zu jährlich bis zu 800.000 t hochwertigen Quarzsanden und -mehlen für die Baustoff-, Glas-, Gießerei-, Keramik-, Feuerfest- und chemische Industrie aufbereitet.

Abbaustellen von als Industriemineral genutztem Quarzsand in Deutschland, Karte: BGR.



Quarzsandabbau im Tagebau Frechen, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Luftaufnahme der Halterner Silberseen mit Quarzwerk im Vordergrund, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Haltern am See, mit der derzeitigen Abbaufäche Haltern-Sythen („Silbersee I“). Die Stadt Haltern am See liegt am östlichen Rand eines rund 900 km² großen Gebietes (zwischen Recklinghausen, Dorsten, Borken und Coesfeld), in dem vor rund 80 Mio. Jahren in einem flachen Meer durchschnittlich 100 m mächtige, in einigen Vertiefungen sogar bis über 250 m mächtige Fein- und Mittelsande abgelagert wurden. Ursprünglich enthielten diese Meeressande noch größere Anteile eines Eisenglimmers. Im feuchtwarmen Klima eines nachfolgenden Erdzeitalters (Tertiär) verwitterten die Eisenglimmer jedoch bis in größere Tiefe, wobei das enthaltene Eisen zu Eisenoxid oxidiert wurde. Dieses Eisenoxid überzieht die Sandkörner des Halterner Quarzsandes heute als dünnes "Häutchen" und verleiht ihm die typische gelblichbraune bis rostbraune kräftige Färbung. Andernorts entstanden aber auch teils dicke Eisenoxidlagen, die mit Schwimmbaggern nicht zu durchdringen sind. Noch später bildeten sich Moore, deren Huminsäuren den darunterliegenden Quarzsand von Tonmineralen, Kalk und Eisenbestandteilen befreien und bis in eine Tiefe von 60 – 70 m auf teils über 99 % SiO₂ anreicherten. Dieser nutzbare „gebleichte“ Quarzsand findet seine Verbreitung heute auf einem Streifen

von Coesfeld über Haltern am See bis Oer-Erkenschwick und wird volkstümlich als „Silbersand“ bezeichnet. Die geologischen Vorräte in diesem Streifen werden auf 80 Mio. t hochwertigen Quarzsand geschätzt, wovon aber der größte Teil durch Bebauungen und andere konkurrierende Nutzungen nicht abgebaut werden kann. 1886 begann nahe Haltern der kommerzielle Quarzsandabbau. Seit 1924 ist die Quarzwerke GmbH das heute bedeutendste Abbaunternehmen mit einer Förderung von derzeit rund 1,8 Mio. t jährlich. Aufgrund seiner kantengerundeten Kornform und der homogenen Lagerstättenqualität zählt Quarzsand aus Haltern zu den besten Gießereisanden der Welt und findet vom Automobilbau bis hin zu Windkraftanlagen in praktisch allen Sparten des Maschinenbaus Anwendung. Er ist damit einer der Grundlagen für die international führende Stellung der deutschen Gießereiindustrie. Zugleich dient Halterner Quarzsand auch der Glasindustrie des Ruhrgebietes als unverzichtbarer Rohstoff.

Südlich von Coesfeld baut seit 1996 die Quarzwerk Baums GmbH & Co. KG (Homepage: www.quarzwerk-baums.de) ebenfalls Halterner Quarzsande ab.

Sandgewinnung mittels Saugbaggerschiff im Quarzsandwerk Gambach der Quarzwerke GmbH, Foto: BGR.



Gambach, südlich des gleichnamigen Autobahnkreuzes in der hessischen Wetterau. Seit 1958 baut die Quarzwerke GmbH in Gambach bis zu 40 m mächtige Quarzsande ab, die vor ca. 26 Mio. Jahren vermutlich in einem Flachmeer abgelagert wurden. Die Sande stammten dabei wahrscheinlich aus verwittertem Taunusquarzit weiter westlich. Nur die gelblichen, oder besser weißen, eisenarmen Feinsande ($> 99,0\% \text{ SiO}_2$ und $< 0,1\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$) sind als Industriemineral nutzbar und werden zu jährlich bis zu 200.000 t Gießerei- und untergeordnet Glassanden aufbereitet. Zudem werden spezielle kunstharzhüllte Gießereisande produziert. Auch ein benachbartes Kalksandsteinwerk wird mit Sand versorgt.

Weferlingen, im sachsen-anhaltinischen Allertal, 45 km nordwestlich von Magdeburg und unmittelbar an der Landesgrenze zu Niedersachsen. Im Allertal, einer Störungszone der oberen Erdkruste in Norddeutschland, blieben an einigen Stellen rund 70 Mio. Jahre alte Flussdelta- und Seenablagerungen erhalten. Südlich des kleinen Ortes Weferlingen handelt es sich um bis 170 m mächtige feinkiesige Quarzsande und Tone. Die Quarzsande, die hier seit 1925 abgebaut werden, bedürfen aufgrund lagerstättenbedingt erhöhter Anteile an Begleitmineralien vor ihrer Nutzung einer komplexen Aufbereitung. Hierfür hat die Quarzwerke GmbH nach 1992 das Quarzwerk am Standort Weferlingen modernisiert. In diesem Werk werden heute 20 verschiedene Quarzsand- und Quarzmehlsorten für die verschiedensten

Verwendungsbereiche produziert, darunter auch besonders eisenarme Sande z. B. für Solarglas.

Hohenbocka in Brandenburg, am Südrand des Lausitzer Braunkohlenreviers und unweit der Landesgrenze zu Sachsen. In dieser Region werden seit Mitte des 19. Jahrhunderts Dünenande abgebaut, die vor rund 16 Mio. Jahren von der Küste eines sich nach Norden zurückziehenden Flachmeeres ausgeblasen wurden. Der Wind wehte bereits viele Verunreinigungen weg und sich über den Dünenanden bildende Braunkohlen sorgten durch ihre Huminsäuren zusätzlich für eine spätere Bleichung und Enteisenung der Sande. Zwischenzeitlich sind die feinen und gut klassierten Dünenande jedoch weitgehend abgebaut und der Abbau ist in tiefere, einst im flachen Meeresswasser abgelagerte Sande fortgeschritten. Auch wurden diese während eines Inlandeisvorstoßes gestaucht und sind deswegen nicht immer leicht zu gewinnen. Zusätzlich sind die tieferen Sande durch Huminsäuren aus den Braunkohlen dunkelbraun überzogen. Heute baut die Quarzwerke GmbH, die die Lagerstätte 1993 erwarb, im Nassabbau jährlich rund 400.000 t Quarzsand in Hohenbocka ab. Sie versorgt mit den intensiv zu waschenden, von Natur aus aber eisenarmen Sanden ($0,015 - 0,04\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$) per Eisenbahn, aber auch Silozügen, mehrere ostdeutsche Glaswerke und Gießereien.

Witterschlick, s. Kapitel 4.2, ist ein Quarzkies-sandwerk nordwestlich von Bonn.



Zur Quarzwerke-Gruppe gehören ferner die Amberger Kaolinwerke Eduard Kick GmbH & Co. KG mit den Werken Hirschau-Schnaittenbach in der Oberpfalz sowie Caminau und Kemmlitz in Sachsen. Das oberpfälzische Werk in Hirschau, gegründet 1901, produziert jährlich rund 1,3 Mio. t Roherde, die zu 900.000 t Quarzsand für die Glas-, Keramik- und Bauindustrie, 250.000 t Kaolin und 150.000 t Feldspat aufbereitet werden. In Hirschau liegt auch der bekannte „Monte Kaolino“ (Homepage: www.montekaolino.eu), eine bis zu 120 m hohe Halde aus rund 32 Mio. t kaolinhaltigem Quarzsand, der heute als regionales Wahrzeichen gilt und als Freizeitpark genutzt wird. Derzeit wird ein modernes Quarzsandwerk am Standort Schnaittenbach errichtet und die Kaolinproduktion am Standort Hirschau konzentriert.

Im Kaolinwerk Kemmlitz, gegründet 1883, wird aus den Schlämmen der Kaolinaufbereitung ebenfalls noch der feine Quarzsand abgetrennt.



Luftaufnahme des Quarzkiessandwerkes Witterschlick, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Der Quarzsandabbau in Weferlingen, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Saugbaggerschiff „Maike“ im Einsatz im Quarzsandwerk Hohenbocka der Quarzwerke GmbH, Foto: BGR.



Freizeitspaß am Monte Kaolino, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Der Quarzsand-Kaolin-Feldspat-Tagebau Hirschau der Gebr. Dorfner GmbH & Co. Kaolin- und Kristallquarzsandwerke KG, Foto: BGR.

Ein zweites Unternehmen, das in der Oberpfalz Quarzsand produziert, ist die 1895 gegründete und seitdem familiengeführte Gebrüder Dorfner GmbH & Co. Kaolin- und Kristallquarzsand-Werke KG (Homepage: www.dorfner.de). Wie die direkt benachbarten Amberger Kaolinwerke baut sie in Hirschau bis zu 70 m mächtige, stark verwitterte Kaolin-Quarz-Feldspat-Gesteine ab. Diese entstanden vor rund 220 Mio. Jahren, als in einer damaligen Wüste bei Starkregen immer wieder feinkörniger Schutt aus umlagernden Hügeln zusammengeschwemmt wurde. Zusammen mit Rohmaterial aus ihrem Quarzsandsteinbruch Gebenbach (s. unten) produziert die Firma Dorfner in ihrer Aufbereitungsanlage in Hirschau-Scharhof jährlich rund 500.000 t Quarzsande und -mehle, 120.000 t Kaolin und 30.000 t feldspathaltige Sande. Diese werden zu mehr als 300 Produkten veredelt und weltweit in zahllosen Märkten vertrieben.

In Ostfriesland, 20 km südlich Wilhelmshaven, betreibt die Quarzwerk Marx AG (Homepage: www.quarzwerk-marx.de) Deutschlands nördlichstes Quarzsandwerk. Schon 1904 wurde in Marx-Barge Sand abgebaut und ab 1962 Quarzsand produziert. Mit einem Saugbaggerschiff dürfen heute die obersten 30 m einer über 100 m mächtigen Lagerstätte aus Quarzsanden eines Wattenmeers von vor 4 bis 2 Mio. Jahren abgebaut werden. Der geförderte Rohsand wird zu zehn Standardsorten mit durchschnittlich 98,9 % SiO_2 aufbereitet und dann, getrocknet oder restfeucht, vor allem in der Bau-, Baustoff- und Gießereiindustrie, für Spielplätze und in Sportanlagen, als Wirbelschichtsand oder sogar zum Reinigen von Kartoffeln in der Lebensmittelindustrie genutzt.

Bei Wilsum, im niedersächsischen Landkreis Grafschaft Bentheim, unweit der Grenze zu den Niederlanden, betreibt die 1960 gegründete, aber seit 2013 niederländische IHB Quarzwerke GmbH & Co. KG (Homepage: www.ihb-quarzwerke.de) seit 2011 ebenfalls einen Quarzsandtagebau. Gefördert werden hier mittels Saugbaggerschiff Fluss- und Schmelzwasserablagerungen aus unterschiedlichen Eiszeiten sowie ältere Flusssedimente. Die hellgrauen kantengerundeten Sande sind sehr quarzreich (> 98 % Quarz und Quarzit), die eingeschalteten Kiese bestehen auch aus anderen Gesteinen. Produziert werden zahlreiche Sorten von restfeuchten und getrockneten Quarzsanden (bis 99,2 % SiO_2) sowie quarzreichen Feinkiesen für die Bau- und Baustoff-, Wasseraufbereitungs- und Gießereiindustrie, den Landschafts- sowie Sportanlagenbau.

Im niedersächsischen Leinebergland, bei Duingen westlich Alfeld, betreibt die Dörentrup Quarz GmbH & Co. KG (Homepage: www.doerentrup.de) seit 1929 einen Sand-Tagebau. Seit 1945 wird der dort gewonnene Sand zusätzlich gewaschen, seit 1949/50 auch getrocknet, gesiebt oder vermah-



len. Die in Duingen zwischen Braunkohleflözen lagernden Sande sind Reste alter Flussablagerungen und entstanden vor über 5 Mio. Jahren. Der Duinger Sand ist sehr gleichkörnig, fein und rein (99,5 % SiO_2 , < 300 ppm Fe_2O_3). Er wird zu fast 100 % aufgemahlen und ist Grundstoff der

Produktion von Calciumsilikathydrat, das dann in Catsan Hygienestreu Verwendung findet. Kleinere Mengen finden Absatz in der Feuerfest-, Porenbeton-, Lack-, Farben-, Glasur-, Emaille- und Dentalindustrie.



Das Quarzsandwerk in Marx im Luftbild, Foto: Quarzwerk Marx AG (mit frdl. Genehmigung).



Gewinnung von Quarzsand zwischen Braunkohleflözen bei Duingen, Foto: Dörentrup Quarz GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).



Quarzsandgewinnung durch Saugbaggerschiff im Quarzsandwerk Uhry der Schlingmeier Quarzsand GmbH & Co. KG, Foto: BGR.



Trockenabbau von Quarzsand in Kläden in der Altmark, Foto: Märkischer Mineralsand GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Abbauwand im Quarzsandtagebau Möllensdorf, Foto: Quarzsand GmbH Nudersdorf (mit frdl. Genehmigung).



Unweit Königslutter, im östlichen Niedersachsen, liegt direkt an der A2 die Quarzsandlagerstätte Uhry. Als in der Nähe vor rund 70 Mio. Jahren ein Salzstock aufstieg, bildete sich zeitgleich und benachbart eine Senke, die mit bis zu 200 m mächtigen Quarzsanden aufgefüllt wurde. Diese stammten aus Flüssen, die sich über ein Delta in ein damaliges Flachmeer ergossen. Seit 1948 baut die Schlingmeier Quarzsand GmbH & Co. KG (Homepage: www.schlingmeierquarzsand.de) das hochwertige Quarzsandvorkommen von Uhry ab. In einer benachbarten und hochmodernen Aufbereitungsanlage produziert sie aus den Rohsanden gewaschene Quarzsande auf höchster Reinheit für alle erdenklichen Einsatzbereiche, vor allem aber die Glas-, Gießerei-, Chemie- und Baustoffindustrie.

Seit 1928 wird nördlich von Kläden, in der sachsen-anhaltinischen Altmark, feiner, rund 10 Mio. Jahre alter Quarzsand mit durchschnittlich 98,4 % SiO_2 gefördert. Zu DDR-Zeiten war er wichtiger Bestandteil des damaligen Waschmittels „IMI“ und des bekannten Scheuermittels „ATA“. Heute produziert dort die Märkischer Mineralsand GmbH, eine Schwesterfirma der Schlingmeier Quarzsand GmbH & Co. KG (s. o.), bevorzugt spezielle Sande für Spiel- und Sportstätten, untergeordnet auch für die Glasindustrie.

Ebenfalls zur Schlingmeier Quarzsand-Gruppe gehört die MWN Mineralwerke GmbH (Homepage:

www.mwnmineralwerke.de) in Niemegk zwischen Potsdam und Wittenberg. Die MWN Mineralwerke beziehen quarzreiche Rohkiessande mit im Mittel 96 % SiO_2 aus eigenem Vorkommen in Rietz sowie den nahen Kieswerken Linthe und Ziezow der Firmengruppe Max Bögl und bereiten diese in einem Trockensandwerk auf. Haupteinsatzgebiete der feuergetrockneten und klassierten Quarzsande und -feinkiese sind die Baustoffindustrie, die Bauchemie und die Bausanierung, die Filterindustrie, die Heimtier- und Zoobranche sowie der Garten- und Landschaftsbau.

Nördlich der Lutherstadt Wittenberg in Sachsen-Anhalt, werden seit über 90 Jahren Quarzsande abgebaut. Nach der politischen Wende entstand die Quarzsand GmbH Nudersdorf (Homepage: www.qsnudersdorf.de), die seitdem in ihrem Bergwerkseigentum Möllensdorf Quarzsand gewinnt. Dieser lagerte sich vor rund 16 Mio. Jahren in ehemaligen Seen und an Flachmeerküsten ab. Während einer Inlandvereisung vor ca. 160.000 Jahren wurde er wieder an die Erdoberfläche gestaucht und mit eiszeitlichen Kiessanden vermischt. Der feine Quarzsand geht nach Aufbereitung (96 – 98 % SiO_2) in erster Linie an Kunden im Umkreis von 150 Kilometern. Leichtmetallgießereien greifen traditionell darauf zurück, er findet bei Trockenbaustoffen ebenso Verwendung wie in der Wirbelschichtfeuerung, der Wasserwirtschaft oder beim Sportplatzbau.



Luftbild des Baggersees im Kies- und Quarzsandwerk Haida. Foto: WOLFF & MÜLLER Baustoffe GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Gewinnung von Quarzsand bei Fritscheshof/Neubrandenburg, Foto: GeoService/Klaus Granitzki (mit frdl. Genehmigung).



Abbau von hochwertigen Quarzsanden im Tagebau der Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH in Herzogenrath bei Aachen, Foto: BGR.

In Haida, nordwestlich von Elsterwerda, in der Niederlausitz, werden seit 1890 Quarzsande abgebaut. Die Haidauer Zuschlagsstoffe und Spezialsande GmbH wurde nach der Wende eine Beteiligung der Silex Normkies Speyer. Beide Unternehmen firmierten 2005 zur WOLFF & MÜLLER Baustoffe GmbH (Homepage: www.wm-baustoffe.de), der heutigen Betreiberin des Werkes. In Haida werden im Inlandeisvorfeld, vor rund 160.000 Jahren abgelagerte Kiessande, mit einem sehr hohen Quarzanteil, gewonnen. Quarzsand (96,8 % SiO_2) und Kies aus Haida werden weltweit in der Wasseraufbereitung sowie im Brunnen- und Poolbau eingesetzt. Der Quarzsand findet zusätzlich Verwendung in Gießereien, der Bauchemie, als Lokbremssand sowie in Sport- und Freizeitanlagen.

1982 wurden am südöstlichen Stadtrand von Neubrandenburg, bei Fritscheshof, Schollen aus rund 20 Mio. Jahre altem Quarzsand mit einer Gesamtgröße von über 1 km^2 und Mächtigkeiten bis ca. 50 m erkundet. Die Schollen gelangten durch eiszeitliche Vorgänge vor rund 160.000 Jahren in Oberflächennähe. Es handelt sich um relativ reine mittelsandige Feinsande mit Grobsand- und Feinkieslagen sowie hohen SiO_2 -Gehalten bis 99 %. Schluffbänder und Braunkohlelagen können eingeschaltet sein. Die den Lagerstättenverhältnissen angepasste selektive Rohstoffgewinnung und nachgeschaltete Aufbereitung ermöglichen die Herstellung eines breiten Produktsortimentes. Damit ist die heutige Quarzsandwerk Neubrandenburg GmbH & Co. KG (Homepage: www.quarzsandwerk-nb.de) in der Lage, Quarzsande für die regionale Bau- und Baustoffindustrie, Filtersande, Strahlsande, Formsande, als Füllstoffe für Kunststoffrohre, Spezialsande für Wirbelschichtöfen, Sande für Spiel- und Sportplatzbau u. a. bereitzustellen.

Am nördlichen Stadtrand von Herzogenrath, nördlich Aachen, direkt an der Grenze zu den Niederlanden, werden seit der Römerzeit verkieselte Quarzsandsteine als Werksteine abgebaut. Nach 1850 wechselte das Interesse zu den darunter lagernden, bis 60 m mächtigen Quarzsanden. Diese Sande entstanden ähnlich den Quarzsanden von Frechen, 60 km weiter östlich, sind aber überwiegend feiner und von schneeweiß bis graubrauner Färbung. Im Jahr 1904 wurde die immer noch familiengeführte Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH (Homepage: www.nivelstein.de) gegründet, die heute diese Sande im

Trockenen und Nassen abbaut. Aufbereitet erreichen die Sande bis zu 99,8 % SiO_2 und sind wichtige Rohstoffe für die Autoglasindustrie in Herzogenrath sowie die lokale und niederländische Bau-, Bauchemie- und Gießereiindustrie (Maschinen- und Fahrzeugbau).

Südöstlich von Offenbach am Main, am westlichen Stadtrand von Rodgau, liegt eines der drei Kieswerke der Kaspar Weiss GmbH & Co. KG (Homepage: www.kieswerke-weiss.de) mit Sitz in Goldbach bei Aschaffenburg. Bei Rodgau baut dieses Unternehmen mittels Schwimmgreifer seit mehreren Jahrzehnten eiszeitlich abgelagerte Kiessande des Mains ab. Während ein Großteil der Kiese und Sande in der Transportbetonindustrie Verwendung findet, ist der Rodgauer Sand schon von Natur aus sehr hell und quarzreich (95 – 96 % SiO_2). Zugleich enthält er geringe Mengen an Kalifeldspat, der ihn für die Glasherstellung besonders interessant macht. So werden aus dem Rodgauer Sand zum Beispiel die braunen Maggflaschen hergestellt. Weitere Absatzbereiche des Rodgauer Quarzsandes liegen in der Baustoffproduktion, der Wasseraufbereitung sowie dem Spiel- und Sportstättenbau.

Während der letzten Eiszeit zu Uferdünen am Ur-Main zusammengeblasener und deswegen gut klassierter Fein- bis Mittelsand stellt bei Raunheim, westlich Frankfurt a. M., das Abbauziel der Gebrüder Willersinn Industriesandwerk GmbH & Co. KG, eine Beteiligung der Dreher Firmengruppe (Homepage: www.dreher-bau.de), dar. Der Raunheimer Quarzsand (96 % SiO_2) wird mittels Schwimmgreifer gewonnen und findet nach Aufbereitung mit bis zu 98 % SiO_2 Verwendung weit vorwiegend in der regionalen Bauwirtschaft, aber auch in der Baustoffproduktion, als Füller in Farben, dem Brunnen-, Golf- oder Sportplatzbau sowie der Produktion von Glaswolle.

Wenige Kilometer östlich, in Kelsterbach, vertreibt seit 1978 auch die Industriesandwerk Robert Hardt GmbH & Co. KG (Homepage: www.industriesandwerk.de) Quarzsande für zahlreiche Industrieanwendungen. Die von dieser Firma klassierten und feuergetrockneten Sande führen durchschnittlich 94 % SiO_2 und stammen vor allem aus dem Kieswerk Langen der Sehring Sand & Kies GmbH & Co. KG.



Die Kaspar Weiss GmbH & Co. KG gewinnt mittels Schwimmgreifer am Stadtrand von Rodgau quarzreiche Kiessande eines früheren Mains, Foto: BGR.



Auch in Raunheim fördert ein Schwimmgreifer Sande für die Industriesandproduktion im angeschlossenen Quarzsandwerk, Foto: BGR.



Verladung von Quarzsand in einem Trockensandwerk, Foto: BGR.

Das gleiche Unternehmensziel verfolgt auch die alteingesessene Gebrüder Willersinn GmbH & Co. KG (Homepage: www.gebrueder-willersinn.de) im 70 km südlich gelegenen Ludwigshafen. Seit mehreren Jahrzehnten bereitet das Unternehmen Quarzsande aus pfälzisch-rheinheissischen Vorkommen zwischen Worms und Bad Dürkheim auf. Die dort gewonnenen Sande führen bis zu 98 % SiO_2 und werden nach Aufbereitung, Klassierung und Trocknung am Firmensitz in Ludwigshafen-Oggersheim in der Bauchemie, als Kern- und Formsande für Gießereien, zum Sportplatzbau (Golf, Reiten, Beachvolleyball) sowie in anderen Industrien eingesetzt.

Das Kieswerk Malsch liegt circa 10 km südlich von Karlsruhe. Betreiberin ist die Glaser Sand- und Kieswerke GmbH & Co. KG, die seit 2008 zur Holcim Kies und Beton GmbH (Homepage: www.holcim-sued.de) gehört, einem Unternehmen der Holcim (Süddeutschland) GmbH, Teil des weltweit größten Baustoffkonzerns LafargeHolcim Ltd. Der in Malsch mittels Saugbagger und Schwimmgreifer aus bis zu 40 m Tiefe aus den Rheinablagerungen geförderte Sand enthält im Mittel 92 – 93 % SiO_2 . In einem firmeneigenen Trockensandwerk wird dieser Sand getrocknet und findet sowohl feucht als auch getrocknet vielfältige Verwendungen in Industrie (Baustoff-, Bauchemie- und Farbglass-

industrie, als Füller für Farben und Lacke), Hobby und Sport.

Südlich des kleinen Dorfes Rengetsweiler, rund 10 km südlich von Sigmaringen, baut die Firma Emil Steidle GmbH & Co. KG aus Sigmaringen (Homepage: www.steidle.de) eines von Deutschland südlichsten Quarzsandvorkommen ab. Obwohl die 22 – 16 Mio. Jahre alten Sande eines damaligen Vorlandmeeres der Alpen nur ca. 80 % SiO_2 enthalten, können sie durch komplexe Aufbereitungsverfahren im Quarzsandwerk Rengetsweiler doch zu verkaufsfähigen einfachen Quarzsanden aufbereitet werden. Ähnliches gilt für rund 220 Mio. Jahre alte mürbe Stubensandsteine, die in Brittheim, einem Stadtteil von Rosenfeld im Zollernalbkreis, ebenfalls durch die Firma Steidle abgebaut werden. Im nahegelegenen Quarzsandwerk Krauchenwies werden die Quarzsande aus Rengetsweiler und Brittheim in weiteren Aufbereitungsstufen zu hochwertigeren Quarzsanden mit bis zu 97 % SiO_2 weiterveredelt und zum Teil auch getrocknet bzw. abgesackt. Sowohl in der Glas-, Baustoff- und Bauindustrie wie auch im Bereich Sport-, Reit- und Golfplatzbau sind diese Quarzsande seit Jahrzehnten bekannt. Sie finden Absatz im südlichen Baden-Württemberg, im Südwesten Bayerns, aber auch in Vorarlberg, Tirol und der ganzen Schweiz.

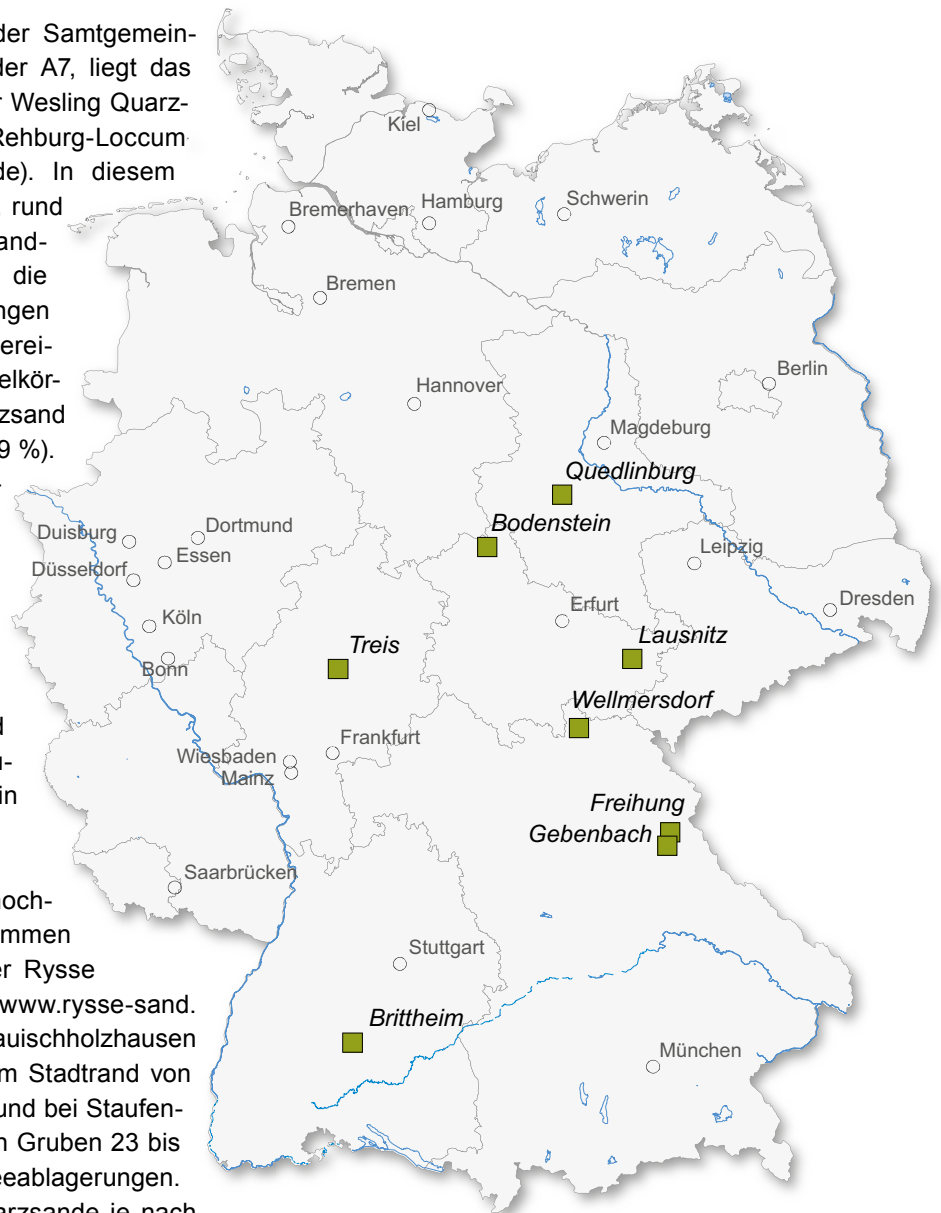


Überblick über das Kieswerk Malsch, Foto: Holcim (Süddeutschland) GmbH (mit frdl. Genehmigung).

4.4 Quarzsandstein

Nördlich des Westharzes, in der Samtgemeinde Lutter-Wallmoden, unweit der A7, liegt das Quarzsandwerk Bodenstein der Wesling Quarzsand GmbH & Co. KG aus Rehburg-Loccum (Homepage: www.fw-wesling.de). In diesem Gebiet stehen stark verwitterte, rund 110 Mio. Jahre alte Quarzsand(stein)e („Mürbsandsteine“) an, die unter anderem durch Sprengungen abgebaut werden. Nach Aufbereitung ergibt sich ein fein- bis mittelkörniger, weißer bis hellgelber Quarzsand mit hohem SiO_2 -Gehalt ($> 99\%$). Aufgrund seiner guten gießereitechnischen Eigenschaften wird er als Formstoff und zur Kernherstellung in Aluminium-, Stahl- und Eisengießereien sehr geschätzt. Weitere Verwendung findet der Quarzsand als Spiel-, Sportplatz- und Beachvolleyballsand, in der Bau- und Baustoffindustrie sowie in Kraftwerken.

Drei räumlich begrenzte, aber hochwertige Quarzsand(stein)vorkommen in Mittelhessen baut die Walter Rysse GmbH & Co. KG (Homepage: www.rysse-sand.de) aus Staufenberg ab. Bei Rauschholzhausen östlich Marburg ($99\% \text{SiO}_2$), am Stadtrand von Homberg (Ohm) ($> 98\% \text{SiO}_2$) und bei Staufenberg-Treis gewinnt sie in kleinen Gruben 23 bis 20 Mio. Jahre alte Fluß- und Seeablagerungen. Am Standort Treis, wo die Quarzsande je nach Kundenwunsch aufbereitet werden, liegt der Sand größtenteils als Mürbsandstein vor und enthält zudem ca. $9\% \text{Al}_2\text{O}_3$ aus Kaolinablagerungen (sog. Klebsand). Die Firma Rysse stellt verschiedene Naturbaustoffe her und beliefert mit Quarzsanden Reitsportanlagen, aber auch die Feuerfest- und keramische Industrie.



Abbaustellen von als Industriemineral genutztem Quarzsandstein in Deutschland, Karte: BGR.



Blick in die Quarzsandsteingrube Bodenstein der Wesling Quarzsand GmbH & Co. KG, Foto: BGR.



Blick in die (Mürb)Sand(stein)grube Treis der Walter Rysse GmbH & Co. KG, Foto: BGR.



Abbauwand in einer Quarzsandgrube der Strobel Quarzsand GmbH, Foto: BGR.



Blick in die Sandgrube Lausnitz in Thüringen, Foto: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (mit frdl. Genehmigung).



Abbauwand im Quarzsandwerk Wellmersdorf der Quarzsandwerk Wellmersdorf GmbH & Co. KG, Foto: BGR.



Im Jahr 2006 eröffnete die WOLFF & MÜLLER Baustoffe GmbH (Homepage: www.wm-baustoffe.de) eines der modernsten Quarzsandwerke Deutschlands bei Quedlinburg im nordöstlichen Vorharz. Im Jahr 2012 folgte die Inbetriebnahme eines zweiten Trockenwerkes. Die Lagerstätte in Quedlinburg wird von rund 50 m mächtigen, feinkörnigen „Mürbsandsteinen“ gebildet. Der heutige Sandstein lagerte sich in einem Flachmeer ab, das in diesem Raum vor 87 Mio. Jahren existierte. Der in Quedlinburg in einer Menge von jährlich 400.000 t produzierte Quarzsand enthält im aufbereiteten Zustand 99,7 % SiO_2 und wird vornehmlich in Gießereien und in der Bauchemie eingesetzt.

Von der Quarzsandwerk Wellmersdorf GmbH & Co. KG (Homepage: www.quarzsande.com), einem Unternehmen der internationalen CEMEX-Gruppe, werden südlich Neustadt bei Coburg in Oberfranken seit 1969 rund 249 Mio. Jahre alte, aber sehr mürbe Quarzsandsteine abgebaut. Diese Quarzsand(stein)e bestehen aus rund 70 % Quarz und 30 % Kalifeldspat. Die Beimengung von Kalifeldspat im Quarzsand ist ideal für die Porzellan- und Glasherstellung, da mit dem Feldspat andere benötigte, sonst teuer zu beschaffende Rohstoffe substituiert werden können. Die Wellmersdorfer Quarzsande finden daher in einer Menge von rund 250.000 t jährlich neben der Bau- und Baustoffindustrie sowie dem Sportstättenbau

vor allem auch in der Farbglasindustrie Verwendung.

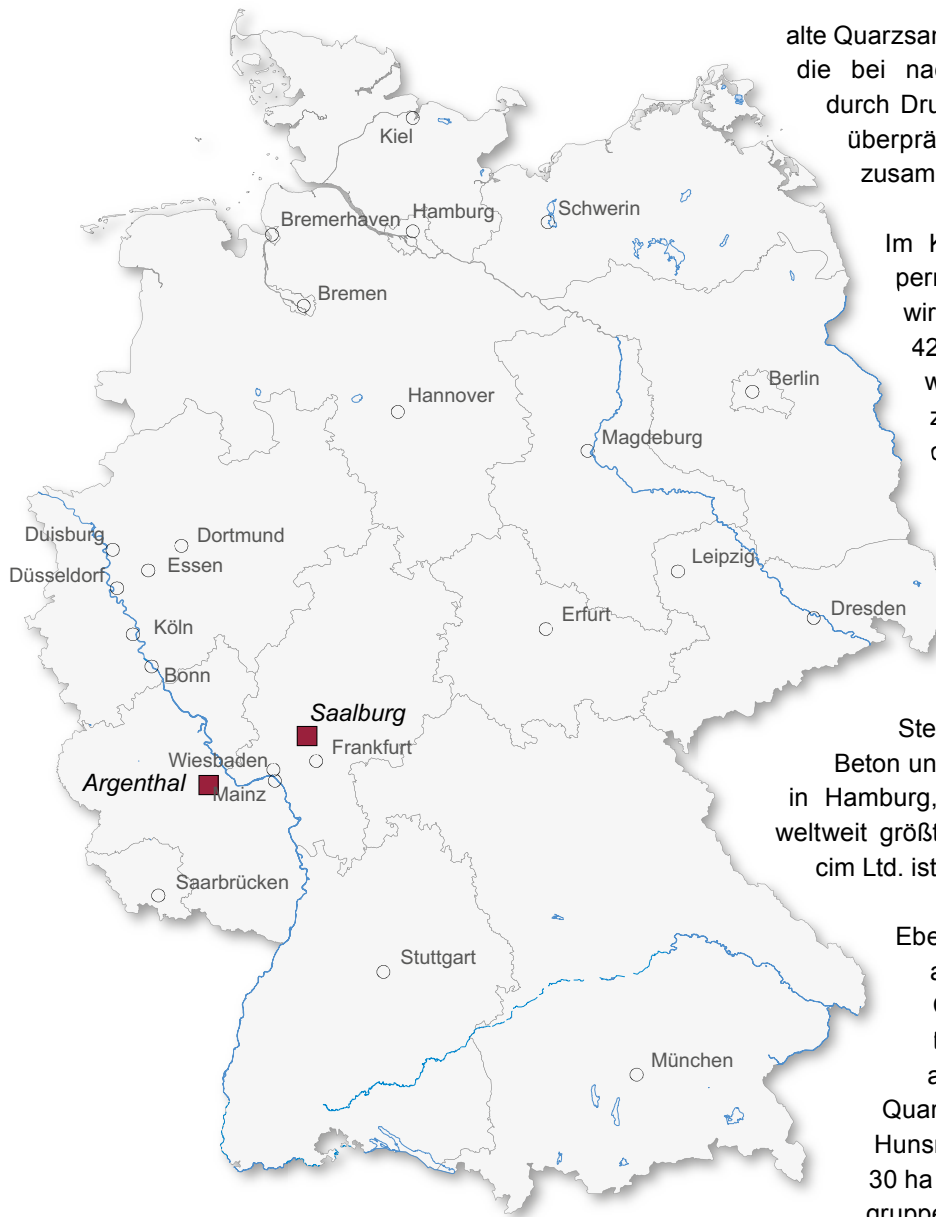
Der Gewinnungs- und Aufbereitungsbetrieb der Firma Strobel Quarzsand GmbH (Homepage: www.strobel-quarzsand.de) befindet sich in Freihung in der Oberpfalz, ca. 80 km nordöstlich von Nürnberg. Hier baut der etablierte Familienbetrieb seit 1876 und in mittlerweile bis zu sieben Gruben jährlich ca. 730.000 t rund 171 Mio. Jahre alte, aber sehr stark aufgelockerte Quarzsandsteine mit Gehalten von 97 – 98 % SiO_2 ab. Diese werden bis zu 30 m mächtig, lagern aber auch unter bis zu 35 m Überdeckung. In einem hochmodernen Quarzwerk werden daraus Quarzsande für die Bau- und bauchemische Industrie, für Gießereien sowie die Glas- und Freizeitindustrie produziert.

Eine weitere Lieferquelle von eisenarmem und zugleich Feldspat reichem Quarzsand bzw. mürbem Quarzsandstein für die Weißglasindustrie ist die Sandgrube Lausnitz in Thüringen. Hier sind helle Sandsteine eines ehemaligen mitteleuropäischen Binnensees von vor 251 Mio. Jahren aufgeschlossen. Eigentümer der Sandgrube ist der Fuhrunternehmer Jörg Zoller in Nimritz/Thüringen (Homepage: www.zoller-trans.de/Sandgrube-Lausnitz). Seit vielen Jahren verkauft er einen Teil seiner Sande an ein etabliertes Quarzsandwerk, das diese aufbereitet und dann einem Glaswerk liefert.



Quarzsandgewinnung im Quarzsand(stein)werk Quedlinburg der WOLFF & MÜLLER Baustoffe GmbH, Foto: BGR.

4.5 Quarzit



alte Quarzsande eines tropischen Ur-Meeres, die bei nachfolgenden Gebirgsbildungen durch Druck und Temperatur metamorph überprägt, d. h. zu einem Felsquarzit zusammengeschweißt wurden.

Im Köpperner Tal, zwischen Köppern und Wehrheim im Hochtaunus, wird seit 1899 und auf mittlerweile 42 Hektar Fläche dieser ungewöhnlich harte und reine Quarzit abgebaut. Inzwischen besitzt der dortige Steinbruch Saalburg bis zu 150 m hohe Wände und liefert jährlich 700.000 t Quarzitedelsplitt, der jede Woche durch zwei Sprengungen auf mittlerweile elf Abbau-sohlen gewonnen werden muss. Eigentümerin des Steinbruchs ist seit 2015 die Holcim Beton und Zuschlagstoffe GmbH mit Sitz in Hamburg, deren Muttergesellschaft der weltweit größte Baustoffkonzern LafargeHolcim Ltd. ist.

Ebenfalls Taunus-Quarzit baut die argenthaler steinbruch GmbH & Co. KG, ein Unternehmen der thomas gruppe aus Simmern ab. Der ebenfalls sehr große Quarzitsteinbruch Argenthal liegt im Hunsrück, erstreckt sich über rund 30 ha und gehört seit 1985 zur thomas gruppe. Hier liegt die Jahresproduktion bei bis zu 400.000 t Quarzit.

Abbaustellen von als Industriemineral genutztem Quarzit in Deutschland, Karte: BGR.

Quarzitvorkommen sind in Deutschland weit verbreitet. Der Quarzit ist jedoch weit überwiegend nicht ausreichend rein, dafür sehr hart und findet daher bevorzugt als Schotter und Edelsplitt im Gleiswege- und Straßenbau sowie als Beton- oder Asphaltzuschlag Verwendung.

Als hochwertigster Quarzit in Deutschland gilt der Taunus-Quarzit mit 94 – 98 % SiO₂. Beim Taunus-Quarzit handelt es sich um rund 400 Mio. Jahre

Hauptabnehmer sowohl des Saalburger als auch des Argenthaler Quarzits ist die Bauindustrie. In geringen Mengen beliefern beide Steinbrüche aber auch die Feuerfestindustrie, die hieraus hitzebeständige Schamotten (feuerfeste Steine und Ausmauerungen) fertigt. Zunehmend fällt im Steinbruch Saalburg bei der Aufbereitung zudem sehr viel hochwertiger Quarzsand mit durchschnittlich 98 % SiO₂ an. Für welche Industrieanwendungen sich dieser Quarzsand eignen könnte, wird gegenwärtig geprüft.



Blick in den Quarzitsteinbruch Saalburg im Hochtaurus, Foto: BGR.



Abbau von Taunus-Quarzit im Quarzitsteinbruch Argenthal im Hunsrück, Foto: argenthaler steinbruch GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).

4.6 Kieselgur



Nachdem die letzten beiden der ehemals zahlreichen Abbaustellen von Kieselgur in der Lüneburger Heide aufgrund von Umweltschutzaufgaben unrentabel und 1994 geschlossen wurden, existiert seitdem nun nur noch ein Kieselgurabbau in Deutschland. Dieser liegt östlich Klieken, zwischen den Städten Roßlau und Coswig in Anhalt. Seit 1995 gewinnt hier die Röder Kieselgur Klieken GmbH (Homepage: www.roeder-kieselgur.de) diesen Rohstoff. Milliarden und Abermilliarden von Kieselalgenschalen sind in Klieken zu Kieselgurschichten von zusammen maximal 20 m Mächtigkeit zusammengepresst. Die Kieselalgen lebten in einem sehr sauberen See, der während der vorletzten Warmzeit, der Holstein-Warmzeit, hier vor rund 320.000 Jahren existierte.

Die Kieselgur in Klieken wird nur alle paar Jahre kampagnenweise abgebaut und muss dann vor ihrer weiteren Nutzung erst einmal trocknen.

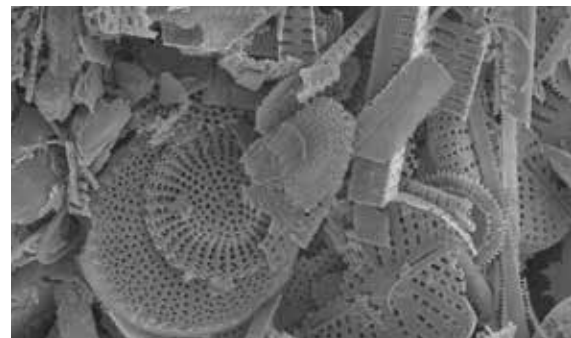
Sie findet Verwendung als:

- substratverbessernder Zusatz für Baumschulen und Neuanpflanzungen
- bodenverbessernder Zusatz in Ackerböden der Biolandwirtschaft
- getrocknet und aufgemahlen als ökologisches Biozid
- Filtersubstanz für Rapsöl
- Fließhilfsmittel für Futtermittel
- wärmedämmender Zusatz in Ziegelsteinen

Abbaustellen von Kieselgur in Deutschland, Karte: BGR.



Abbauwand in der Kieselgurgrube Klieken, Foto: BGR.



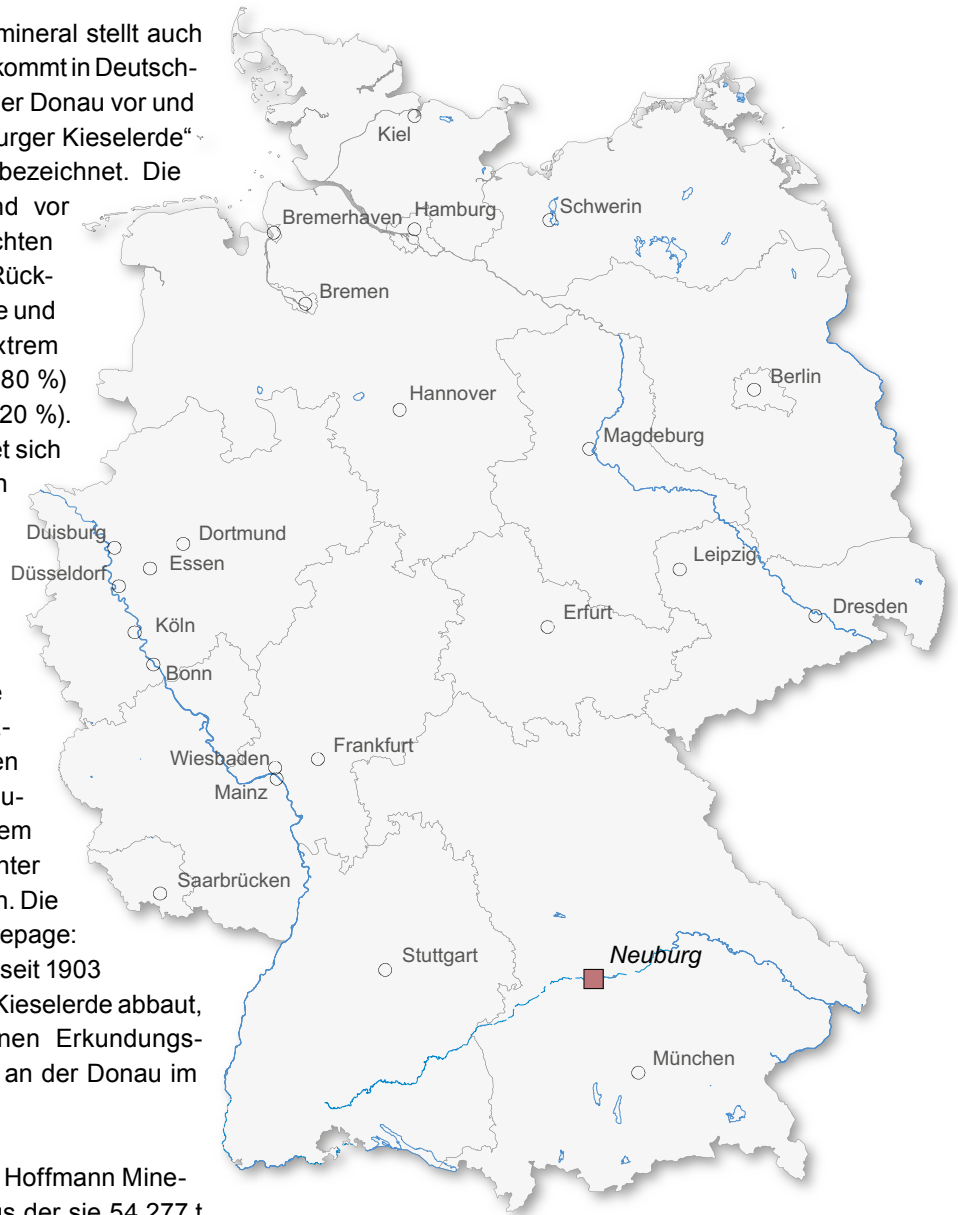
Rasterelektronenmikroskopaufnahme von Kieselalgen (Kieselgur) aus einer Bohrung in der Lüneburger Heide, Foto: BGR.

4.7 Kieselerde

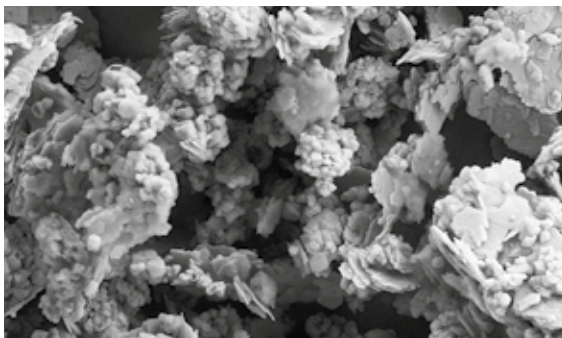
Ein ganz besonderes Industriemineral stellt auch Kieselerde dar. Dieser Rohstoff kommt in Deutschland nur im Raum Neuburg an der Donau vor und wird deswegen auch als „Neuburger Kieselerde“ oder "Neuburger Kieselweiß" bezeichnet. Die Neuburger Kieselerde entstand vor 95 Mio. Jahren in flachen Buchten eines tropischen Meeres aus Rückständen verkieselter Schwämme und Schlamm. Sie besteht aus extrem feinkörniger Kieselsäure (ca. 80 %) sowie Kaolinitpartikeln (ca. 20 %). Diese Kieselsäure unterscheidet sich deutlich von Quarz und anderen kristallinen SiO_2 -Modifikationen.

Nur in durch Verkarstung entstandenen Eintiefungen auf der Albhochfläche blieb die Kieselerde lokal vor der Abtragung verschont. Die einzelnen Vorkommen sind sehr kleinräumig, liegen teils unter mächtigem Abraum und sind daher nur unter hohem Kostenaufwand zu finden. Die Hoffmann Mineral GmbH (Homepage: www.hoffmann-mineral.de), die seit 1903 und heute als einzige Firma die Kieselerde abbaut, beschäftigt daher einen eigenen Erkundungstrupp, der ständig um Neuburg an der Donau im Einsatz ist.

Im Jahr 2014 gewann die Firma Hoffmann Mineral 146.299 t Rohkieselerde, aus der sie 54.277 t Kieselerde herstellen konnte.



Abbaustellen von Kieselerde in Deutschland, Karte: BGR.



Rasterelektronenmikroskopaufnahme von Neuburger Kieselerde, Foto: Hoffmann Mineral GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Rund die Hälfte der Produktion wird exportiert. Die bei der Aufbereitung anfallenden hochreinen, sehr feinen Waschsande werden heute nur für die Herstellung von Kalksandsteinen, früher auch bei der Produktion von Feuerfeststeinen und in keramischen Massen genutzt.



Abbaustelle von Neuburger Kieselerte der Hoffmann Mineral GmbH, Foto: BGR.



Abbaustelle von Neuburger Kieselerte, Foto: Hoffmann Mineral GmbH (mit frdl. Genehmigung).

5



Wertschöpfung in der
weiterverarbeitenden Industrie

Hochwertige und in zunehmend hoher Reinheit nachgefragte Quarze, Quarzsande, Quarzkiese und Quarzite aus heimischen Lagerstätten sind in der deutschen Industrie begehrte und unverzichtbare Rohstoffe. Anhand von vier großen Industriezweigen, deren Produktion ohne Quarzrohstoffe zum Erliegen kommen würde, soll die nachgelagerte Wertschöpfung in Deutschland beispielhaft geschildert werden. Der Siliziumindustrie ist danach ein eigenes Kapitel gewidmet.

Wasserwirtschaft

Trinkwasser ist weltweit das kostbarste Lebensmittel und sein Schutz unverzichtbar. Es kann nicht ersetzt werden. In Deutschland wird die Trinkwasserqualität vom Schutz der Wasservorkommen bis zur Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung durch zahlreiche Gesetze und Normen streng reglementiert. Auch ein Großteil der deutschen Industrie, darunter die gesamte Lebensmittel- und Getränkeindustrie, ist auf die konstante Verfügbarkeit von stets ausreichend sauberem Wasser unabdingbar angewiesen.

Zur Trinkwassergewinnung und -aufbereitung werden Quarzkiese und Quarzsande verwendet, an die höchste Anforderungen gestellt werden. Die technischen Anforderungen an Quarzsande und -kiese zur Aufbereitung von Trinkwasser sind in DIN EN 12904 festgelegt. Analog werden die Anforderungen an Quarzkiese und Quarzsande für die Aufbereitung von Schwimm- und Badebckenwasser in DIN EN 15798 beschrieben und die für den Brunnenbau in DIN 4924.

In den meisten Wasserwerken Deutschlands werden Eisen, Mangan und ein Großteil der Trübstoffe im Rohwasser durch eine Einschichtfiltration mit Quarzsand entfernt. Alternativ werden Sande in Kombinationen mit anderen Filtrationsmaterialien wie z. B. Quarzsand-Bims, Quarzsand-Anthrazit und anderen Varianten eingesetzt. Die Standzeit dieser Filtermaterialien ist sehr lang. Verluste von Filtermaterialien, die z. B. beim Spülen der Filter auftreten können, werden regelmäßig aufgefüllt. Ein kompletter Austausch findet selten statt; Standzeiten von mehreren Jahrzehnten sind üblich. Die Menge der jährlich in Deutschland in Wasserwerken verbrauchten Quarzsande und -kiese ist vermutlich hoch, doch liegen genaue Zahlen leider nicht vor. Nach Erhebungen des Statistischen Bundesamtes existierten in Deutschland im Jahr 2013 insgesamt 4.532 öffentliche Wasserversorgungsunternehmen. Diese beschäftigten rund 36.000 Mitarbeiter und erwirtschafteten einen Umsatz von 10,2 Mrd. €. Die öffentlichen Wasserversorger gewannen im Jahr 2013 fast 5,1 Mrd. m³ Trinkwasser aus 15.964 Gewinnungsanlagen, davon zu rund 61 % Grundwasser aus 10.790 Gewinnungsanlagen.

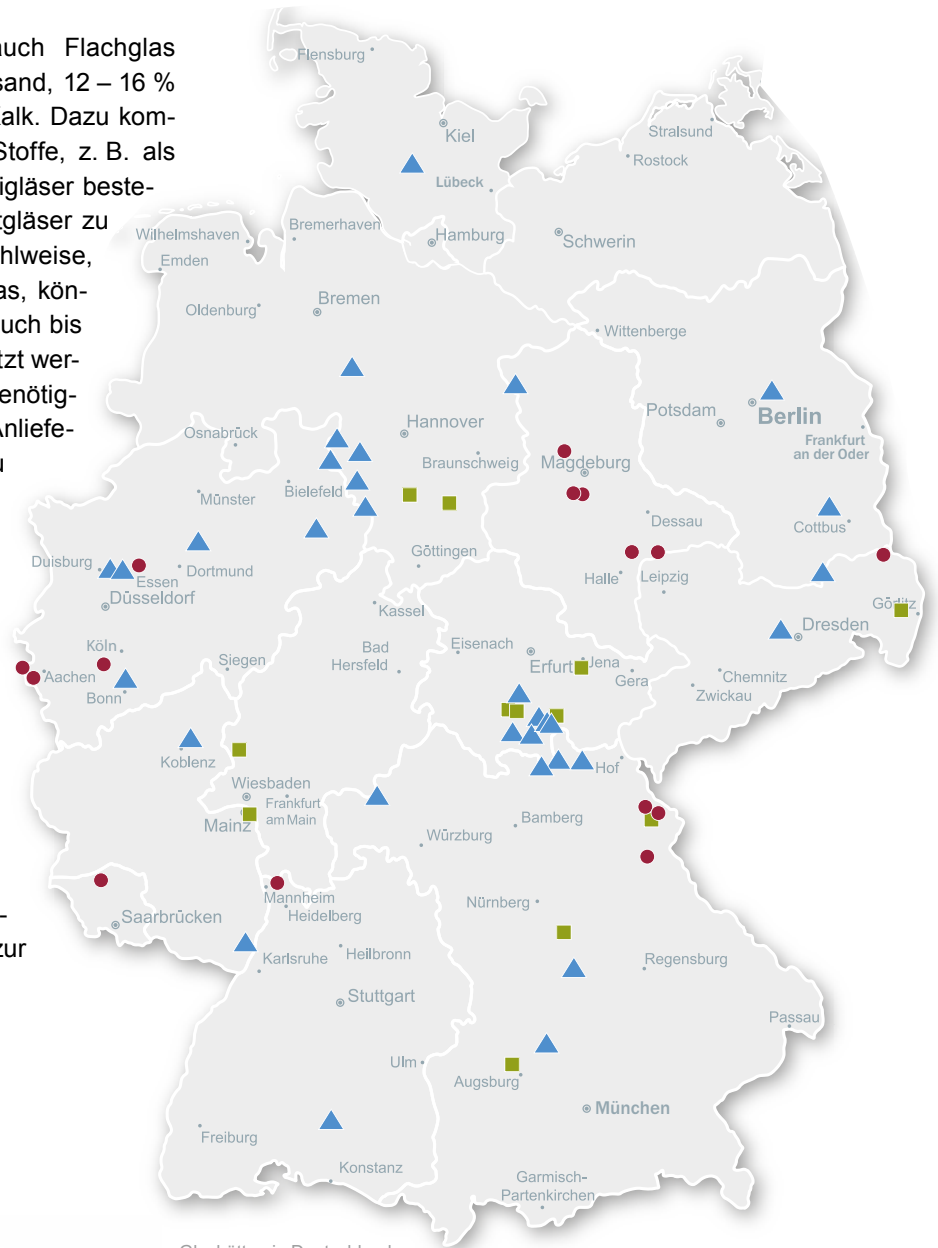
Die deutsche Industrie deckt dagegen 94 % ihres Wasserbedarfs durch Eigenförderung und benötigt ca. 28 Mrd. m³ Wasser pro Jahr. Nur 8 % ihres eigengeforderten Wassers stammt aus Grundwassergewinnungsanlagen, die Mehrheit dagegen aus Oberflächenwasser. Über 92 % des von der Industrie genutzten Wassers wird zur Kühlung benötigt.



Sogenannter Langsandsandfilter, bei dem Oberflächenwasser durch Halterner Quarzsande in den Untergrund infiltriert und später durch Brunnen als (schon vorgereinigtes) Rohwasser wieder gefördert wird, Foto: DVGW e.V. (mit frdl. Genehmigung).

Glasindustrie

Typisches Behälterglas oder auch Flachglas besteht zu 71 – 75 % aus Quarzsand, 12 – 16 % aus Soda und zu 8 – 11 % aus Kalk. Dazu kommen wenige Prozente anderer Stoffe, z. B. als Flussmittel oder zum Färben. Bleigläser bestehen zu 58 – 62 % und Borosilikatgläser zu 70 – 80 % aus Quarzsand. Wahlweise, besonders für grünes Behälterglas, können statt dieser Primärrohstoffe auch bis zu 90 % Altglasscherben eingesetzt werden. Die für die Glasproduktion benötigten Rohstoffe werden nach der Anlieferung in Silos gelagert, von dort zu einer Waage transportiert und entsprechend der späteren Glaszusammensetzung portioniert. Anschließend wird das Gemenge in Mischer gegeben, dort möglichst gleichmäßig vermischt und schließlich über Fließbänder oder in Kübeln zur Glasschmelzwanne transportiert. Im Glasschmelzofen wird das Gemenge auf Temperaturen von über 1.400 °C aufgeheizt. Dabei verbinden sich die Bestandteile der eingesetzten Rohstoffe zur Glasschmelze.

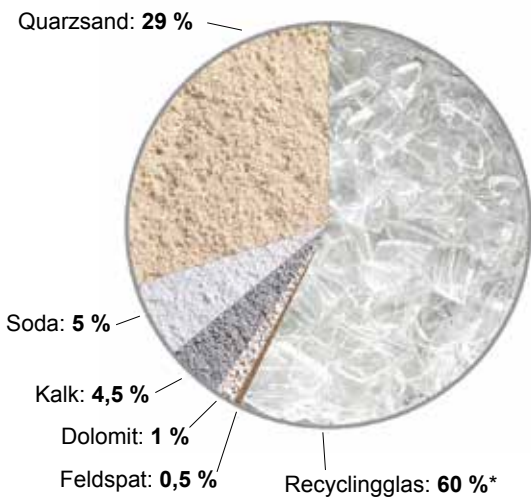


Glashütten in Deutschland

- ▲ Behälterglasindustrie
- Flachglasindustrie
- Gebrauchs- und Spezialglasindustrie

Standorte der deutschen Glashütten nach Informationen des Bundesverbandes Glasindustrie e. V., Karte: BGR.

Rohstoffanteile Behälterglas



* Durchschnittswert. Der Anteil an Recyclingglas kann z. B. bei Grünglas bis zu 90 % betragen.

Quarzsand in einer Menge von jährlich rund 2,7 Mio. t wird in Deutschland in 58 Glashütten, davon 31 Hütten der Behälterglasindustrie, 15 Hütten der Flachglasindustrie und zwölf Hütten der Gebrauchs- und Spezialglasindustrie eingesetzt. In fast allen Hütten werden weiße und farbige, in vier Hütten nur Farbgläser produziert.

Die deutsche Glasindustrie beschäftigte im Jahr 2014 in 406 Betrieben 53.060 Mitarbeiter, die 7,48 Mio. t Glas (und Steinwolle) im Wert von 8,874 Mrd. € erzeugten. Die Exportquote lag bei 50,3 %.

Weitergehende und aktuelle Informationen: Bundesverband Glasindustrie e.V. (Homepage: www.bvglas.de).

Kunststoffindustrie (Fiberglas)

Glasfasern sind ein kostengünstiger aber dennoch hochwertiger Werkstoff zur Verstärkung von Kunststoffen. Wegen ihrer hohen Bruchdehnung und der elastischen Energieaufnahme sind sie die meistverwendeten Verstärkungsfasern für mechanisch und thermisch beanspruchte Faserverbundanwendungen.

Glasfaserverstärkter Kunststoff (sog. Fiberglas) kommt in Leichtbauteilen für die Luftfahrt (Rümpfe und Tragflächen von Segel- und Motorflugzeugen), Rotoren für Windenergieanlagen, Spielplatzrutschen, Sportgeräten (Boote, Bobschlitten) und vielen anderen Produkten zum Einsatz. In der Automobilindustrie werden Glasfasern zur Verstärkung von Kunststoffen, z. B. in Motorhauben, Kotflügeln, Scheinwerferspiegeln, Unterbodenschutzsystemen oder Innenraumverkleidungen, genutzt. Der Anteil der Glasfasern schwankt je nach Produkt sehr stark, liegt aber durchschnittlich bei 35 – 40 %.

Glasfasern werden aus einer Glasschmelze bei Temperaturen von 1.200 bis 1.500 °C im Düsenziehverfahren hergestellt. Dabei tropft das zähflüssige Glas durch ein Lochblech aus Platin. Die austretenden heißen Glasfäden werden mit hoher Geschwindigkeit mechanisch abgezogen und dabei auf Faserdurchmesser von 5 – 24 µm verstreckt. Direkt unterhalb der Ziehdüsen werden die Glasfasern mittels Wasserdampf abgekühlt, gebündelt und imprägniert, so dass sie beim wei-



Glasfasern – Grundlage der Fiberglasproduktion, Foto: Remux/Wikipedia.

teren Verarbeitungsprozess vor mechanischer Beschädigung geschützt sind. Für die Verwendung als Verstärkungsfasern in Kunststoffen werden die Glasfasern zu Garnen, Strängen, Vliesen oder Matten verarbeitet.

Im Jahr 2014 produzierten in Deutschland 44 Unternehmen rund 300.000 t Glasfasern und Waren daraus. Sie beschäftigten 3.878 Mitarbeiter und erwirtschafteten einen Umsatz von 910 Mio. €. Ihr Exportanteil lag bei 35 %.

Im gleichen Jahr produzierte Deutschland aus einem Teil dieser Glasfasern – die auch viele andere Verwendungszwecke haben – rund 200.000 t glasfaserverstärkte Kunststoffe und ist damit europäischer Marktführer. Über 2.000 Unternehmen aller Größenordnungen sind in Deutschland in der Produktion von Fiberglas tätig.

Weitergehende und aktuelle Informationen: Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. (Homepage: www.avk-tv.de).



Glasfaserverstärkte Kunststoffe sind das bevorzugte Material für Rotoren von Windkraftanlagen. Die Glasfasern wiederum werden aus hochwertigem Quarzsand hergestellt, Foto: © VRD – Fotolia.com

Gießereiindustrie

Die deutsche Gießereiindustrie benötigt Quarzsande zusammen mit verschiedenen Bindemitteln als Grundstoff zur Herstellung von Formen und Kernen. Der Gießereisand findet als Rohstoff Verwendung im Guss von Gusseisen, Stahl, Leichtmetallen (z. B. Aluminium) und Buntmetallen (z. B. Kupfer) bzw. deren Legierungen (z. B. Bronze oder Messing). Gegossen werden modernste Komponenten für die Automobilindustrie (57 %), den Maschinenbau (24 %), die Elektrotechnik (4 %), die Bauwirtschaft (4 %), die Luftfahrtindustrie, den Schiffbau, die Energiewirtschaft aber auch Kunstobjekte. Als Beispiel finden sich Gussteile in jedem Auto in Form von Getriebegehäuse, Wellen, Querlenker, Bremsscheiben, Motorblock, Krümmer und Schwenklager. Dazu kommen gegossene Strukturteile für die Karosserie.

Bundesweit gibt es etwa 600 Eisen-, Stahl-, Leichtmetall- und Buntmetallgießereien mit 80.000 Mitarbeitern. Diese setzen im Jahr rund 24 Mio. t Quarzsand (85 – 90 % davon werden ständig innerbetrieblich wieder aufbereitet und im Kreislauf gefahren) zur Herstellung von ca. 5,2 Mio. t Gusskomponenten ein und sind damit europaweit führend. Die deutschen Gießereien erwirtschafteten im Jahr 2014 einen Umsatz von 14 Mrd. €. Ihr Exportanteil lag bei 35 %.

Weitergehende und aktuelle Informationen: BDG-Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e.V. (Homepage: www.bdguss.de).



Chemisch oder mit Ton gebundene Gießform- und Kernteile auf Quarzsandbasis finden Einsatz in der Fertigung kleinerer Gussteile, Foto: Andreas Bednareck (mit frdl. Genehmigung).

6

Silizium

6.1 Grundlegendes

Silizium ist ein Halbleiter und ein Halbmetall, das in elementarer Form, aber auch in seinen unzähligen chemischen Verbindungen (Karbid, Dioxid, Nitrid, Silicide, Silikate, Halogenide, Silane, Silikone, Siloxane und viele andere) aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken ist.

Elementares Silizium findet in unterschiedlichen Reinheitsgraden Verwendung in der Metallurgie (Ferrosilizium, Aluminium-Silizium-Legierungen), der Chemie, der Photovoltaik (Solarzellen) und in der Mikroelektronik (Halbleiter, Computerchips). Demgemäß ist es in der Wirtschaft gebräuchlich, elementares Silizium anhand unterschiedlicher Reinheitsgrade zu klassifizieren. Man unterscheidet technisches bzw. Rohsilizium mit 98 – 99 % Reinheit und Reinstsilizium, welches für Anwendungen in der Photovoltaik eine Reinheit von mindestens 99,9999 % und in der Elektronik von mindestens 99,9999999 % aufweisen muss.

Silizium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element in der Erdkruste. Zusammen mit Sauerstoff bildet Silizium die Verbindung Siliziumdioxid, dessen kristalline Form Quarz ist. Ausgangsrohstoff für jede Produktion von Silizium ist dementsprechend immer Quarz, ein Mineral, das weltweit in allen Gesteinen zu finden ist.

Nun würde man beim Einschmelzen normaler Gesteine nur ein glühendes Magma erhalten, aber niemals Silizium. Hierfür benötigt man möglichst reine Quarzrohstoffe.

6.2 Ferrosilizium

Ferrosilizium ist eine Legierung aus Eisen mit 20 – 95 % (meist 50 – 75 %) Silizium. Es wird verwendet, um bei der Stahlherstellung Silizium hinzuzufügen, das durch seine hohe Reaktionsbereitschaft mit Sauerstoff als Desoxidationsmittel (Reduktionsmittel) wirkt. Dem Stahl können so metallische Verunreinigungen entzogen werden und er bricht dadurch nicht mehr so leicht. Auch ist Ferrosilizium Träger impfwirksamer Elemente wie Aluminium, Barium, Calcium, Mangan oder Seltene Erden, d. h. diese Elemente werden auf diese Weise in die Stahllegierung eingebracht. Noch wichtiger ist Ferrosilizium in der Herstellung von Gusseisen. Gusseisen mit Kugelgraphit enthält 2 – 3 % Silizium, das durch die Zugabe von Ferrosilizium in Vorlegierungen hinzugefügt wird.

Ferrosilizium wird ähnlich Rohsilizium hergestellt, siehe unten, doch wird der Schmelze feiner Stahlschrott hinzugefügt. Als Siliziumrohstoff werden Gangquarze oder Quarzite bevorzugt, die mindestens 98 % SiO_2 enthalten sollten. Auch sehr grobe Quarzkiese können eingesetzt werden. Für mögliche Verunreinigungen an Aluminium, Calcium und Titan bestehen Grenzwerte.



Die deutsche Stahl- und Eisenindustrie benötigt jährlich rund 200.000 t Ferrosilizium. Im Jahr 2014 wurden insgesamt 253.920 t Ferrosilizium mit einem Wert von 285,4 Mio. € größtenteils aus Norwegen, Polen und Frankreich nach Deutschland importiert und 75.122 t Ferrosilizium aus Deutschland exportiert.

In Deutschland existiert nur ein einziger Produzent von Ferrosilizium, die ASK Chemicals Metallurgy GmbH in Hart bei Unterneukirchen (Landkreis Altötting). Die ASK Chemicals Metallurgy GmbH produzierte im Jahr 2014 rund 20.000 t Ferrosilizium unterschiedlicher Zusammensetzung und nutzte dafür rund 23.000 t Quarz von verschiedenen deutschen Lieferanten als Rohstoff.

6.3 Rohsilizium

Rohsilizium (technisches Silizium) enthält mindestens 98,5 % Silizium sowie maximal 0,5 % Eisen, 0,5 % Aluminium und 0,3 % Calcium. Für einige Industrieanwendungen bestehen jedoch wesentlich höhere oder teils andere Anforderungen.

Große Mengen an Rohsilizium finden Verwendung in Legierungen mit Aluminium. Aluminium-Silizium-Legierungen mit ca. 12 % Silizium besitzen hervorragende Gießeigenschaften (Dünnflüssigkeit, geringe Schwindung) und haben eine hohe Festigkeit. Sie lassen sich im Allgemeinen gut schweißen und sind korrosionsbeständig, so dass sie zum Beispiel zum Guss von Motoren- oder Getriebegehäusen im Fahr- und Flugzeugbau eingesetzt werden.



Abstich von glutflüssigem Ferrosilizium bei der ASK Chemicals Metallurgy GmbH, Foto: BGR.

Im industriellen Maßstab wird Rohsilizium durch die Reduktion von Quarzrohstoffen (genauer Gangquarzen, Quarzkiesen oder Quarziten) mit Kohlenstoff (genauer Koks- und Holzkohle, Holz- oder Holzhackschnitzeln) in riesigen elektrischen Lichtbogenöfen bei rund 2.000 °C gewonnen. In der Schmelze sinkt das sich bildende schwere Silizium ab und kann so fortlaufend am Boden des Ofens abgetrennt bzw. abgestochen werden. Damit der Schmelz-Reduktionsprozess wirtschaftlich durchgeführt werden kann, muss der Quarzrohstoff in einer Korngröße zwischen ca. 16 – 100 mm vorliegen. Nur bei ausreichenden Hohlräumen im Rohquarz können diese von den entstehenden Gasen vollständig durchströmt werden. Geeignet sind also ausschließlich Quarzkiese oder Quarzsotter, während Quarzsand nicht eingesetzt werden kann.

Im Jahr 2014 wurden insgesamt 245.486 t Silizium mit einem Wert von 720,1 Mio. € größtenteils aus Norwegen, Frankreich, China und Brasilien nach Deutschland importiert und 72.954 t Silizium aus Deutschland exportiert.



Polysilizium für die Herstellung von Solarzellen, Foto: Wacker Chemie AG (mit frdl. Genehmigung).



Quarzkiese sind die wichtigsten Rohstoffe der Rohsiliziumproduktion bei der RW silicium GmbH, Foto: BGR.

In Deutschland existiert nur eine Siliziumhütte, die von der RW silicium GmbH, einer Tochtergesellschaft der niederländischen AMG Advanced Metallurgical Group N.V., in Pocking, südlich Passau, betrieben wird. RW silicium nutzt als Quarzrohstoffe sowohl Quarz aus dem Bayerischen Pfahl als auch Quarzkiese, die aus Quarzkiesgruben in Österreich und der Tschechischen Republik importiert werden. Geeignete Quarzrohstoffe müssen $> 99,5\% \text{ SiO}_2$, $< 0,30\% \text{ Al}_2\text{O}_3$, $< 0,05\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$ und $< 0,010\% \text{ TiO}_2$ enthalten. Im Jahr 2014 produzierte RW silicium aus 12.083 t Quarz und 85.638 t Quarzkiesen 29.253 t Rohsilizium, das zu rund 2/3 an die chemische Industrie und zu rund 1/3 an die Aluminiumindustrie verkauft wurde.

Bei der Produktion von Silizium fällt als Nebenprodukt auch sogenannter Kieselrauch an. In großen Filteranlagen wird dieser Stoff aus den Abgasen der Öfen abgetrennt und weiterverarbeitet. Diese, auch Mikrosilika genannte amorphe Kieselsäure, ist ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung feuerfester Massen. Weitere Anwendung findet es als Zuschlagstoff für feuerfeste Spezialbetone sowie als Bestandteil von Faserzement und Spachtelmassen. Aufgrund der Verunreinigungen der Ausgangsrohstoffe entsteht bei der Herstellung von Silizium wie in jedem Hüttenprozess zudem eine Schlacke. Aufgrund des hohen Anteils an Silizium wird diese Schlacke in Form von Briketts als Desoxidationsmittel in der Stahlerzeugung eingesetzt.

6.4 Solarsilizium

Rund 90 % der weltweit gefertigten Solarzellen bestehen aus Silizium. Für die Produktion dieser Solarzellen muss das Rohsilizium weiter zum Solarsilizium gereinigt werden. Das geschieht global überwiegend nach dem sogenannten Siemens-Verfahren. Da Reinigung im großtechnischen Maßstab am effizientesten durch Destillation zu erreichen ist, wird das Rohsilizium im ersten Schritt durch Umsetzung mit Chlorwasserstoff in flüssiges Trichlorsilan umgewandelt. Nach entsprechender Destillation wird das dann hochreine Trichlorsilan in einem Glockenreaktor bei hohen Temperaturen zersetzt, wobei sich hochreines Silizium abscheidet. Das entstehende Produkt ist polykristallin und wird kurz Polysilizium genannt.

Ein neueres Verfahren, welches das Potenzial hat, den Energieeinsatz bei der Herstellung von Reinstsilizium zu reduzieren, ist Zersetzung von

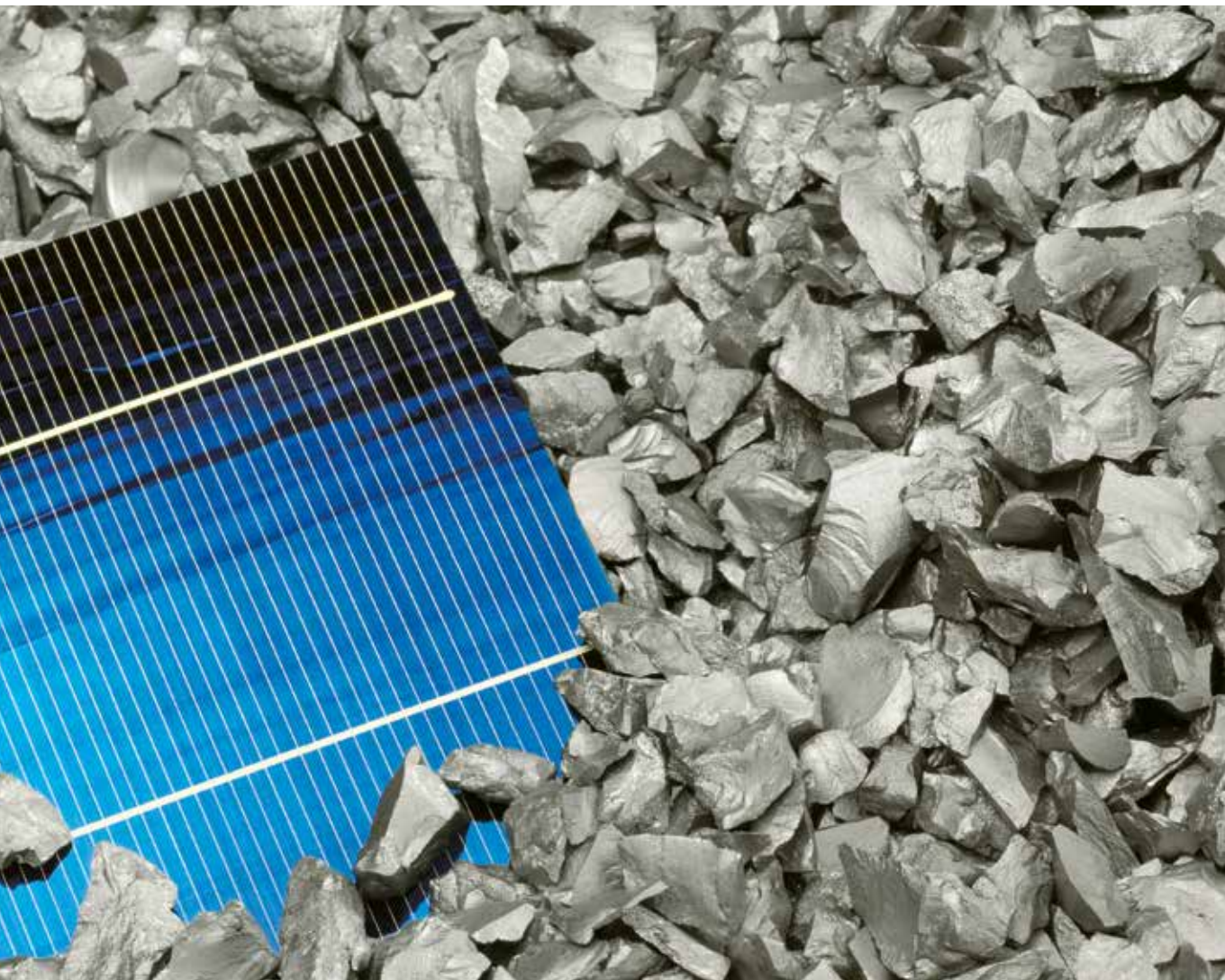


reinem Trichlorsilan oder auch Monosilan in einem Wirbelschichtreaktor anstelle des im Siemens-Verfahren verwendeten Glockenreaktors. Hierzu wirbeln in einem Reaktor winzige Siliziumkügelchen, an denen sich das Silizium aus dem Trichlorsilan oder Monosilan kontinuierlich abscheidet. Hierbei entsteht granulares Polysilizium.

Auf beiden Wegen erhält man Solarsilizium, das mindestens 99,9999 %, besser aber 99,99999 % Reinheit besitzt und für die Herstellung von Solarmodulen geeignet ist.

Der weltweit zweitgrößte Produzent von Polysilizium ist die Wacker Chemie AG mit Produktionsstandorten in Deutschland in Burghausen/Bayern und Nünchritz/Sachsen. Im Geschäftsjahr 2014 erwirtschaftete der Geschäftsbereich Wacker Polysilicon mit 2.093 Mitarbeitern einen Umsatz von 1,05 Mrd. €. Bei Vollaustattung wurden rund 51.000 t Polysilizium erzeugt.

Rohstoff und Produkt – aus Polysilizium (grau) werden Solarzellen gefertigt, Foto: Wacker Chemie AG (mit frdl. Genehmigung).



6.5 Halbleitersilizium



Reinstsiliziumstab, aus dem Reinstsiliziumscheiden für Halbleiter- und Mikroelektronikanwendungen gesägt werden, Foto: Wacker Chemie AG (mit frdl. Genehmigung).

Nur 10 % des weltweit produzierten Reinstsiliziums wird in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Im Reinstsilizium zur Herstellung von Halbleitern liegen die erlaubten Gesamtverunreinigungen im Fertigprodukt nur im ppt-Bereich. Das heißt, es darf nur deutlich weniger als ein schädliches Fremdatom auf einer Milliarde Teile Silizium vorkommen. Nur äußerst reine Quarzhrohstoffe können durch mehrmaliges Reinigen auf diese hohen Reinheitsgrade gebracht werden. Diese mehrfache Reinigung geschieht meist durch mehrmaliges Zonenschmelzen, bei dem mit Hilfe einer (ringförmigen) elektrischen Induktionsheizung eine Schmelzzone durch einen Siliziumstab gefahren wird. Hierbei löst sich ein Großteil der Verunreinigungen in der Schmelze und wandert zum Ende des Stabes mit.

Nach Abschluss der mehrfachen Reinigung verbleibt ein hochreines Silizium, das für die Herstellung aller gängigen Computerchips, Speicher, Transistoren etc. verwendet werden kann.



7

Quarzrohstoffe und
Naturschutz

Die negative Meinung, Sand- und Kiesabbau in Deutschland schädige die Umwelt, ist in Fachkreisen längst widerlegt. Schon vor Jahrzehnten stellten lokale Umweltschutzgruppen fest, dass es mit der vermeintlichen Umweltzerstörung in den deutschen Abbaubetrieben wohl doch nicht so schlimm stehen könne, wie zuvor vermutet.



*Ein Dünen-Sandlaufkäfer (*Cicindela hybrida*), eine in Deutschland geschützte Art, krabbelt im Quarzsandabbau Gambach, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).*



*Moorbärlapp (*Lycopodiella inundata*), eine vom Aussterben bedrohte Pflanzenart in Sachsen-Anhalt, hat sich im Quarzsandtagebau Möllensdorf wieder stark verbreitet, Foto: Quarzsand Nudersdorf GmbH (mit frdl. Genehmigung).*


Während durch die zunehmende Industrialisierung und Flächenversiegelung in Deutschland sowie die großflächige Landwirtschaft immer mehr Arten aus ihren ursprünglichen Lebensräumen verdrängt wurden, fanden zahlreiche seltene Arten in den Rohstoffgewinnungsbetrieben ideale Rückzugsräume.

Besonders in den nicht nach Plan künstlich rekultivierten Abschnitten alter Gruben wurden besonders viele dieser Arten entdeckt. Inzwischen verzichten daher praktisch alle Genehmigungsbehörden in Deutschland auf die Anordnung einer künstlichen Rekultivierung. Sie fordern vielmehr, die abgebauten Bereiche gar nicht mehr zu rekultivieren sondern der Natur zu überlassen. Oft führt dies jedoch zu Streitigkeiten mit anderen Interessengruppen, die ebenfalls alte Kiesgruben oder Baggerseen für sich nutzen möchten.

Entgegen einer weit verbreiteten Annahme sind Amphibien, Reptilien, Insekten und Vögel nicht lärmempfindlich. Sie brüten und nisten auch unter Förderbändern, in Schwimmbaggern und in Steinbruchwänden aktiver Betriebe. Da in der Regel nur der Mensch stört, finden sich besonders seltene Biotope fast ausschließlich in ehemaligen Rohstoffgewinnungsstellen, die häufig nicht betreten werden dürfen.

Nach den lokalen Umweltschutzgruppen haben inzwischen auch fast alle großen bundesweiten Naturschutzverbände ihren Frieden mit der deutschen Steine- und Erdenindustrie geschlossen (z. B. NABU 2010). Überall arbeiten sie mit den Rohstoffbetrieben vor Ort intensiv zusammen und können auf manche gemeinsame Erfolgsgeschichte zurückblicken. Dass heute vor allem in den alten Bundesländern engagierte Bürger trotzdem viele Rohstoffabbaubetriebe und jede Erweiterung vehement bekämpfen, ist ein neuartiges Phänomen, das aber meist nicht dem Naturschutz dient. Dem müssen sich inzwischen die meisten der dortigen Unternehmen stellen.

Bei fast allen Betrieben, die in dieser Broschüre aufgeführt sind, können interessierte Bürger Informationen zur Zusammenarbeit mit den Naturschutzverbänden vor Ort, Erfolgen im aktiven Umweltschutz und in den Gruben nachgewiesenen Arten erhalten.



8

Gibt es noch genug?



Trockensandlager im Kieswerk Malsch, Foto: Holcim (Süddeutschland) GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Sand ist nicht gleich Sand und Kies ist nicht gleich Kies!

Deutschland ist eines der bedeutendsten Industrieländer und damit auch einer der weltgrößten Verbraucher von mineralischen Rohstoffen und Energierohstoffen. Jeder nicht nachwachsende Rohstoff, den die deutsche Industrie benötigt, muss entweder aus Lagerstätten in Deutschland abgebaut, aus Recyclingmaterial zurückgewonnen oder aus dem Ausland importiert werden.

Die deutsche Bauindustrie kann in fast allen Regionen unseres Landes auf ausreichende Sand- und Kies- oder Natursteinvorkommen zurückgreifen. Wirtschaftlich abbaubare und vor allem hochwertige Lagerstätten von Quarzrohstoffen sind dagegen wesentlich seltener.

Aber auch an Quarzrohstoffen ist Deutschland mit ganz wenigen Ausnahmen so reich gesegnet, dass die Versorgung unserer Industrie noch für Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte gesichert ist. Rund 350.000 grenzüberschreitende Lkw-Fahrten oder wahlweise 2.000 Eisenbahngüterzugfahrten können jährlich eingespart werden, weil Deutschland selber ausreichende Mengen an Quarzrohstoffen produziert.

Können wir uns also beruhigt zurücklehnen, weil es genug Quarzsand- und -kieslagerstätten in Deutschland gibt? Nicht ganz, denn längst nicht auf alle diese Vorkommen kann die Rohstoffindustrie zurückgreifen. Zahlreiche konkurrierende Nutzungen, wie Wasserschutz-, Naturschutz-, Landschaftsschutz-, FFH-, Natura 2000- und andere Schutzgebiete und natürlich Wohnge-

bierte, Straßen und Eisenbahnlinien fordern auch ihre Berechtigung. Dazu will nicht jeder Land- und Forstwirt seine Nutzflächen zu wirtschaftlich darstellbaren Preisen verkaufen oder verpachten.

Unter diesen Beschränkungen, den bürokratischen Vorgaben und immer länger dauernden Antragsverfahren leidet die gesamte rohstoffgewinnende Industrie Deutschlands.

Die Gewinnungsbetriebe der Quarzrohstoffindustrie können zudem nicht einfach beliebig auf andere Flächen ausweichen, denn die Vorkommen an Quarzrohstoffen sind endlich, lokal begrenzt (standortgebunden) und die Rohstoffanforderungen hoch. So trifft es die Quarzrohstoffindustrie besonders hart, dass in einigen Regionen in den alten Bundesländern Bürger gegen diese Industrie vorgehen. Es wird argumentiert, dass schon zu lange und zu viele Rohstoffe abgebaut würden, aber dabei vergessen, dass die deutsche Industrie und wir alle Quarzrohstoffe benötigen und auf diese angewiesen sind. Wer will schon ohne sauberes Wasser, ohne Glasflaschen, ohne Fenster in seiner Wohnung, ohne Putzmittel, ohne Strom aus Windenergieanlagen und ohne Gegenstände aus Metall leben? Werden die dafür benötigten Rohstoffe nicht in Deutschland abgebaut und zwar dort, wo sie auch vorkommen, müssen sie im Ausland gefördert und von dort nach Deutschland exportiert werden.

Wer die aus Quarzrohstoffen hergestellten Produkte weiterhin nutzen möchte, muss auch zulassen, dass die Rohstoffe vor Ort abgebaut werden. Das Sankt-Florian-Prinzip ist kein zukunftsfähiges Modell für Deutschland und Europa.

9



Kleine komplizierte
Produktionsstatistik der Quarzrohstoffe

Laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) wurden, basierend auf Meldungen an die deutschen Bergämter, im Jahr 2014 in Deutschland durch 269 Betriebe 31.723.691 t Quarz, Quarz- und Quarzitsand gefördert. Diese Betriebe beschäftigten 1.402 Mitarbeiter. Hinzuzuzählen sind 22 Betriebe in Rheinland-Pfalz, Saarland und Sachsen, deren Produktionsmenge nicht veröffentlicht werden darf. Weitere 16 Betriebe förderten im gleichen Jahr mit 119 Mitarbeitern 2.994.469 t Quarzit.

Unter oben genannten Betrieben werden von den deutschen Bergämtern alle diejenigen Unternehmen zusammengefasst, die nachweisen konnten, dass sie über hochwertige Quarzrohstoffe verfügen, diese gewinnen könnten und damit genehmigungsrechtlich unter Bergrecht stehen. Aussagen über eine tatsächliche Nutzung der geförderten Rohstoffe sind damit nicht verbunden.

Deutlich näher an der wirklichen Höhe der Produktion an hochwertigem Quarzsand dürften die jährlichen Schätzungen bzw. Hochrechnungen des Bedarfs durch den Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V. (MIRO) aufgrund von Mitgliederbefragungen liegen. Danach lag der nachgefragte Bedarf an Quarzsand und -kies im Jahr 2014 in Deutschland bei ca. 9,9 Mio. t.

Das Bundesamt für Statistik erfasst nur Betriebe mit zehn oder mehr Beschäftigten. Im Jahr 2014 gab es danach 29 Unternehmen dieser Größe. Diese produzierten rund 7.836.000 t Quarzsand und -kies (inkl. Klebsand, Quarz- und Quarzitmehl).

Im Jahr 2014 wurden zudem 568.500 t Quarzsand und -kies (s. o.) nach Deutschland importiert und 1.968.600 t Quarzsand und -kies (s. o.) exportiert. Die Importe stammten zum größten Teil aus den Niederlanden (28 %), aus Belgien/Luxemburg (19 %) sowie aus Polen (17 %). Die Exporte gingen vornehmlich in die Niederlande (53 %), Belgien/Luxemburg (24 %) sowie die Schweiz (8 %).

Nach Recherchen für diese Broschüre gibt es in Deutschland derzeit an Gewinnungsunternehmen hochwertiger, als Industriemineral genutzter Quarzrohstoffe:

- drei Quarzproduzenten mit je einer Gewinnungsstelle
- fünf Quarzkiesproduzenten mit zusammen sechs Gewinnungsstellen
- 25 Quarzsand(stein)produzenten mit zusammen 41 Gewinnungsstellen
- zwei Quarzitproduzenten mit je einer Gewinnungsstelle
- je einen Kieselgur- und einen Kieselerdeproduzenten

Die Gesamtproduktion (für höherwertige Anwendungen) dieser Unternehmen lag im Jahr 2014 bei ca. 34.000 t Quarz, ca. 620.000 t Quarzkies, ca. 9,4 Mio. t Quarzsand, 0 t Kieselgur (letzte Förderung 2012) und 54.277 t verwertbare Kieselerde.

Dazu gibt es in Deutschland viele weitere Unternehmen, die nicht ganz so hochwertige Quarzrohstoffe abbauen. Sie beliefern mit ihren Produkten fast ausschließlich die regionale Bau- und Baustoffindustrie und finden zudem in der regionalen Spielplatz- und Sportstättenindustrie ihre Abnehmer.



Das Baggerschiff Sythen im Halterner Silbersee I bei Sonnenaufgang, Foto: Quarzwerke GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Erkundung von Quarzkiesen zur Verwendung in der Siliziumindustrie. 91 S., 73 Abb., 17 Tab.; Augsburg. – URL: [http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000040?SID=200993569&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:ifu_bod_00097,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF\)=Z](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000040?SID=200993569&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:ifu_bod_00097,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF)=Z) [Stand 29.10.2015].

BÖRNER, A., BORNHÖFT, E., HÄFNER, F., HUG-DIEHL, N., KLEEBERG, K., MANDL, J., NESTLER, A., POSCHLOD, K., RÖHLING, S., ROSENBERG, F., SCHÄFER, I., STEDINGK, K., THUM, H., WERNER, W. & WETZEL, E. (2012): Steine- und Erden-Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. – Geol. Jahrbuch, SD 10: 356 S., 212 Abb., 54 Tab.; Hannover.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2015): Bericht zur Rohstoffsituation in Deutschland 2014. – 161 S., 18 Abb., 78 Tab.; Hannover –URL: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Stand 06.01.2016].

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2015): Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 2014. – Bergwirtschaft und Statistik. – 66. Jahrgang 2015. –140 S., 21 Abb., 15 Tab., 4 Anh.; Berlin.– URL: <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=747128.html> [Stand 06.01.2016].

KIRNBAUER, T. (1995): Perspektivplan Sand und Kies im Limburger Becken. – Verbreitung, Nutzung, Nutzungskonflikte. – 59 S., 6 Abb., 2 Kt.; Wiesbaden (Archiv HLUG).

LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (1999): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 3: Quarzrohstoffe. – Geol. Jahrbuch, H 6: 119 S., 23 Abb., 69 Tab.; Hannover.

NABU – NATURSCHUTZBUND NIEDERSACHSEN E.V. (2010): Rohstoffnutzung in Niedersachsen. Gemeinsame Erklärung des Naturschutzbundes Niedersachsen e.V. (NABU) und des Wirtschaftsverbandes Baustoffe-Naturstein e.V. (WBN). 12 S., 20. Abb.; Hannover und Köln. – URL: https://niedersachsen.nabu.de/imperia/md/content/niedersachsen/resolutionen/rohstoffnutzung_gem_erkl__rung_klein.pdf.pdf [Stand 02.12.2015].

QUARZSAND NUDERSDORF GMBH (2014): Chronik. – 72 S., zahlr. Abb.; Nudersdorf.

QUARZWERKE GMBH (2009): Quarzwerke – Familienunternehmen seit 125 Jahren (1884 – 2009). – 97 S., zahlr. Abb.; Frechen.

WERNER, W., KIMMIG, B., LIEDTKE, M., KERSTEN, D., KLEINSCHNITZ, M., BRASSE, A. & TRAPP, C. (2006): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006. Gewinnung, Verbrauch und Sicherung von mineralischen Rohstoffen. – LGRB Rohstoffinformationen, 18: 202 S., 209 + 12 Abb., 15 Tab., 1 Kt; Feiburg.



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover

mineralische-rohstoffe@bgr.de
www.bgr.bund.de

ISBN: 978-3-943566-31-4 (Druckversion)
978-3-943566-32-1 (PDF)