

„Flecken, Verfärbungen, Imprägnierungen
und Rutschhemmung“ aus geologischer Sicht

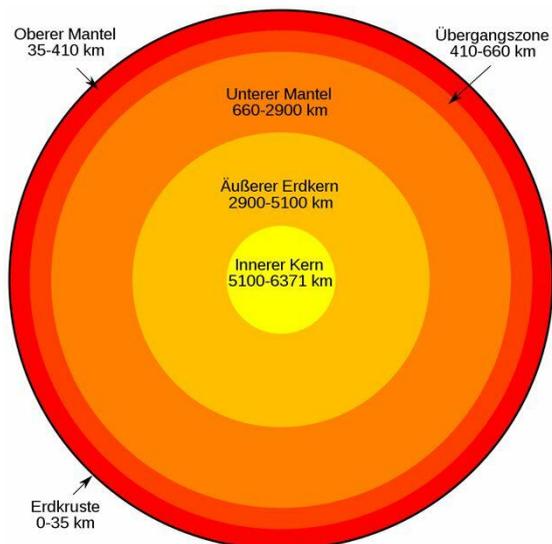
Dipl.-Geol. Dennis La Bouchardiere

la bouchardiere

beratungs- & sachverständigenbüro

1

Aufbau der Erde



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aufbau_der_Erde_schematisch.svg

2

Aufbau der Erde

Mineral "Bridgmanit"

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Distribution_of_Mid-Oceanic_Ridges.gif

Tenham-Meteorit (1879 Australien)

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/140618-bridgmanite-new-mineral-meteorite-geology-earth-science>

3

Aufbau der Erde

Kontinentale Kruste
Dicke ca. 30 km bis 60 km

Ozeanische Kruste
Dicke ca. 5 km bis 8 km

Bohrungen
KTB 9101 m
"Halbinsel Kola" 12.262 m

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Premiasp.png>

4

1912 Alfred Wegener

Plattentektonik

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8a/Plates_tect2_en.svg/800px-Plates_tect2_en.svg.png?20220829111721

5

Plattentektonik

Mittelozeanischer Rücken

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Distribution_of_Mid-Oceanic_Ridges.gif

6

Plattentektonik



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Premiasp.png>

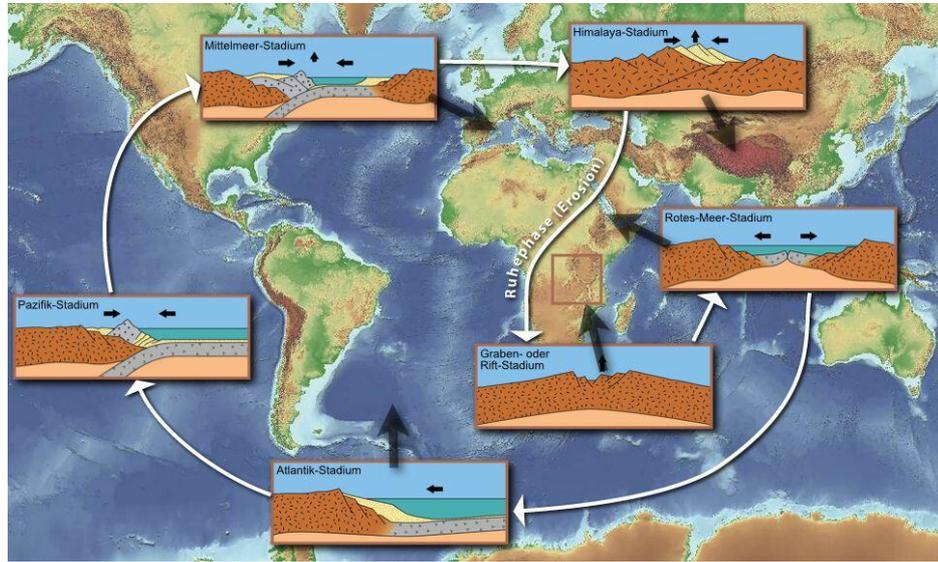
7

Paläogeographie

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fig2-5globes.gif>

8

Plattentektonik



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/ee/Wilson-stages_hg-de.png/800px-Wilson-stages_hg-de.png?20140623140708

Plattentektonik

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Pacific_Ring_of_Fire.svg/800px-Pacific_Ring_of_Fire.svg.png?20150320113052

Tektonische Provinzen Europas

Grundgebirgsprovinzen



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Tectonic_Map_of_Europe_noleg.jpg

11

Erdgeschichte

Geologische Zeitskala

https://de.wikipedia.org/wiki/Geologische_Zeitskala

12

Kreislauf der Gesteine

Kreislauf der Gesteine

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kreislauf_der_Gesteine_Geopark.jpg

13

Hauptgruppen der Gesteine

Hauptgruppe	Untergruppe	Gesteinstypen
Magmatite	Plutonite	Granite, Syenite, Diorite, Gabbros
	Hypabyssische Gesteine (Ganggesteine, Subvulkanite)	Dolerite, Aplite, Lamprophyre, Pegmatite
	Vulkanite	Rhyolithe, Trachyte, Andesite, Latite, Basalte
Sedimentgesteine	Klastische Sedimentite	Tongesteine, Sandsteine, Grauwacken, Arkosen, Konglomerate
	Chemische Sedimentite	Chemisch gefällte Kalksteine, Salzgesteine, Gipse etc.
	Biogene Sedimentite	Organogene Kalke, Kohlen etc.
Metamorphite	Kontaktmetamorphite	Fruchtschiefer, bestimmte Ophicalcite, Marmore
	Regionalmetamorphite	Gneise, Glimmerschiefer, Tonschiefer, Migmatite, Marmore etc.

14

Plutonismus und Vulkanismus

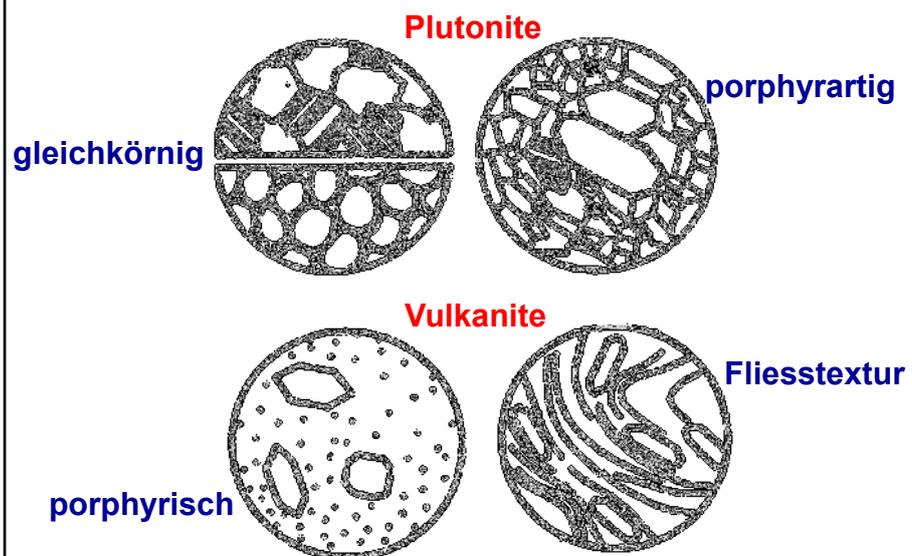
Basic types of igneous intrusions:

1. Laccolith 2. Small dike 3. Batholith 4. Dike 5. Sill 6. Volcanic neck and pipe 7. Lopolith.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/66/Intrusion_types.svg/560px-Intrusion_types.svg.png?20090709122418

15

Struktur und Textur



16

Struktur (kristallin)

SiO₂ Kristall

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SiO%C2%B2_Quartz.svg

17

Struktur (kristallin)

Quarz

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Quartz_Br%C3%A9sil.jpg

18

Plutonit (Granit)

19

Plutonit (Granit)

Bildbreite ca. 1 cm

20

Struktur (amorph)

SiO₂ Glas

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Silica.svg>

21

Struktur (amorph)

Moldavit

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Moldavite_Besednice.jpg

22

Vulkanit (Tephrit)

23

Vulkanit (Tephrit)

Bildbreite ca. 1 cm

24

Wichtige Mineralgruppen

Silikate

Insel-, Gruppen-, Ring-, Ketten- u. Doppelketten-, Schicht- u. Gerüstsilikate

Carbonate

Calcit, Aragonit, Dolomit, Siderit

Oxide

Hämatit, Magnetit, Korund, Spinell, Quarz, Bauxit

Sulfide

Pyrit

ca. 4000 Minerale

Sulfate

Gips, Anhydrit

Phosphate

Apatit

25

Silikate

Gruppe	Mineral	Chemische Zusammensetzung	Härte	Chemische Charakteristik	
Quarz	Quarz	SiO_2	7	Leukokrate Minerale (Aluminium-silikatische Minerale) - SiO_2 - reich - hell	
Feldspat	Orthoklas Sanidin Mikroklin Perthit	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	6		
	Plagioklas Albit Anorthit	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$			
	Feldspatvertreter (Foide)	Nephelin Leucit			$(\text{Na}, \text{K})[\text{AlSiO}_4]$ $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$
Glimmer	Muskovit Serizit	$\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	2-2,5		Melanokrate Minerale (Magnesium-Eisen-Silikatische Minerale) - SiO_2 - arm - dunkel
	Biotit	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_3[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}]$	2,5-3		
Pyroxen	Augit	$(\text{CaMg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Al})_2[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$	5-6		
Amphibol	Hornblende	$(\text{Na}, \text{K})\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_5[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{22}]$	5-6		
Olivin	Olivin	$\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ und Fayalit = $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$	6,5-7		

26

Feldspat

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Feldspat_gruppe.svg/610px-Feldspat_gruppe.svg.png?20160119201757

27

Magmatische Differentiation

28

Magmatische Gesteine

Magmatite

<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/magmatite/9896>

29

Farbe

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/EM-Spektrum.svg>

30

Farbe

Lichtfarbe

Ist die Farbe einer selbstleuchtenden Lichtquelle.

Körperfarbe

Das von einem beleuchteten Körper (partiell) reflektierte Licht.

Farbursachen

Farbiges Licht durch Absorption, Dispersion (Prisma), Interferenz (Irisierender Quarz),
Beugung (Kalifeldspat/Albit oder Labradorit) oder Streuung (Achat).

31

Feldspat

Bildbreite ca. 1 cm

32

Farbe

Labradorit

33

Granit (hellgrau)

34

Granit (gelb-bräunlich)

35

Granit

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Feldspat_gruppe.svg/610px-Feldspat_gruppe.svg.png?20160119201757

36

Granit (rosa-rötlich)

37

Granit (rötlich) durch Flammen

38

Granit (grünlich)



Mikroclin (Amazonit + Blei)

39

Granit (bläulich)



Einlagerung von
Cordierit (Magnesium-
Aluminium-Silikat) in
Mikroclin durch
Assimilation von
Nebengestein.

40

Flecken

41

Flecken

42

Flecken

A
(hellgrauer Gneis)

B
(dunkelgrauer Gneis)

Qualitative Prüfung des Wasseraufnahmeverhaltens
(Karsten'sche Prüfröhrchen)

43

Flecken

B
(dunkelgrauer Gneis)

A
(hellgrauer Gneis)

Bildbreite ca. 1 cm

44

Metamorphite

Metamorphosegrad	Zonengliederung	Ausgangssedimente/-gesteine							
	nach Mineralfazies der Regionalmetamorphose	Sedimente und Sedimentgesteine					Magmatite (Erstarrungsgesteine)		
		Ton	kalkiger Tonschlamm	Kalk		Quarzsand	organische Substanzen	Granit	Basalt
beginnend	Diagenese	Tonstein*	Mergel	Kalk	Dolomit	Quarzsandstein	Bitumen Kohle		
niedrig	Zeolithfazies	Tonschiefer*	Kalk-Tonschiefer					Granit	Diabas
mittel	Grünschieferfazies	Phyllit*	Kalkphyllit	Kalkmarmor (oft mit kleinen Glimmern)	Dolomitmarmor (oft mit kleinen Glimmern)	Quarzit (oft mit kleinen Glimmern)	Graphit		Grünschiefer
hoch	Epidot-Albitfazies	Glimmerschiefer* (oft mit Granat)	Kalkglimmerschiefer Silikatmarmor					Orthogneis	Amphibolit
sehr hoch	Amphibolitfazies	Paragneis	Para-Amphibolit z.B. Hornblenden-gaberschiefer)						
sehr hoch	Granulitfazies	Granulit							Eklogit

45

Flecken

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

46

Flecken

47

Lagerstätte

48

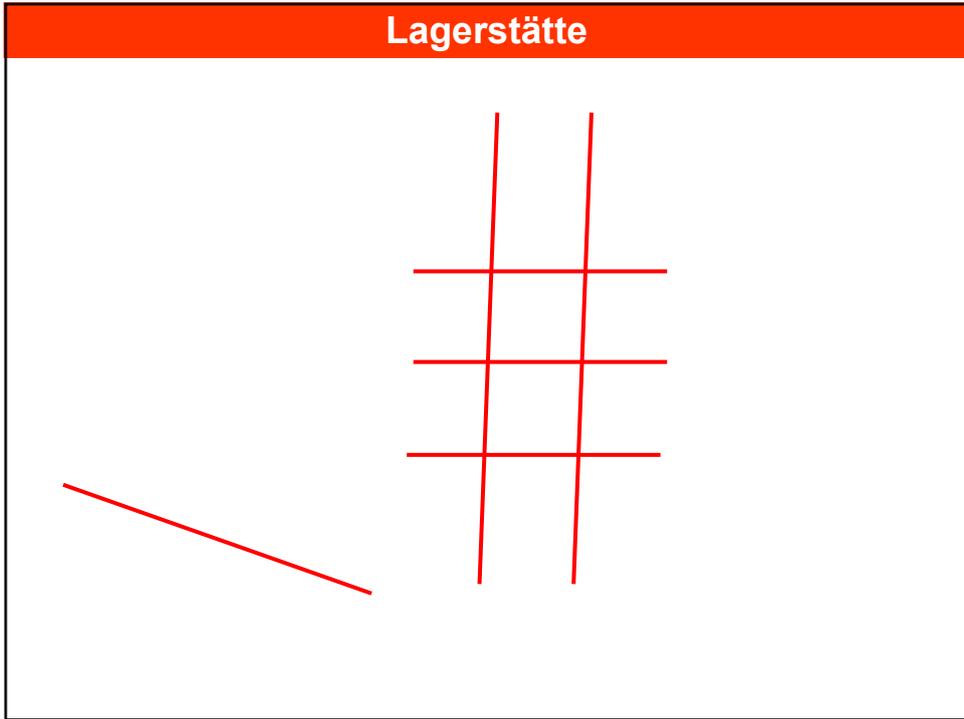
Lagerstätte

49

Lagerstätte

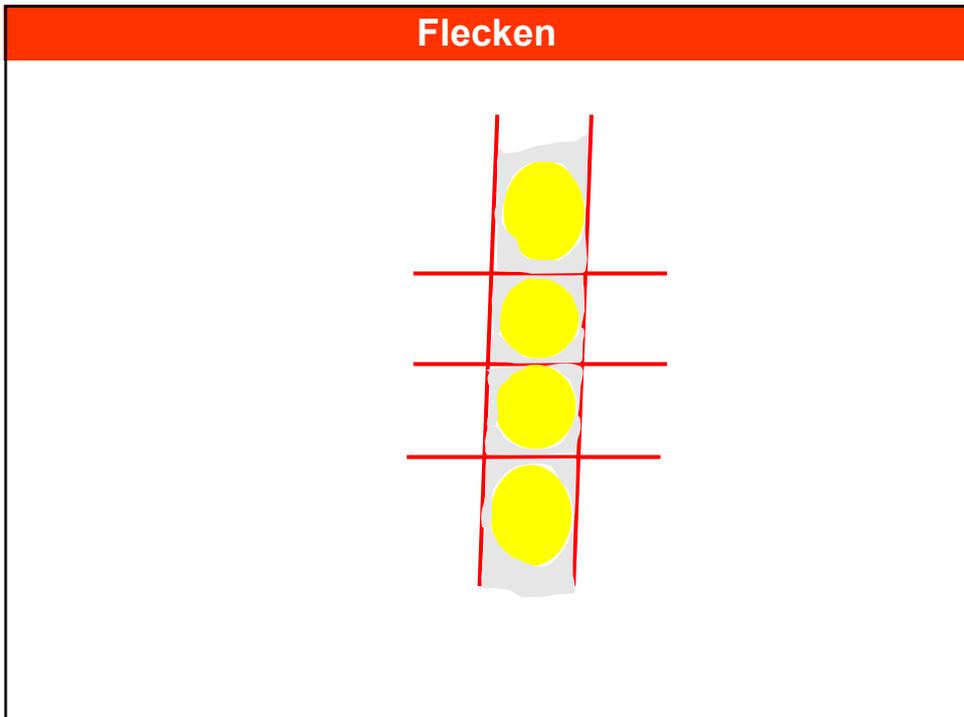
50

Lagerstätte



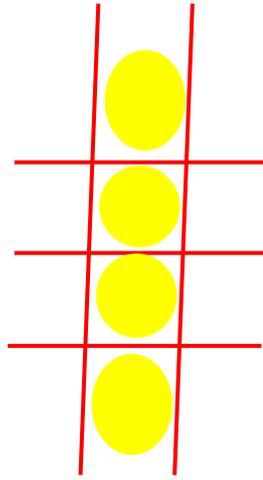
51

Flecken



52

Lagerstätte



53

Lagerstätte



54

Flecken

55

Verfärbungen

Behandlung mit einem Bleichmittel
(Natriumhypochlorit)

Nachher

56

Verfärbungen

—

—

57

Verfärbungen

Verlust der ursprünglichen Farbe

58

Verfärbungen

59

Verfärbungen



60

Verfärbungen

Bildbreite ca. 1 cm

61

Verfärbungen

62

Verfärbungen

63

Verfärbungen

Bildbreite ca. 0,5 cm

Bildbreite ca. 0,5 cm

64

Verfärbungen

65

Verfärbungen

66

Verfärbungen

Unterseite

Sichtfläche

67

Verfärbungen



68

Verfärbungen

69

Verfärbungen

70

Kalksteine

Klassifikation der Kalksteine nach ihrer Zusammensetzung

*Korngrößen
Mikrit 1-4 μm , Sparit >10 μm*

nach FOLK

71

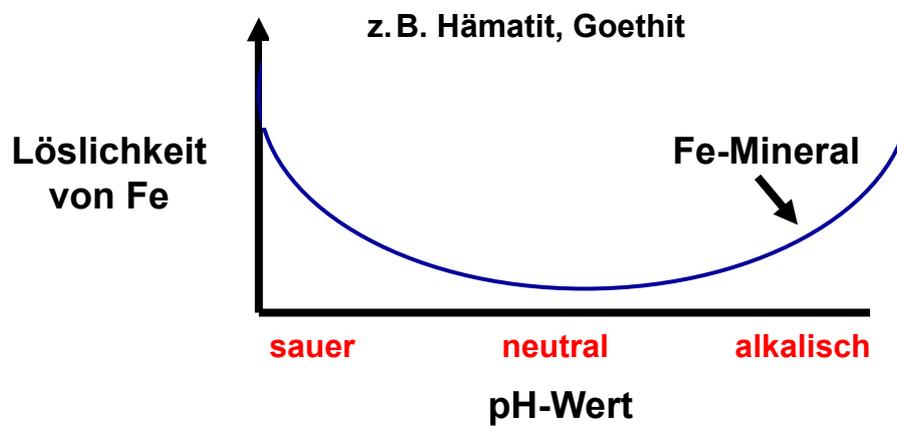
Verfärbungen

72

Verfärbungen

73

Verfärbungen



74

Verfärbungen

75

Hydrophobierung

Hydrophobierung

=====>

unbehandelte Baustoffoberfläche
(mit adsorbierten Wassermolekülen)

hydrophobierte Baustoffoberfläche
(Siloxanmoleküle fest gebunden und ihre
wasserabstoßenden Molekülteile
(hier vereinfacht nur CH₃-Gruppen) nach
außen gerichtet)

<https://www.baustoffchemie.de/hydrophobierung/>

76

Imprägnierung

Wirkstoffgruppe	Wirkstoffe	Lösungsmittel	Endprodukt
Silan	Anhydrolisiertes Silan (niedermolekulares Alkylalkoxysiloxan)	Wasserfreier Alkohol (Isopropanol)	Siliconharz
		Aliphatische Lösungsmittel	
	Octyltriethoxysilan	Emulsion in Wasser	
Siloxan	Oligomeres Alkylalkoxysiloxan	Aliphatische Lösungsmittel	
Siliconharz	Polymere Siloxane		
Silan-Siloxan- Gemisch	Silane und oligomere Alkoxysiloxane	Emulsion in Wasser (Mikroemulsion)	
	Methylsiliconharz und Octyltriethoxysilan oder Alkylalkoxysilan und Alkylalkoxysiloxan	Emulsion in Wasser	
		Pastöse Emulsion in Wasser	

77

Porosität

Porositätskennwerte

- **Gesamtporosität**
 - Offener Porenraum = steht mit der Umwelt in Wechselwirkung
 - Geschlossener Porenraum
- **Porengrößen**
- **Porenformen**
- **Porengrößenverteilung**
- **Innere Oberfläche**

Mikroporen	Kapillarporen	Makroporen
$r < 0,05 \mu\text{m}$	$0,05 \mu\text{m} \leq r < 0,5 \text{mm}$	$r \geq 0,5 \text{mm}$

(nach KLOPFER 1985)

78

Imprägnierung

Wirkung

- hydrophobe und/oder oleophobe Oberflächeneigenschaften
→ verhindert Eindringen von Wasser und flüssigen Fleckenbildnern
- ergänzende Schutzmaßnahme

Eigenschaften

- nicht Säure- und Alkalienbeständig
- auf die Imprägnierung eingestellte Reinigung notwendig
- Nachimprägnieren erforderlich

Für den Nassbereich ungeeignete Naturwerksteine erlangen durch eine Imprägnierung keine uneingeschränkte Eignung!

79

Imprägnierung

Oberfläche "unbehandelt"
Aufnahme von Feuchtigkeit über die kapillare Wasseraufnahme

80

Imprägnierung

Oberfläche "behandelt"
Imprägnierung liegt als dünner Film auf den Kapillarwänden,
Oberfläche offen für Wasserdampfdiffusion

81

Imprägnierung

Oberfläche "unbehandelt"
Aufnahme von Feuchtigkeit über die kapillare Wasseraufnahme

82

Imprägnierung

Oberfläche "behandelt"
Imprägnierung liegt als dünner Film auf den Kapillarwänden,
Oberfläche offen für Wasserdampfdiffusion

83

Imprägnierung

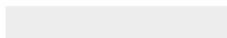
84

Imprägnierung



85

Imprägnierung



86

Imprägnierung

Wirkung

- hydrophobe und/oder oleophobe Oberflächeneigenschaften
→ verhindert Eindringen von Wasser und flüssigen Fleckenbildnern
- ergänzende Schutzmaßnahme

Eigenschaften

- nicht Säure- und Alkalienbeständig
- auf die Imprägnierung eingestellte Reinigung notwendig
- Nachimprägnieren erforderlich

Für den Nassbereich ungeeignete Naturwerksteine erlangen durch eine Imprägnierung keine uneingeschränkte Eignung!

87

Kristallisation

88

Kristallisation

Kristallisieren

Als Fluatierung (Abkürzung Fluor-Silikat) wurde früher eine Behandlung von Betonflächen mit Fluor-Silikat bezeichnet, die heute auch noch als sog. Kristallisation bekannt ist. **Mit Hilfe des Kristallisationsverfahrens wird bei einem Betonwerkstein, Kalkstein- oder Marmorbelag eine glänzende (annähernd geschlossene) Oberfläche durch eine chemische Reaktion zwischen dem Kristallisationsmittel und dem o.a. Material erzeugt.** Dies erfolgt in Kombination mit einem maschinellen Poliervorgang mit Pads (Stahlwolle). Dabei reagieren die wasserlöslichen Fluorsilicate des Kristallisationsmittels mit den Calcium-Mineralen. Es bilden sich wasserunlösliche Calciumfluoride und Kieselsäure.



89

Rutschhemmung

Oberflächenbearbeitungen

- poliert
- geschliffen (fein bis grob)
- laserstrukturiert
- chemisch behandelt (z.B. mit Ammoniumhydrogendifluorid)
- spaltrau
- gesägt
- gestrahlt
- geflammt
- gebürstet
- steinmetzmäßig (bearbeitet scharriert, gestockt etc.)

Induzierte Oberflächenveränderungen

- Oberflächenmorphologie (Rauigkeit)
- Zugänglichkeit des Porenraums an der Gesteinsoberfläche (Zwickelräume, Mikrorisse etc.)
- Oberflächenspannung, Benetzungsfähigkeit

90

Härte

Mohs-Härte

<https://de.wikipedia.org/wiki/Härte>

91

Härte

Vickers-Härte

[https://de.wikipedia.org/wiki/Härte#Härteprüfung_nach_Vickers_\(HV\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Härte#Härteprüfung_nach_Vickers_(HV))

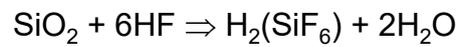
92

Chemisch behandelt

Flusssäure HF

Flusssäure ist ein starkes Kontaktgift!

Wird wegen ihrer hohen Lipidlöslichkeit sofort von der Haut resorbiert. Die aufgenommenen Fluorid-Ionen blockieren den Calcium- und Magnesiumstoffwechsel
⇒ Stoffwechselstörungen mit multiplem Organversagen können tödlich verlaufen.



Flusssäure ist die einzige Säure, die Quarz unter Bildung von Siliciumtetrafluorid angreift

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:azard_C.svg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:azard_T.svg#file

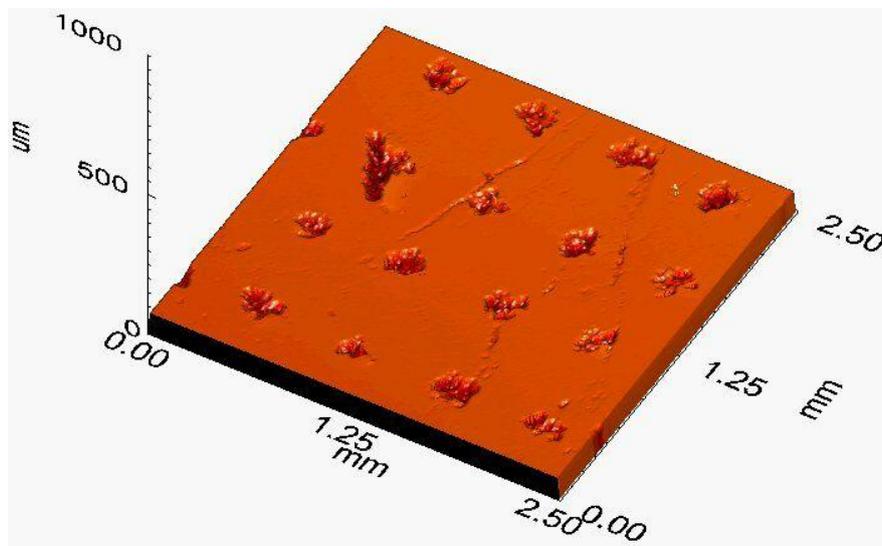
Laserstrukturiert

Laserstrukturiert

Bildbreite ca. 1 cm

95

Laserstrukturiert



96

Flammen

Oberflächenbearbeitung "geflammt"

Quarz

Thermisches Ausdehnungsverhalten

Übergang von Tief- zu Hochquarz bei 573°C
führt zur Vergrößerung des spez. Volumens um 0,8 %

97

Flammen

98

Flammen

99

Flammen

100

Flammen

101

Flammen

102

Flammen

Oberflächenbearbeitung "geflammt"

Quarz

Thermisches Ausdehnungsverhalten

Übergang von Tief- zu Hochquarz bei 573°C
führt zur Vergrößerung des spez. Volumens um 0,8 %

Calcit

Thermisches Ausdehnungsverhalten

nach FRITSCH, MEIXNER & WIESENER 1967

103

Flammen

104

Flammen

105

Rutschhemmende Eigenschaften

DIN EN 16165 (2021-12)

Bestimmung der Rutschhemmung von Fußböden – Ermittlungsverfahren; Deutsche Fassung EN 16165:2021.

Anhang A: Prüfung durch barfußiges Begehen einer schiefen Ebene

Anhang B: Prüfung durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene

Anhang C: Pendelprüfung

Anhang D: Tribometer-Prüfung

Nationaler Anhang NB

NB.1 Klassifizierung der Ergebnisse durch barfußiges Begehen einer schiefen Ebene

NB.2 Klassifizierung der Ergebnisse durch beschuhtes Begehen einer schiefen Ebene

106