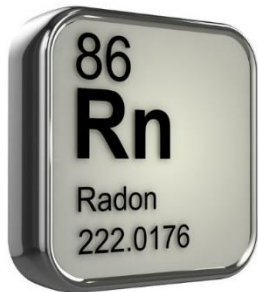
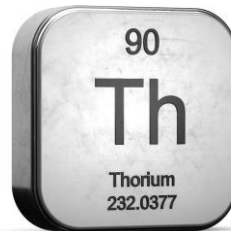


Die Mutternuklide des Radons in Gesteinen



<https://pixers.de/aufkleber/3d-periodic-table-86-radon-45880116>



https://www.futura-sciences.com/de/was-ist-thorium-definition-erlaeuterungen_1310/



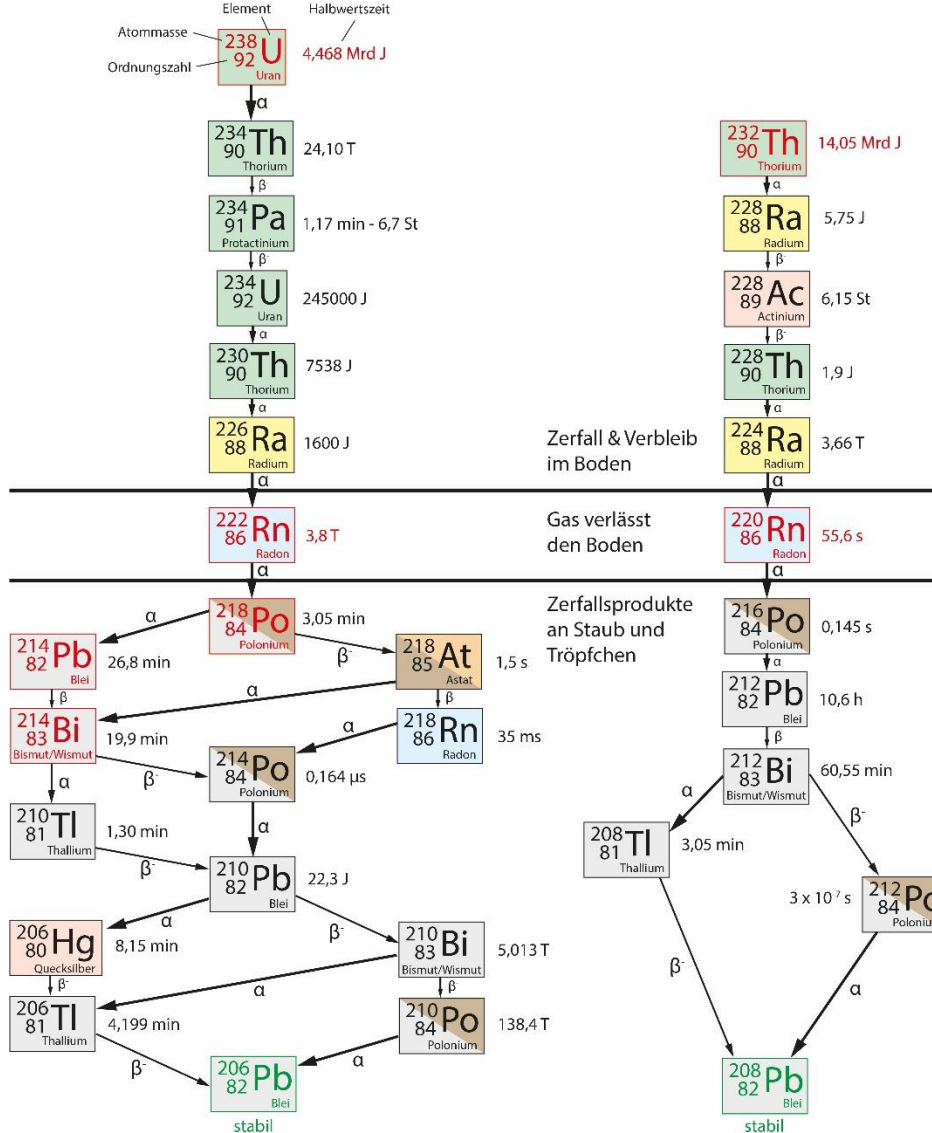
https://www.futura-sciences.com/de/was-ist-uran-definition-und-erlaeuterungen_1299/



Inhalt

- Mutternuklide Uran (^{238}U) und Thorium (^{232}Th)
- Wie kann man Uran und Thorium messen?
- U und Th-haltige Minerale
- Messwerte in verschiedenen Gesteinen

- Geologie und Verbreitung der Gesteine mit U und Th-haltigen Mineralen (in Hessen) → Dr. Heggemann



Alpha-Zerfall

- Teilchenstrahlung aus Heliumkern
- geringer Reichweite
- Abschirmung leicht möglich

Beispiel:



Beta-Minus-Zerfall

- Teilchenstrahlung aus Elektronen
- Abschirmung mit dünnen Metallplatten

Beispiel:



Mrd J = Milliarden Jahre
 J = Jahre
 T = Tage
 St = Stunden

min = Minuten
 s = Sekunden
 ms = Millisekunden
 μs = Mikrosekunden

Erdalkalimetalle
 Übergangsmetalle
 Metalle
 Halbmetalle
 Halogenide
 Edelgase
 Actinoide





1 1.0079 Wasserstoff [¹]: Radioaktiv 0.0899* -1.1	3 6.941 Lithium [Li] ¹ 0.53 1	4 9.0122 Beryllium [Be] ² 1.85 2	11 22.99 Natrium [Na] ¹ 0.97 1	12 24.305 Magnesium [Mg] ² 1.74 2	19 39.098 Kalium [K] ¹ 0.86 1	20 40.078 Calcium [Ca] ² 1.55 2	21 44.956 Scandium [Sc] ³ 2.99 3	22 47.88 Titan [Ti] ³ 4.50 2,3,4	23 50.942 Vanadium [V] ³ 6.11 2,3,4,5	24 51.996 Chrom [Cr] ³ 7.14 2,3,6	25 54.938 Mangan [Mn] ³ 7.43 1,2,3,4,6,7	26 55.845 Eisen [Fe] ³ 7.87 2,3,4,6	27 58.933 Kobalt [Co] ³ 8.90 2,3	28 58.933 Nickel [Ni] ³ 8.91 2,3	29 63.546 Kupfer [Cu] ¹ 8.92 1,2	30 65.409 Zink [Zn] ² 7.14 2	31 69.723 Gallium [Ga] ³ 5.90 3	32 72.61 Germanium [Ge] ⁴ 5.32 -4,2,14	33 74.922 Arsen [As] ³ 5.72 -3,3,5	34 78.96 Selen [Se] ⁴ 4.82 -2,2,4,6	35 79.904 Brom [Br] ¹ 3.21* -1,1,3,5,7	36 83.80 Krypton [Kr] ⁶ 3.75*	37 85.468 Rubidium [Rb] ¹ 1.53 1	38 87.62 Strontium [Sr] ² 2.63 2	39 88.906 Yttrium [Y] ³ 4.47 3	40 91.224 Zirkon [Zr] ³ 6.50 2	41 92.906 Niob [Nb] ³ 8.57 2,5	42 95.94 Molybdän [Mo] ³ 10.28 2,3,4,5,6	43 95.94 Technetium [Tc] ³ 11.5 -3 bis 7	44 101.07 Ruthenium [Ru] ³ 12.37 2,3,4,6,8	45 102.91 Rhodium [Rh] ³ 12.38 0,1,2,3,4	46 106.47 Palladium [Pd] ³ 11.99 0,2,4	47 107.87 Silber [Ag] ¹ 10.49 1,2,3	48 112.41 Cadmium [Cd] ² 8.65 2	49 114.82 Indium [In] ³ 7.31 (1,3)	50 115.71 Zinn [Sn] ² 5.77 -4,2,14	51 121.76 Antimon [Sb] ³ 6.70 -3,3,5	52 127.60 Tellur [Te] ⁴ 6.24 -2,2,4,6	53 127.60 Iod [I] ¹ 4.94 -1,1,3,5,7	54 131.29 Xenon [Xe] ⁶ 5.90*	55 132.91 Cäsium [Cs] ¹ 1.90 1	56 137.33 Barium [Ba] ² 3.62 2	72 178.49 Hafnium [Hf] ⁴ 13.28 4	73 180.95 Tantal [Ta] ³ 16.65 5	74 183.85 Wolfram [W] ³ 19.3 2,3,4,5,6	75 186.21 Rhenium [Re] ³ 21.0 2,4,7	76 187.21 Osmium [Os] ³ 22.59 2,3,4,6,8	77 193.22 Iridium [Ir] ³ 22.56 1,2,3,4,6	78 195.08 Platin [Pt] ³ 21.45 0,2,4,6	79 196.97 Gold [Au] ¹ 19.32 1,3	80 200.59 Quecksilber [Hg] ² 13.55 1,2,4	81 204.39 Thallium [Tl] ³ 11.85 1,3	82 207.2 Blei [Pb] ² 11.34 2,4	83 208.98 Bismuth [Bi] ³ 9.78 (-3),1,3,5	[84] 209 Polonium [Po] ⁴ 9.20 -2,2,4,6	[85] 209 Astat [At] ³ -1,1,3,5,7	[86] 210 Radon [Rn] ⁶ 9.73*	[87] 223.02 Francium [Fr] ¹ 10.07 1	[88] 226.07 Radium [Ra] ² 11.5 2	[104] 261.10 Rutherfordium [Rf] ⁴ 10.07 1	[105] 261.10 Dubnium [Db] ³ 11.72 2	[106] 261.10 Seaborgium [Sg] ³ 15.37 5	[107] 261.10 Bohrium [Bh] ³ 16 4,6	[108] 261.10 Hassium [Hs] ³ 16 4,6	[109] 261.10 Meitnerium [Mt] ³ 16 4,6	[110] 261.10 Darmstadtium [Ds] ³ 16 4,6	[111] 261.10 Roentgenium [Rg] ³ 16 4,6	[112] 261.10 Copernicium [Cn] ³ 16 4,6	[113] 261.10 Ununtrium [Uut] ³ 16 4,6	[114] 261.10 Ununquadium [Uuq] ³ 16 4,6	[115] 261.10 Ununpentium [Uup] ³ 16 4,6	[116] 261.10 Ununhexium [Uuh] ³ 16 4,6	[117] 261.10 Ununseptium [Uus] ³ 16 4,6	[118] 261.10 Ununoctium [Uuo] ³ 16 4,6
---	---	--	--	---	---	---	--	--	---	---	--	---	--	--	--	--	---	--	--	---	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	--	--	--	---	---	--	--	--	--	---	--	---	---	--	---	---	--	---	--	--	--	--	---	---	--	---	---	--	--	--	---	---	--	--	---	---	---	--	---	--

Ordnungszahl [¹]: Radioaktiv
 Elementsymbol **H**
 Elementname **Wasserstoff**
 Dichte (g/cm³) 0.0899*
 *: Dichte (kg/m³) -1.1

Relative Atommasse (g/mol) 1.0079
 Schmelzpunkt -259.14
 Siedepunkt -252.87
 Elektronegativität 2.2
 Elektronenkonfiguration 1s¹
 Oxidationsstufen -1,1

57 138.91 Lanthan [La] ³ 6.17 3	58 140.12 Cer [Ce] ³ 6.77 3,4	59 140.91 Praseodym [Pr] ³ 6.48 3,4	60 144.24 Neodym [Nd] ³ 7.00 3,4	61 144.91 Promethium [Pm] ³ 7.2 3	62 147.07 Samarium [Sm] ³ 7.54 2,3	63 148.92 Europium [Eu] ³ 5.25 2,3	64 157.25 Gadolinium [Gd] ³ 7.89 2,3	65 158.93 Terbium [Tb] ³ 8.25 3,4	66 162.50 Dysprosium [Dy] ³ 8.56 3	67 164.93 Holmium [Ho] ³ 8.78 3	68 167.26 Erbium [Er] ³ 8.78 3	69 168.93 Thulium [Tm] ³ 9.32 2,3,4	70 173.04 Ytterbium [Yb] ³ 6.97 2,3	71 174.97 Lutetium [Lu] ³ 9.84 3	[89] 261.10 Actinium [Ac] ³ 10.07 1	[90] 232.04 Thorium [Th] ⁴ 11.72 2	[91] 231.04 Protactinium [Pa] ³ 15.37 5	[92] 238.03 Uran [U] ³ 16 4,6	[93] 238.03 Neptunium [Np] ³ 16 4,6	[94] 239.05 Plutonium [Pu] ³ 16 4,6	[95] 244.06 Americium [Am] ³ 13.67 2,3,4,5,6	[96] 247.07 Curium [Cm] ³ 13.51 (2),3,4	[97] 247.07 Berkelium [Bk] ³ 14.78 3,4	[98] 247.07 Californium [Cf] ³ 15.1 (2),3,4	[99] 251.08 Einsteinium [Es] ³ 8.84 (2),3,4	[100] 252.08 Fermium [Fm] ³ 2.3	[101] 257.10 Mendelevium [Md] ³ 2.3	[102] 259.10 Nobelium [No] ³ 2.3	[103] 261.10 Lawrencium [Lr] ³ 3
---	---	---	--	---	--	--	--	---	--	---	--	---	---	--	---	--	---	---	---	---	--	---	--	---	---	---	---	--	--





Uran

- Ordnungszahl 92
- Dichte 19,10 g/cm³
- lithophiles Element
- großer Ionenradius
- Oxidationsstufen 6⁺ und 4⁺
- silberweiß, in der Natur nicht als reines Metall vorkommend
- Häufigkeit in der Erdkruste: 2–4 ppm
- Halbwertszeit: ²³⁸U = 4,468 Mrd. J.; ²³⁵U = 703,8 Mio. J.; ²³⁴U = 245.500 J.
- angereichertes Uran = Kernbrennstoff: ²³⁵U, Anteil wird auf 3-5% künstlich erhöht

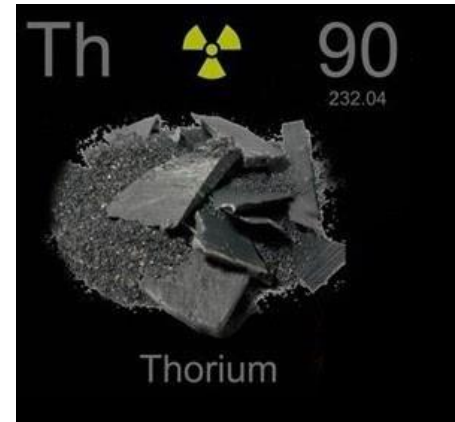
U	92
Uran-Isotope	
²³⁴ U - 0,0054(5) %	☠
²³⁵ U - 0,7204(6) %	☠
²³⁸ U - 99,2742(10) %	☠
238,02891(3)	

<https://www.internetchemie.info/chemische-elemente/uran-isotope.php>



Thorium

- Ordnungszahl 90
- Dichte 11,72 g/cm³
- lithophiles Element
- großer Ionenradius
- Oxidationsstufe 4⁺
- Reinmetall -> nur Isotop ²³²Th; weitere Isotope nur in Spuren oder synthetisch
- silberweiß, sehr weich und dehnbar
- Häufigkeit in der Erdkruste: 7–13 ppm
- Halbwertszeit ²³²Th = 14,05 Mrd. J.



<https://omerozgur.medium.com/running-bill-gates-nuclear-reactors-thorium-232-ce1c5955a8d8>

Messmethoden für U und Th

Gesamtgestein:

- Röntgenfluoreszenz (RFA)
- ICP-MS = Inductive Coupled Plasma - Mass Spectrometer



<https://www.gfz-potsdam.de/sektion/anorganische-und-isotopengeochemie/infrastruktur/roentgenfluoreszenz-labor-rfa/>

Einzelne Minerale:

- LA-ICP-MS (= Laser Ablation - Inductive Coupled Plasma - Mass Spectrometer)
- SHRIMP (= Sensitive High Resolution Ion Microprobe) -> Datierung

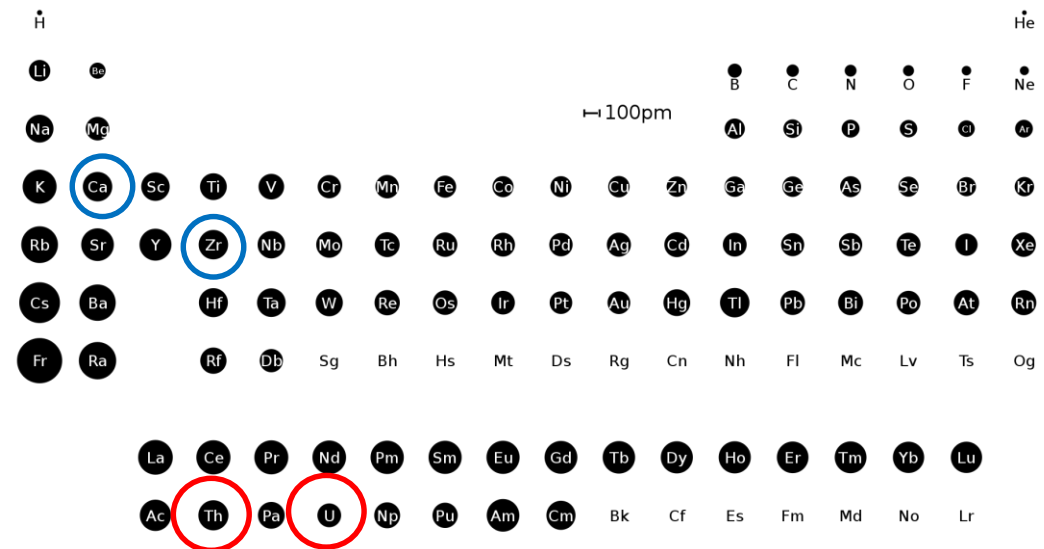


https://en.wikipedia.org/wiki/Inductively_coupled_plasma_mass_spectrometry#/media/File:ICP-MS.jpg

U und Th-haltige Minerale

- >200 Uranminerale bekannt, fast alle nur untergeordnete Rolle
- Für Lagerstätten: Uraninit/Pechblende (UO_2) & Coffinit (USiO_4) wichtig
- U und Th können andere Elemente in gängigen, akzessorischen Mineralen teilweise ersetzen

- Monazit: $(\text{Ce}, \text{Y}, \text{La}, \text{Th})\text{PO}_4$
- Zirkon: ZrSiO_4
- Titanit: CaTiSiO_5
- Apatit: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$



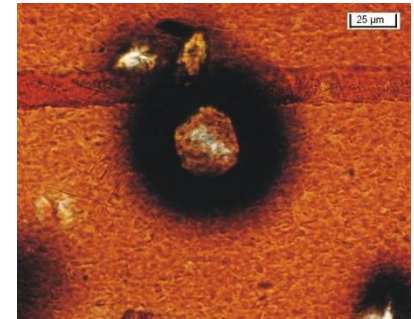


Gesteine mit U und Th-haltigen Mineralen

- Häufig in felsischen Gesteinen, reich an K, Ca und SiO_2 : Granit, Rhyolith, Paragneis, Glimmerschiefer etc.
- Seltener in mafischen Gesteinen, reich an Fe und Mg: Basalt, Gabbro, Diorit, Amphibolith, Orthogneis
- In sedimentären Gesteinen durch z.B. Verwitterung, Transport und Anreicherung: Sandstein, Tonstein, Konglomerat

Vorkommen Zirkon ($ZrSiO_4$)

- saure Magmatite, frühes Kristallinat (Granit bis Qz-Diorit + entsprechende Vulkanite)
- oft als Einschluss in Biotit und Hornblende (pleochroitische Höfe)
- in basischen Magmatiten (z.B. Gabbro & Basalt): Zr im Pyroxengitter, daher keine Zirkon-Kristalle
- Pegmatite & Metamorphite
- charakteristisch in Sedimentgesteinen (Schwermineral)



<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Mineralienportrait/Zirkon/Lange%20Seite>



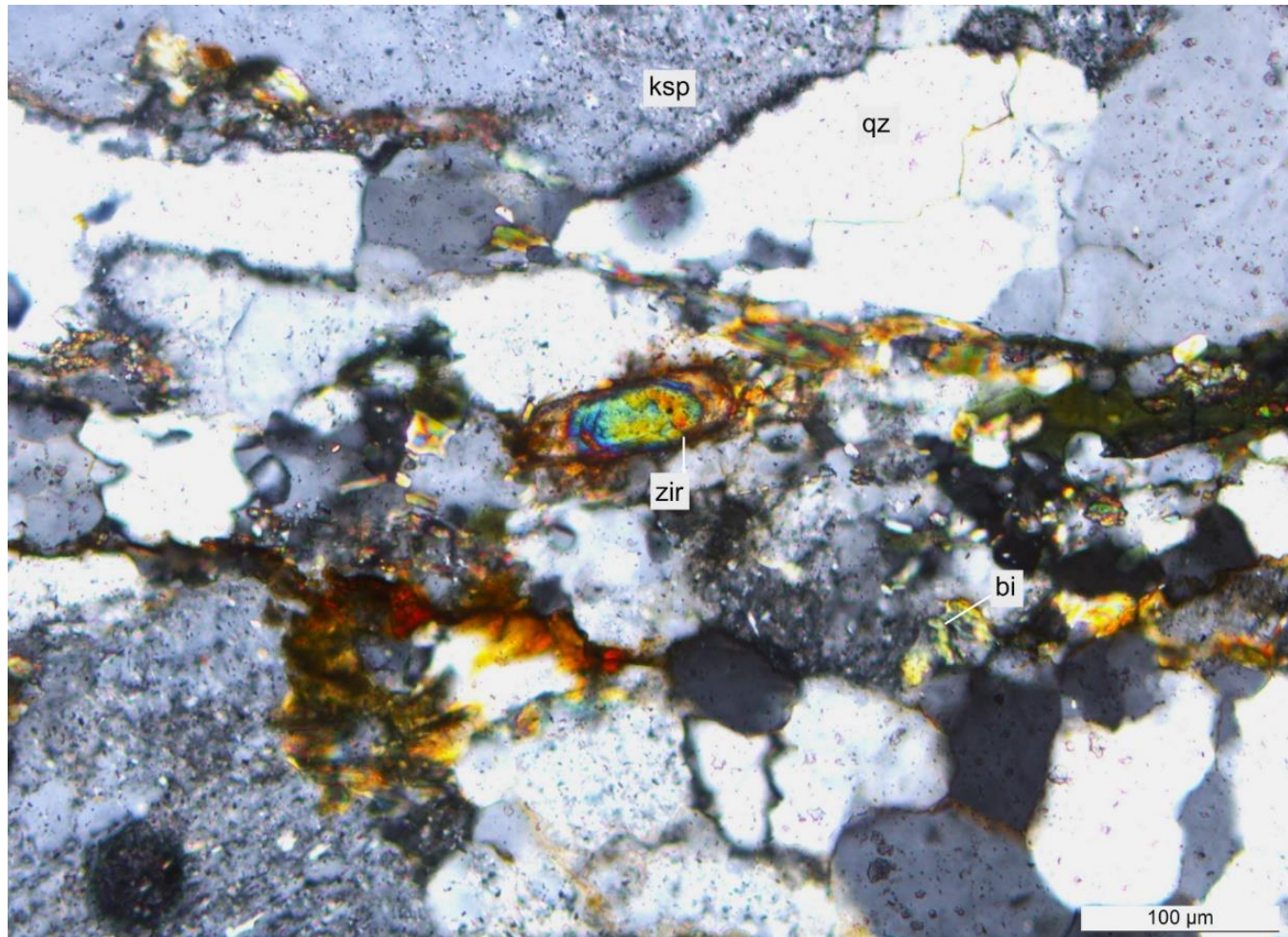
<https://www.mineralium.de/mineralien-archiv/mineralien-aus-pakistan/zirkon-2/9650/zirkon>



<https://www.steinparadies.ch/Zirkon-3>



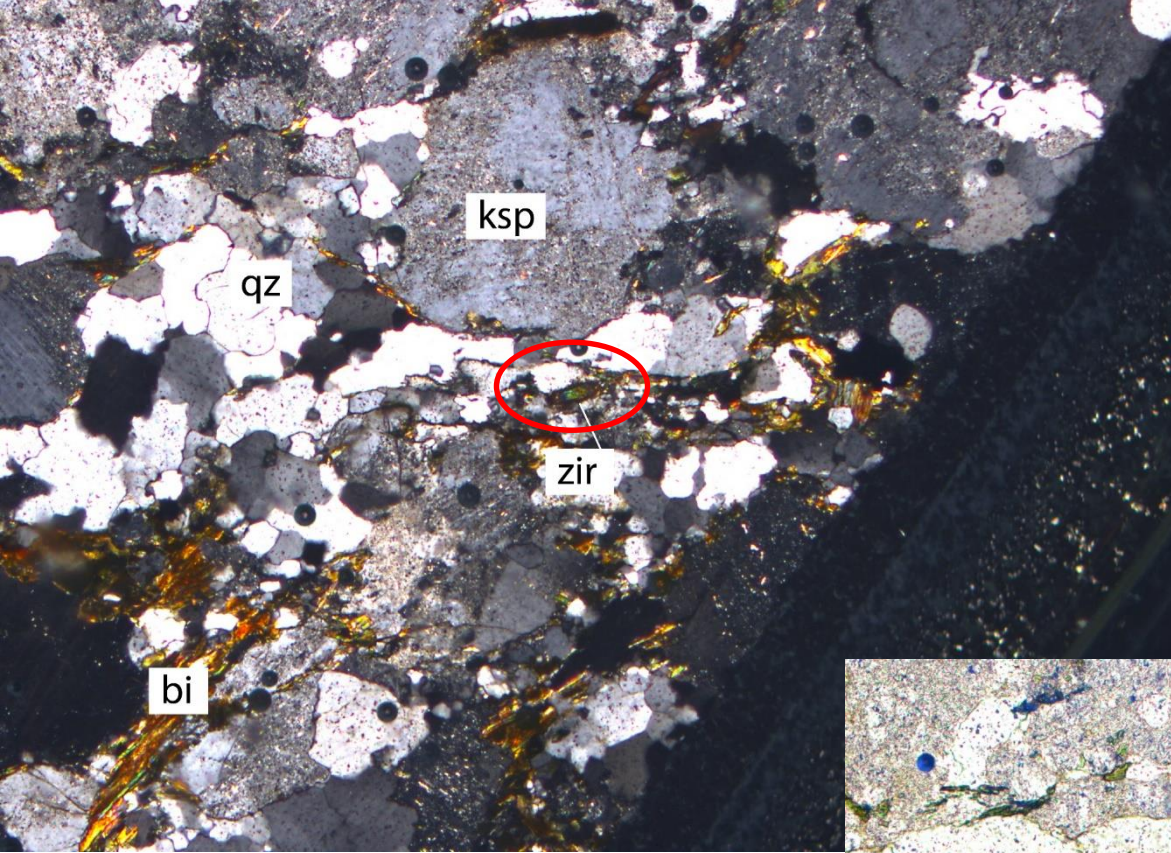
Zirkon im Dünnschliff



qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit

Gneis; gekreuzte Polarisatoren

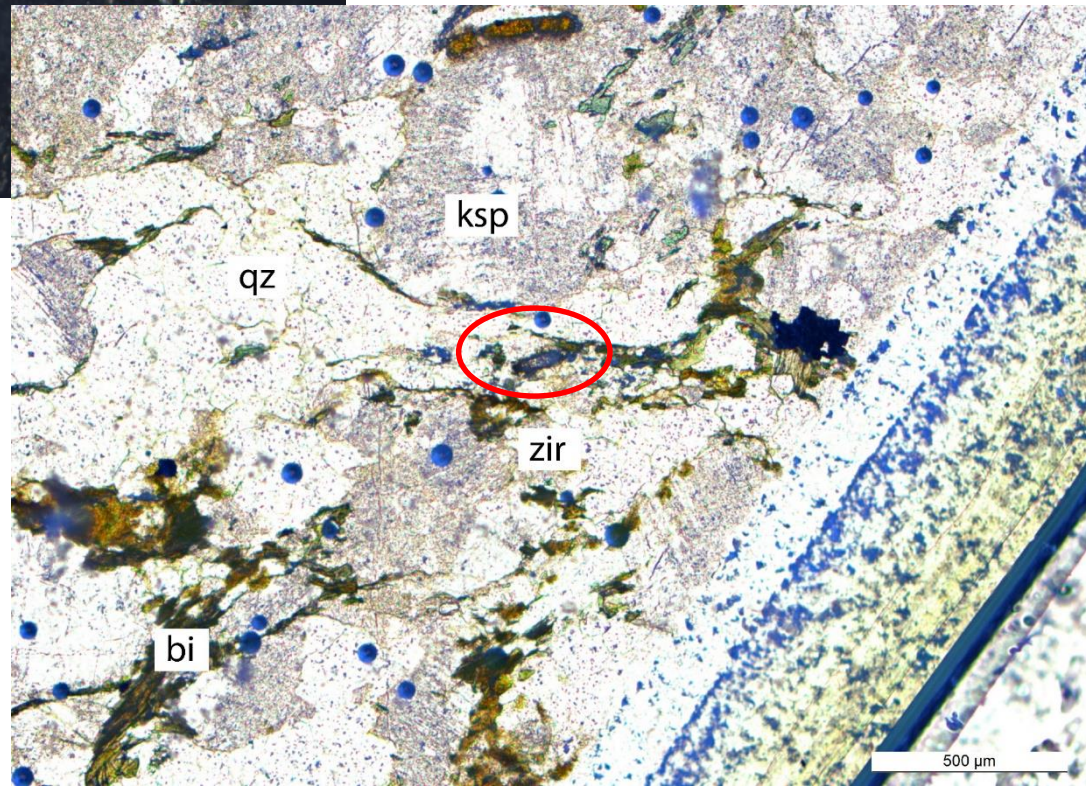
100 µm = 0,01 cm



Gneis; gekreuzte & parallele Polarisatoren

500 µm = 0,05 cm

- qz = Quarz
- ksp = Kalifeldspat
- plag = Plagioklas
- bi = Biotit
- hbl = Hornblende/Amphibol
- zir = Zirkon
- ap = Apatit

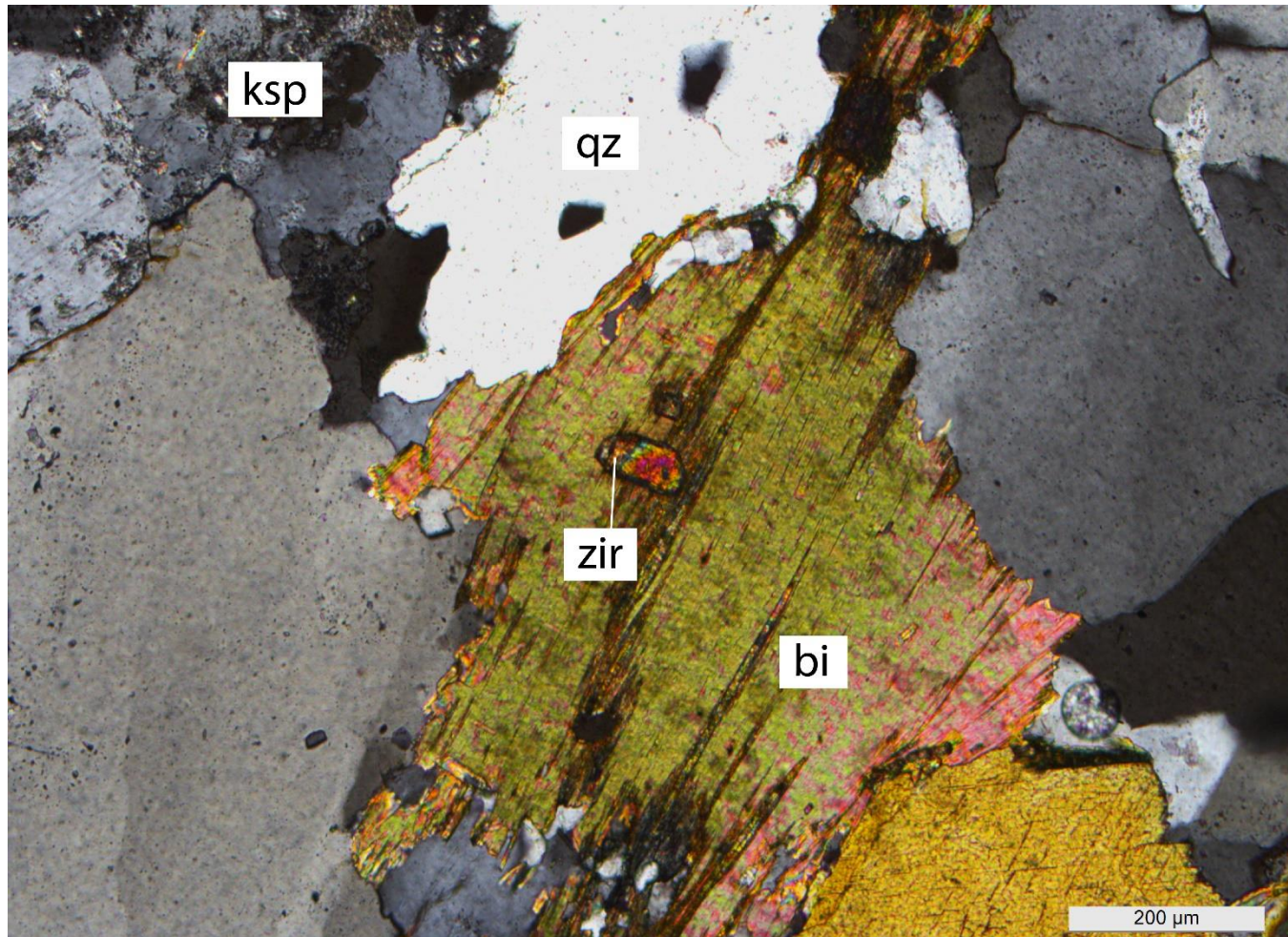


00014030

— 10 µm

JEOL

Zirkon im Dünnschliff



qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit

Gneis; gekreuzte Polarisatoren

200 µm = 0,02 cm

Vorkommen Apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$)

- in sehr geringen Mengen in nahezu allen magmatischen Gesteinen (< 1 %)
- leichte Anreicherung und Na- und K-betonten Magmatiten (2–3 %)
- in Karbonatiten und Lamprophyren noch mehr
- Pegmatite, Metamorphite und Sedimentgesteine
- Phosphorite (gesteinsbildend)
- Schmuckstein

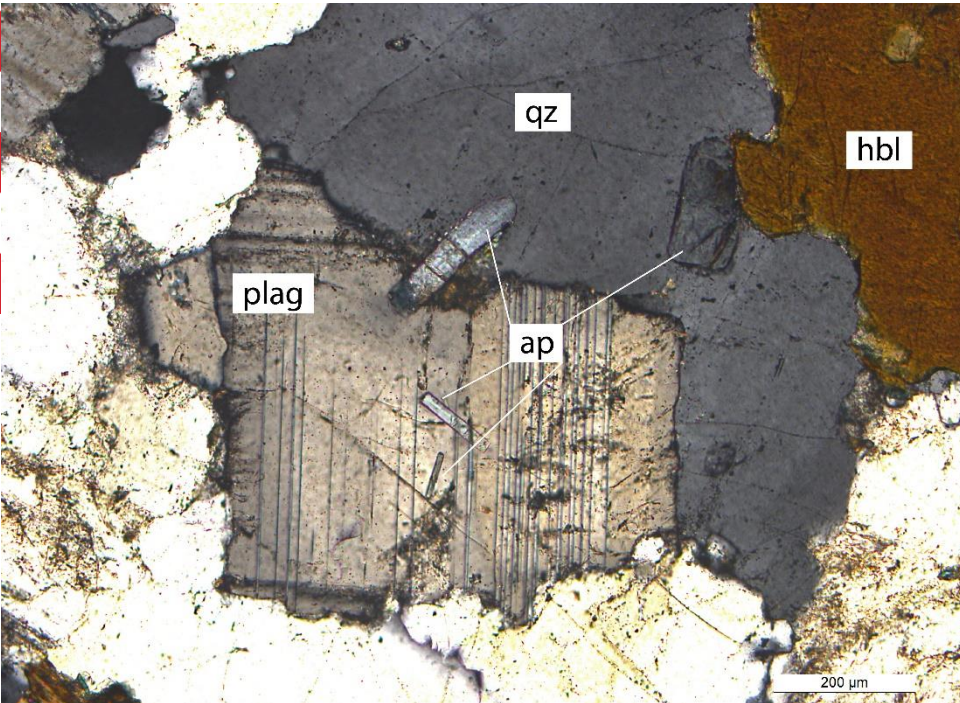


<https://minerals-stones.com/de/apatit/763-apatit.html>



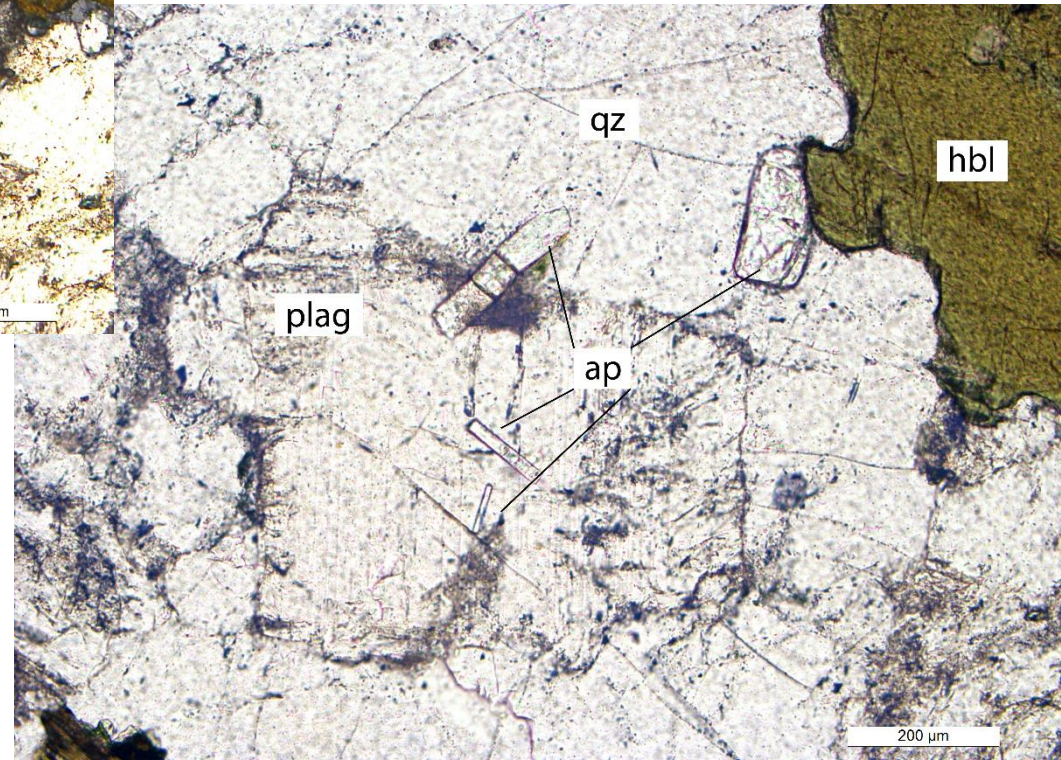
<https://minerals-stones.com/de/apatit/952-apatit-kristalle-im-muttergestein.html>

Apatit im Dünnschliff



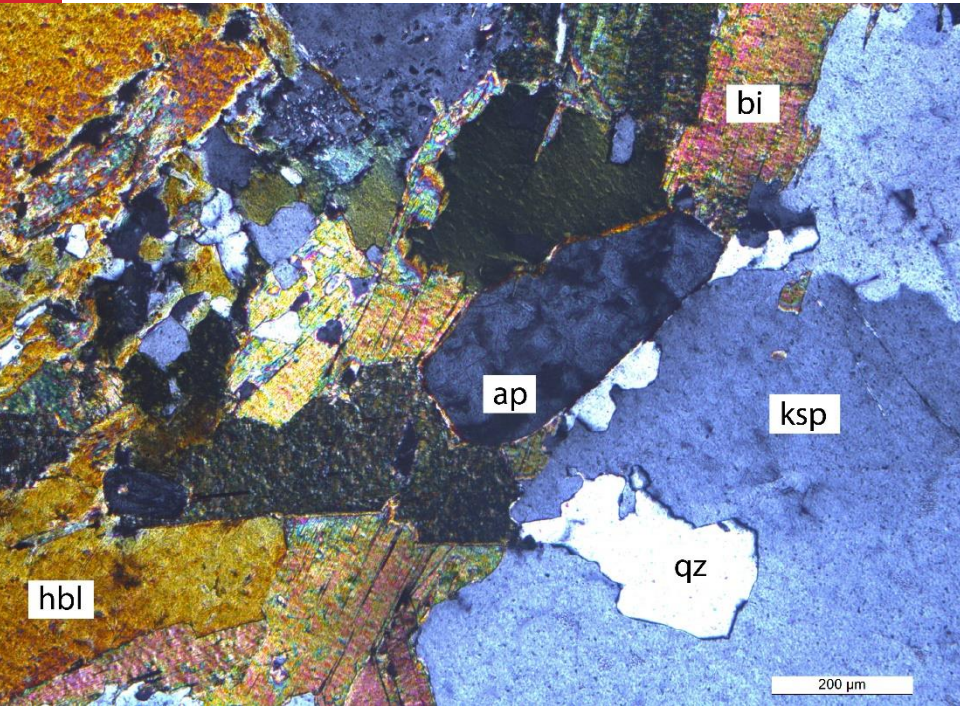
200 µm = 0,02 cm

qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit



**Granodiorit; gekreuzte & parallele
Polarisatoren**

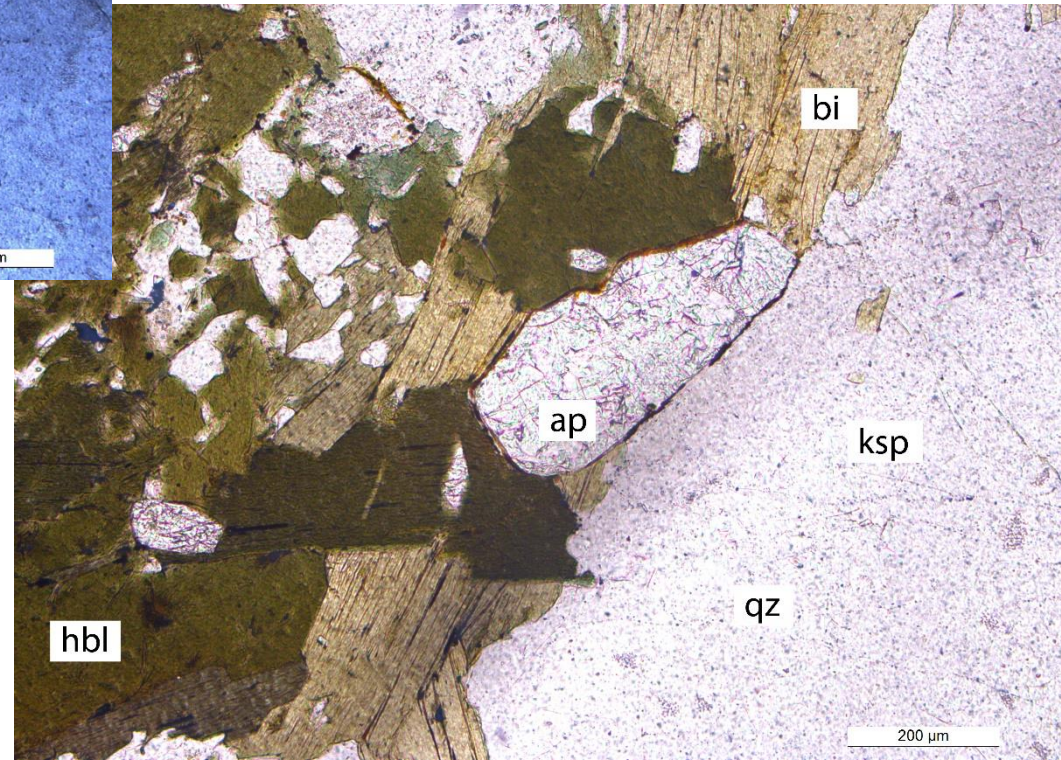
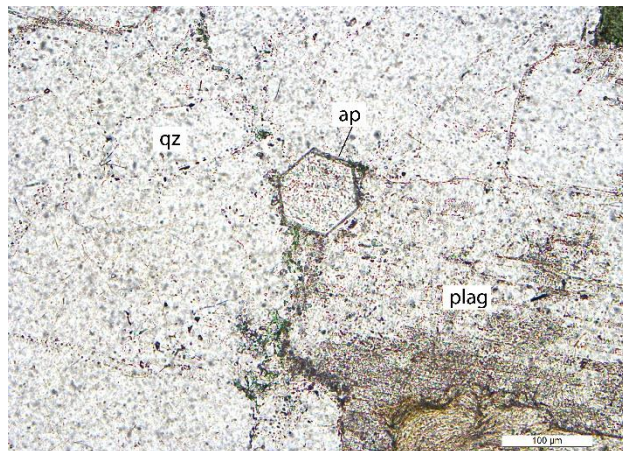
Apatit im Dünnschliff



Granit; gekreuzte & parallele Polarisatoren

200 µm = 0,02 cm

qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit



Vorkommen Titanit (CaTiSiO_5)

- saure bis intermediäre Plutonite (Granit, Granodiorit, Tonalit)
- besonders häufig in Syenit und Nephelin-Syenit
- meist zusammen mit grünem Amphibolen
- selten in Vulkaniten
- nicht in Gabbro und Basalt (Ti im Pyroxen und Ilmenit verbaut)
- in Metamorphiten häufig in Amphibolit, Marmor und Kalksilikatfelsen



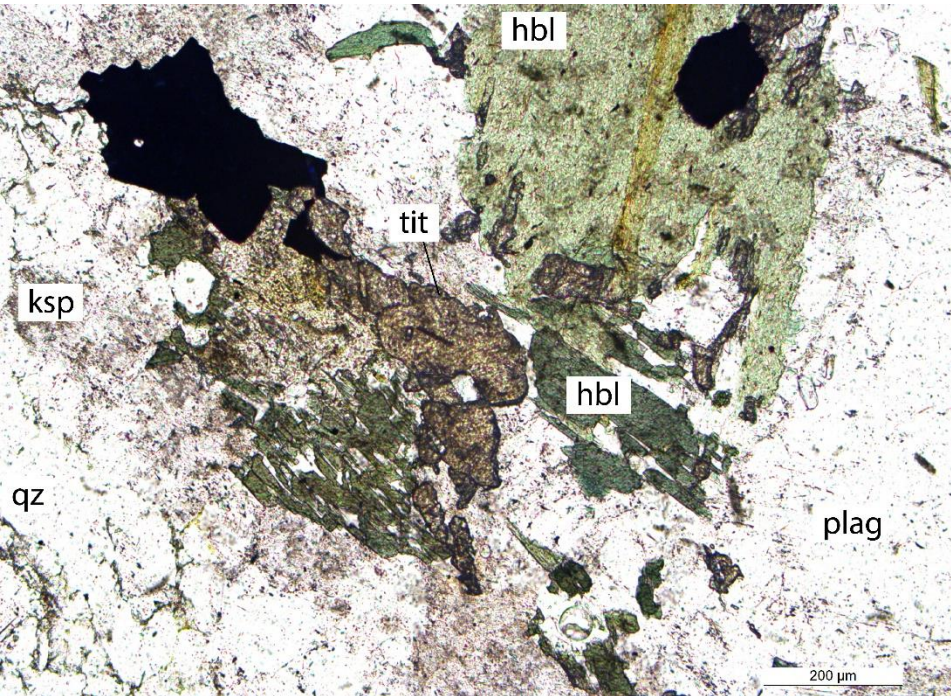
https://www.kristallin.de/gesteine/Gestbest_Bilder/Minerale-372_1600.jpg



https://www.kristallin.de/gesteine/Gestbest_Bilder/Minerale-382_1600.jpg

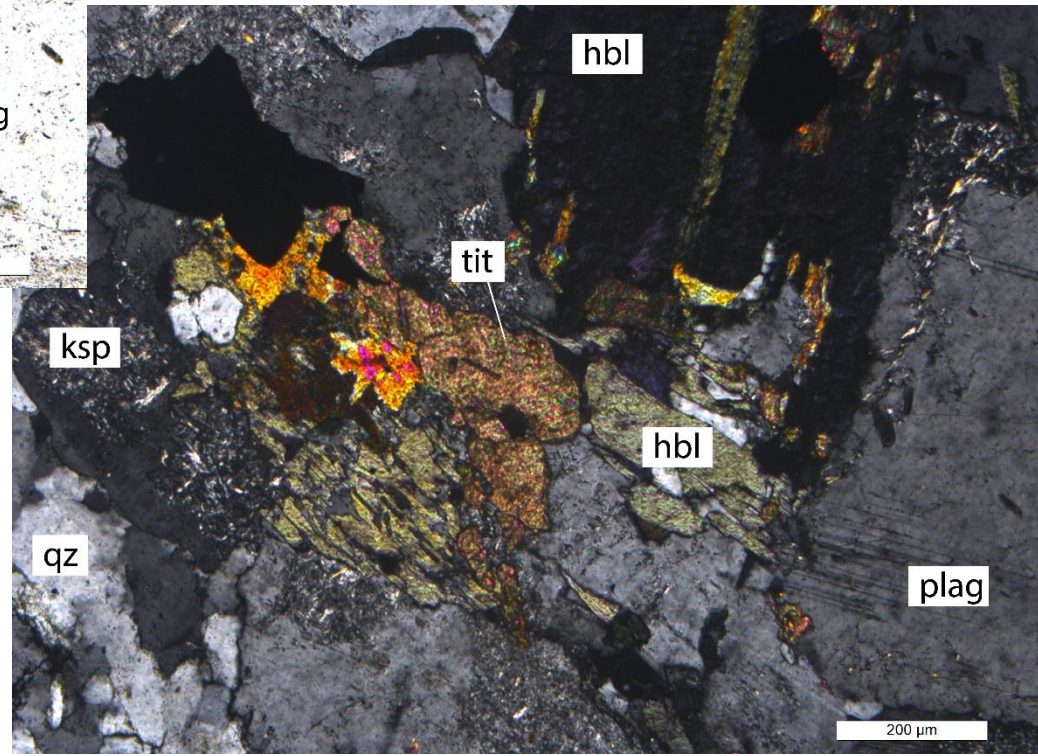


Titanit im Dünnschliff



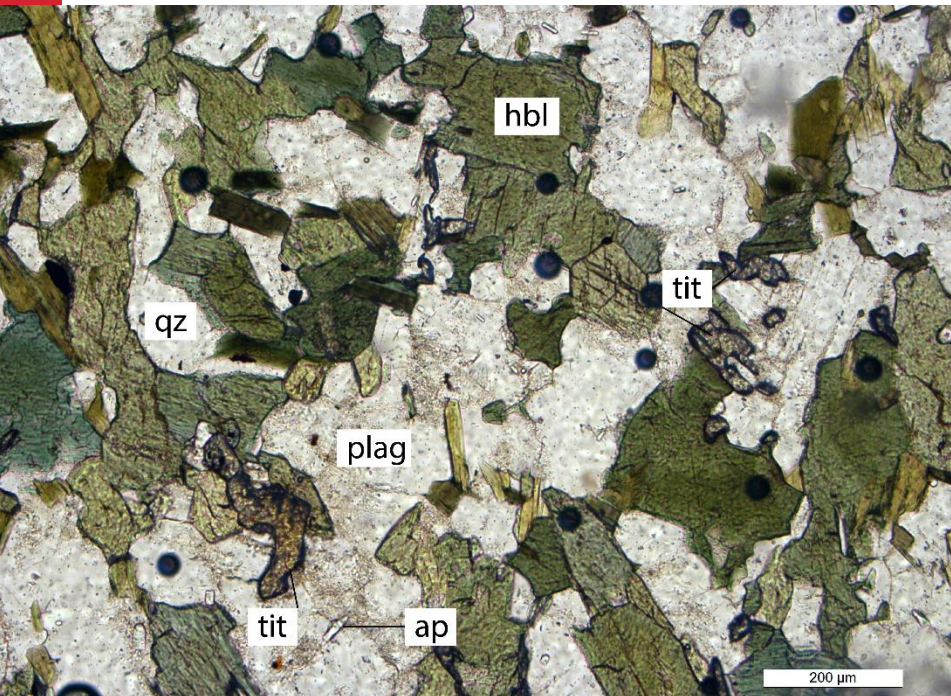
200 µm = 0,02 cm

qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit



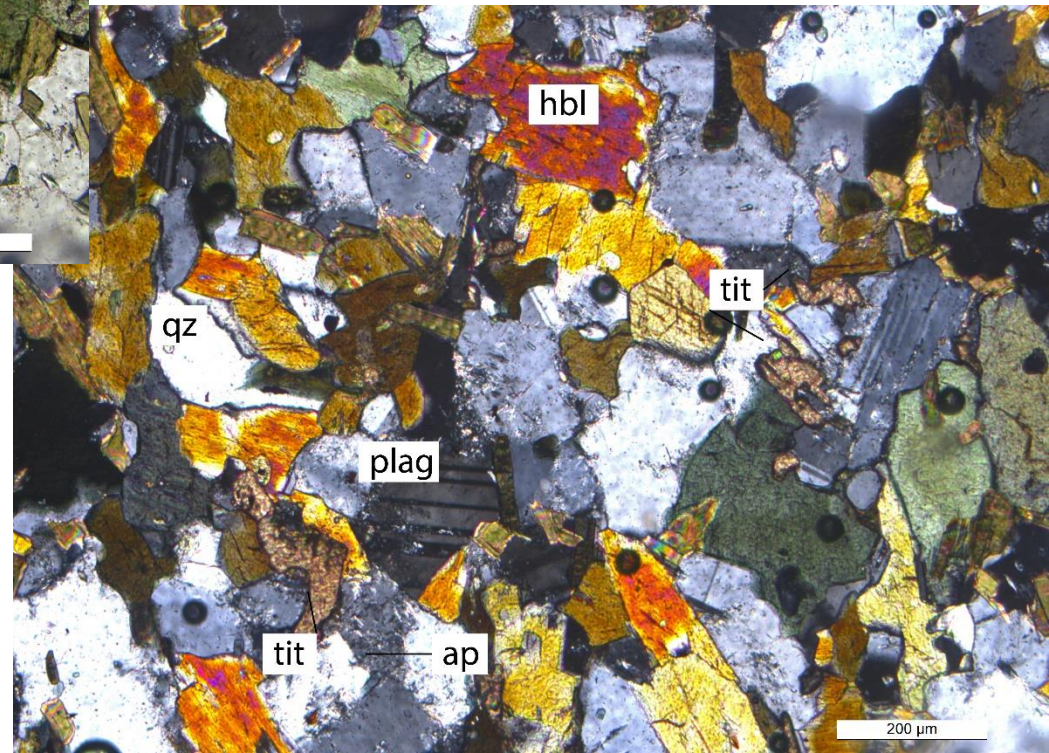
Amphibolit in Gneis; parallele & gekreuzte Polarisatoren

Titanit im Dünnschliff



200 µm = 0,02 cm

qz = Quarz
ksp = Kalifeldspat
plag = Plagioklas
bi = Biotit
hbl = Hornblende/Amphibol
zir = Zirkon
ap = Apatit



Amphibolit; parallele & gekreuzte
Polarisatoren

Gehalte U und Th in verschiedenen Gesteinen

- U: 2–4 ppm; Th: 7–13 ppm in der Erdkruste (Durchschnitt!)

- Beispiele aus Hessen (Stand Juli 2021):

Gestein	U (ppm)		Th (ppm)	
	min	max	min	max
Kalksteine/ tonige Kalksteine	5,0	38,0		
Mergelton/-stein, (z.T. vererzt!)*	5,0	93,0		
Sandsteine	5,0	29,0		
Meta-Rhyolite, -basalte, -trachyte	4,0	15,0	15,6	45,9
Konglomerate	5,0	38,0		
Granite i.w.S. (inklusive Biotit-, Hornblende-Granit)	4,3	15,8	5,1	42,4
Granodiorit	4,1	9,6	4,9	30,4
Gneis	4,3	7,0	14,7	22,9
Basalte i.w.S.	0,23	4,58	1,3	17,5

*vererzt = Anreicherung von U-haltigen Mineralen durch natürliche Prozesse

→ viele weitere Analysen in Zukunft nötig, recht übersichtliche Datenlage
(U und Th wurden in der Vergangenheit oft nicht gemessen)



Keine Angst vor Ihrer Küchenplatte



<https://www.sanier.de/kueche/arbeitsplatten>

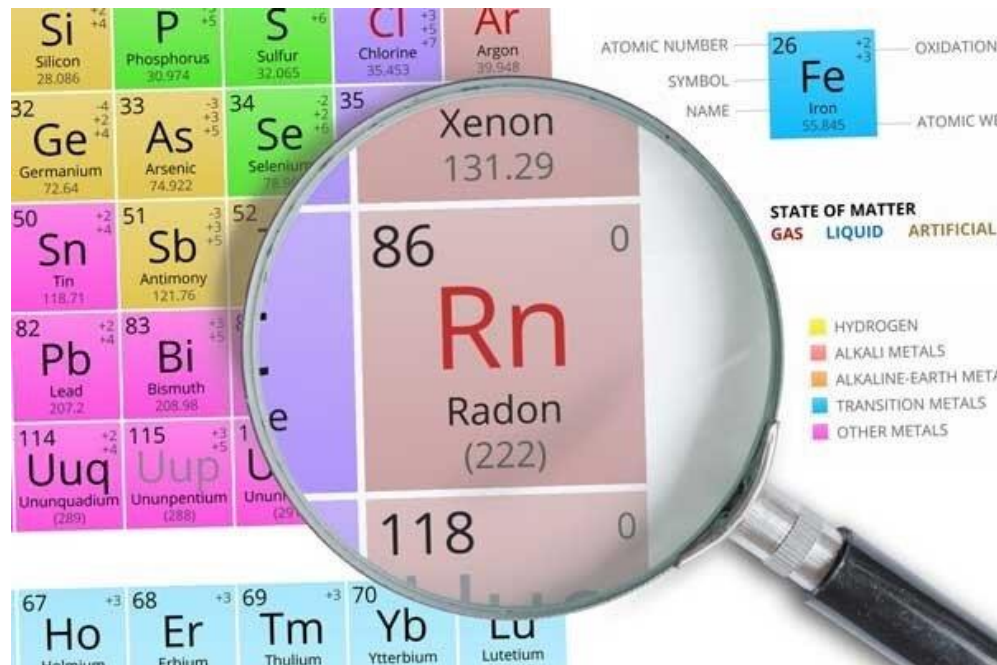
<https://www.deinkuechenplaner.de/blog/naturstein/>



<https://www.steinrein.com/glossar/migmatit/>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



<https://www.luftbude.de/luftungswissen/gesundheit/radon-im-haus-und-keller>

