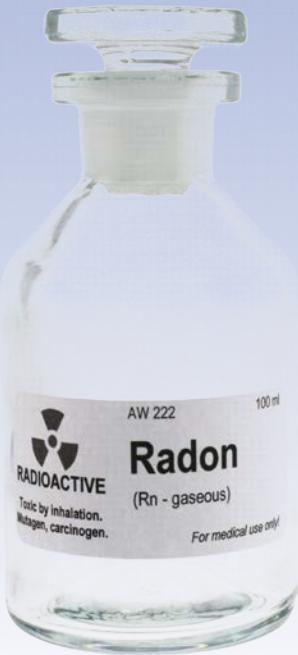


Radon fra bergarter – en radioaktiv gass fra stein



Tordenguden Thor ga opphav til navnet
på det radioaktive grunnstoffet thorium
Tre-relieff av Dagfin Werenskiold, Borggården, Oslo rådhus



Tom V. Segalstad *



* Førsteamanuensis i ressurs- og miljøgeologi,
Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo

Radon

The Periodic Table of the Elements

Showing groupings

Groups 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Periods 1 H He
2 Li Be Ne
3 Na Mg Al Si P S Cl Ar
4 K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr
5 Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe
6 Cs Ba La* Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn
7 Fr Ra Ac# Rf Db Sg Bh Hs Mt Uun Uuu Unb Uut Uuo Uup Uuh Uus Uuo

← metals non-metals →

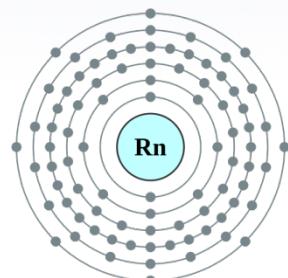
* Lanthanum series: La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu
Actinium series: Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

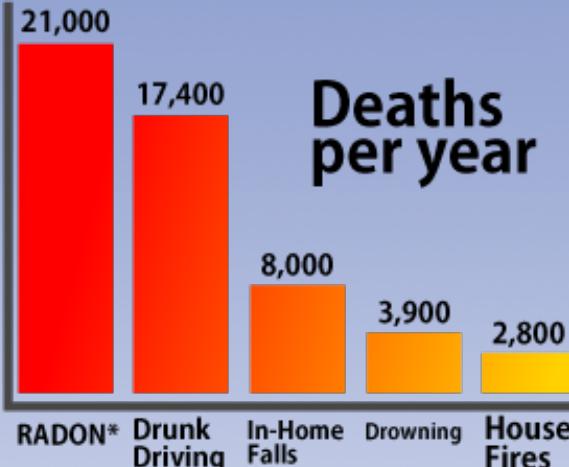
Key to background colours:

- The alkali metals (blue)
- The alkaline earth metals (red)
- Transition metals (yellow)
- Unnamed groups (green)
- Halogens (purple)
- The Noble gases (orange)
- Recent discoveries exact properties uncertain (grey)

86: Radon 2,8,18,32,18,8

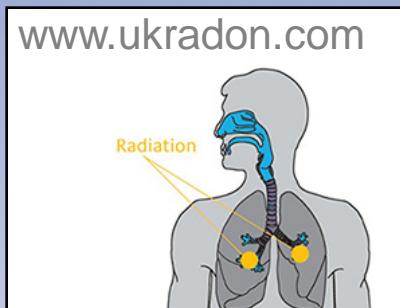
Radon er grunnstoff nr. 86 i det periodiske system, med kjemisk symbol **Rn**, er en edelgass.





* Radon is estimated to cause about 21,000 lung cancer deaths per year, according to EPA's 2003 Assessment of Risks from Radon in Homes (EPA 402-R-03-003). The numbers of deaths from other causes are taken from the Centers for Disease Control and Prevention's 2005-2006 National Center for Injury Prevention and Control Report and 2006 National Safety Council Reports.

Radon-risiko



www.stusabsoluteinspections.com

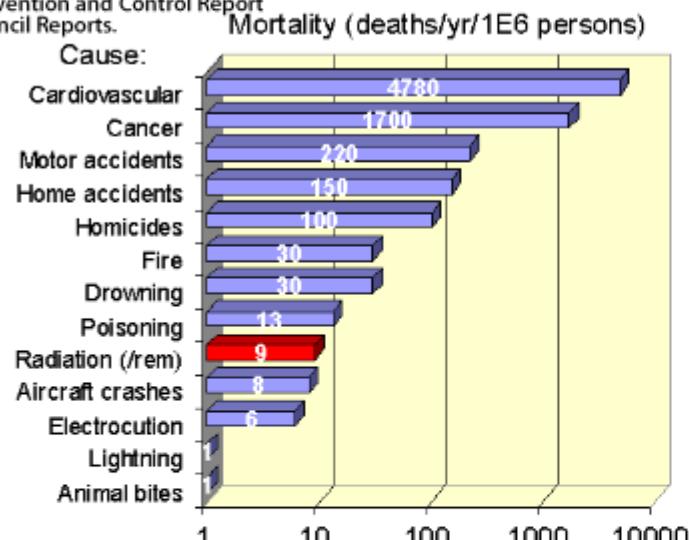
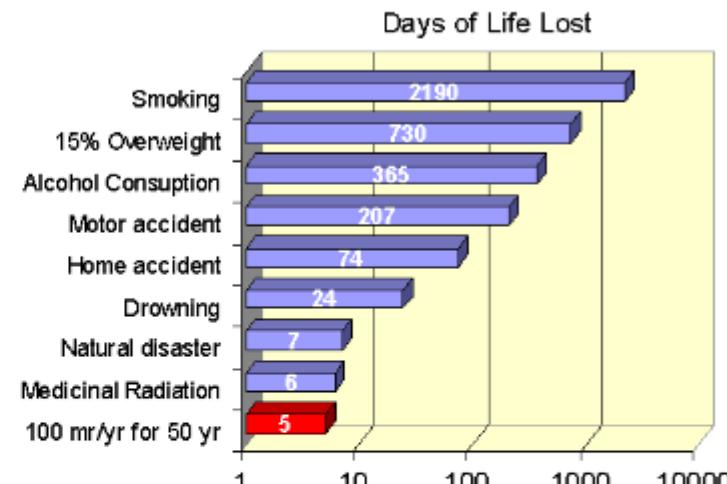


Figure 1. Mortality rates (deaths/per year/per Million people) versus cause of death. The radiation effects are estimated by linear extrapolation from high dose rates.



Jarica Barth, Alwood Middle School, Woodhull, IL

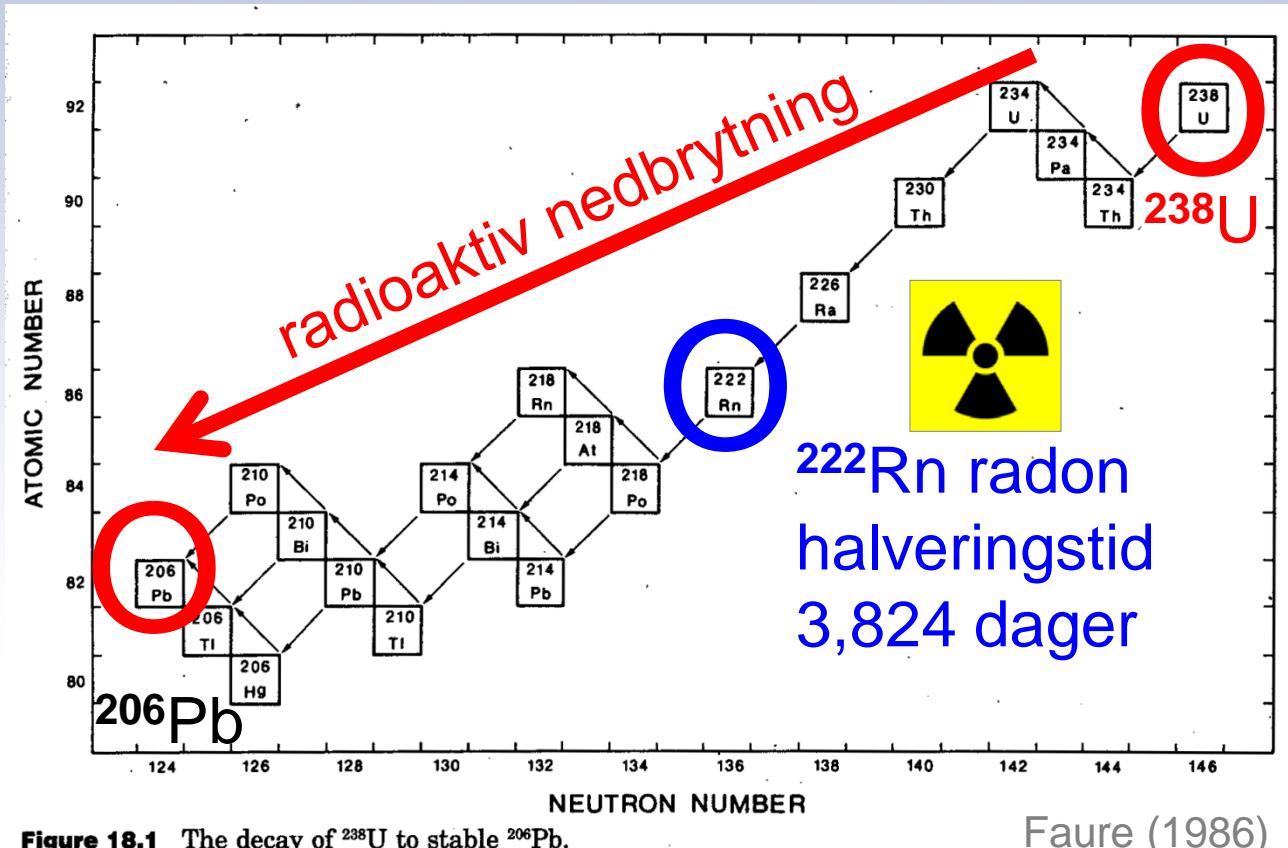


Rijssenbeek (2002)

Figure 2. Days of life lost from non-occupational sources of risk. The radiation effects are estimated by linear extrapolation from high dose rates.

Radons radioaktivitet

Radon har ingen stabile isotoper. 27 **radioaktive** isotoper av radon er kjent, fra ^{200}Rn til ^{226}Rn . Den lengstlevende er ^{222}Rn , med halveringstid $t_{1/2}$ på 3,824 dager, brutt ned fra uran-isotopen ^{238}U , og opptrer naturlig. ^{222}Rn kommer fra bakke til luft, og er eneste radon-isotop av geologisk signifikans for vår helse.



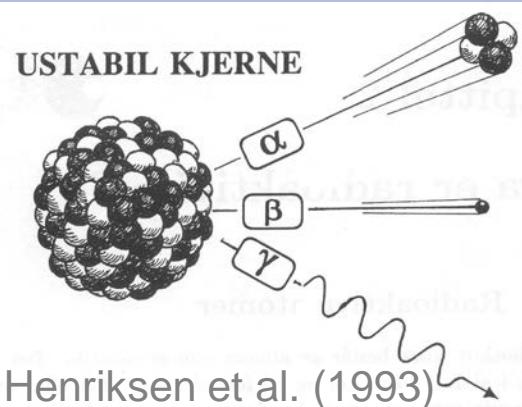
^{235}U bryter ned gjennom mange mellomledd til ^{207}Pb hvor ^{219}Rn har $t_{1/2} = 3,96$ s.

^{232}Th bryter ned gjennom mange mellomledd til ^{208}Pb hvor ^{220}Rn har $t_{1/2} = 55,6$ s.

Figure 18.1 The decay of ^{238}U to stable ^{206}Pb .

RADIOAKTIV STRÅLING

Radioaktiv nedbrytning skjer når visse grunnstoffer er ustabile, partikler avspaltes og stråling utsendes (alfa, beta, gamma).



Natural, 84%

~84% av mottatt strålings-dose har naturlige kilder.

Internal, 9.5%

Gamma, 13%

Cosmic, 12%

Products,
<0.1%

Discharges,
<0.1%

Radon, 50%

Medical, 15%

Occupational,
0.2%

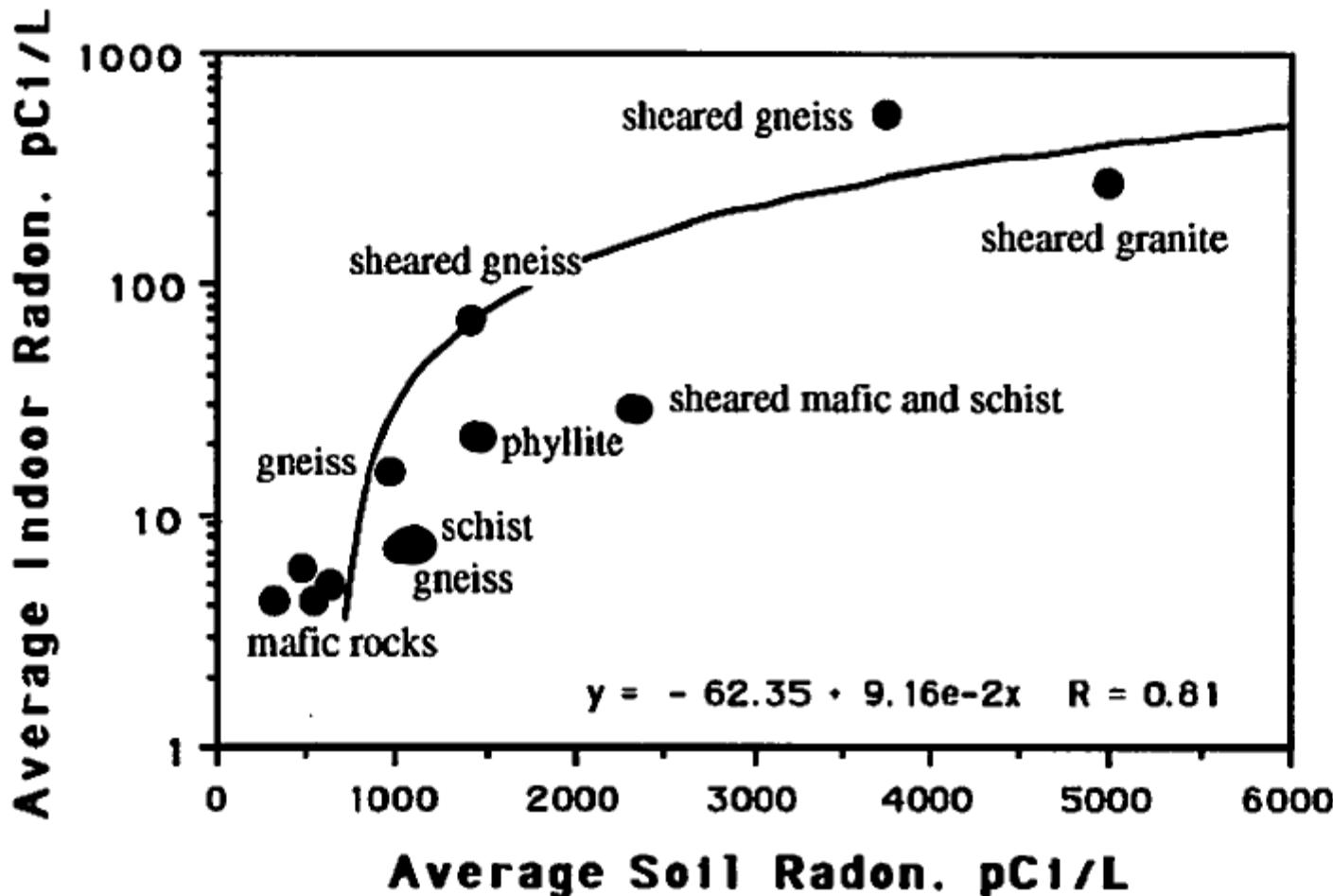
Fallout, 0.2%

Artificial, 16%



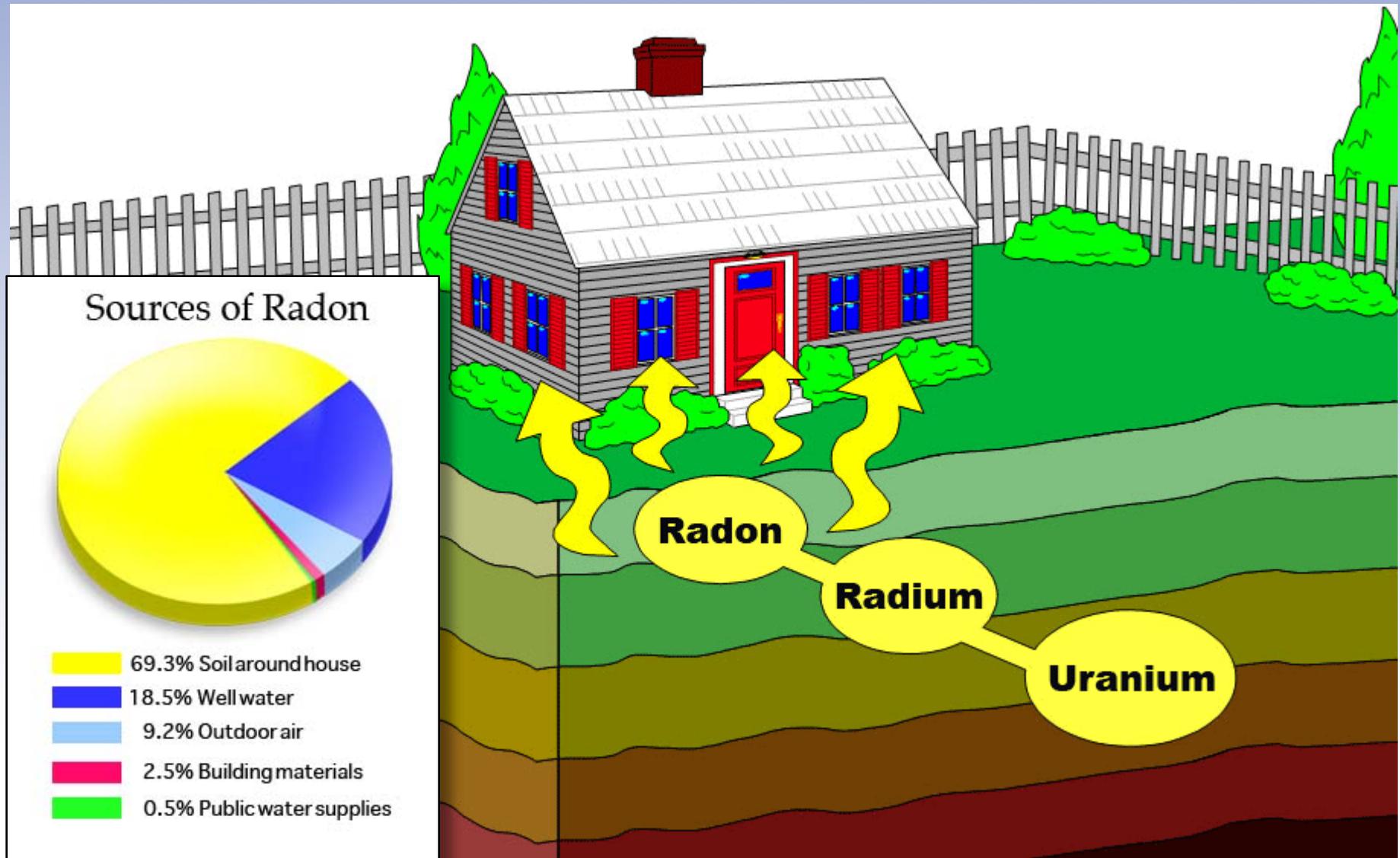
~16% av mottatt strålings-dose kommer fra kunstige kilder (inkludert litt fra TV og PC)

Radon-kilder i naturen - 1



Average indoor radon versus average soil radon for major rock units in the Piedmont of Maryland and in the Reading Prong of New Jersey and Pennsylvania.

Radon-kilder i naturen - 2



Hypighet av uran (kilde for radon)

Litt uran finnes i de fleste bergarter – uran er det 52. hyppigste grunnstoff i jordskorpen med ca. 1,8 - 4 gram pr. tonn (avhengig av kilde); 40 ganger mer enn sølv.

Granitt har ca. 4 (1 - 22) gram uran pr. tonn.

Basalt har ca. 0,8 (0,1 - 3,5) gram uran pr. tonn.

Sandstein har ca. 1,5 (0,5 - 4) gram uran pr. tonn.

Leir-skifer har ca. 3 (1 - 15) gram uran pr. tonn.

Svart-skifer har 3 - 1250 gram uran pr. tonn.

Havvann har ca. 0,003 gram uran pr. tonn.

Uran og thorium er kjemisk ganske like, og opptrer derfor ofte sammen i naturen. Men det er ca. 3 - 4 ganger mer thorium enn uran i jordskorpen. Derfor er $\text{Th}/\text{U} \approx 3 - 4$ i de fleste bergarter. Unntatt svarte skifre (f.eks. alunskifer), rike på uran, hvor Th/U kan være så lavt som 0,1.

Anrikning av uran i naturen - 1

Rogers &
Adams (1969);
Handbook of
Geochemistry,
Vol. II/5

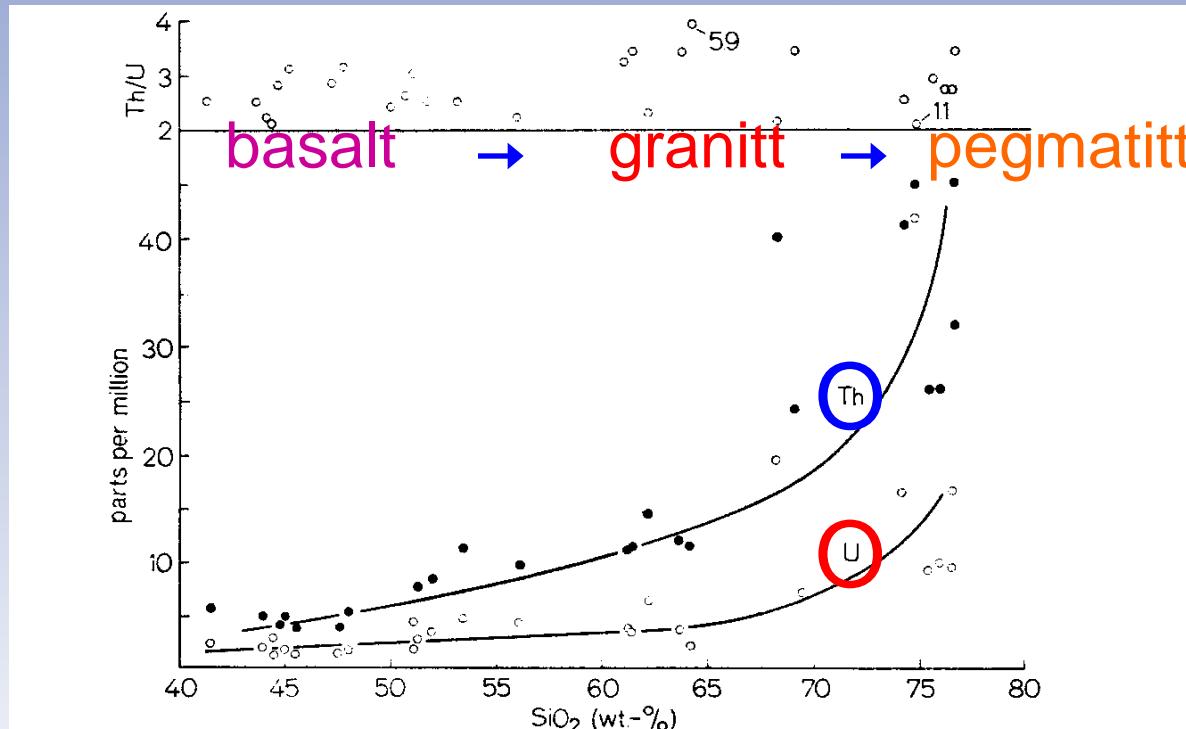
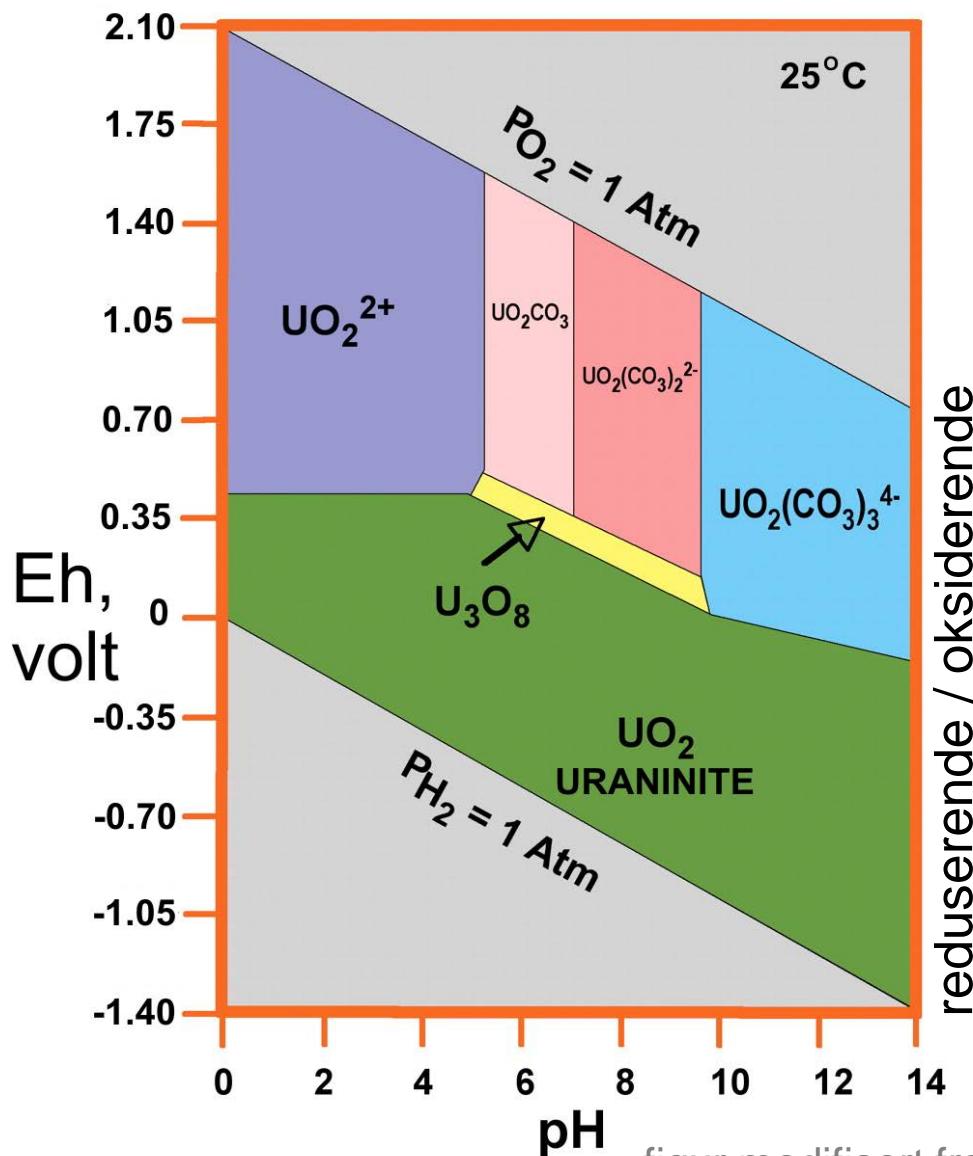


Fig. 90-E-6. Variation of thorium and uranium concentrations and Th/U ratios in alkalic volcanic and hypabyssal rocks of Big Bend National Park, Texas, U.S.A. [From PETERMAN, Z. E.: unpublished, personal communication (1963); based on data from LARSEN and GOTTFRIED, 1960]

Både uran og thorium tilhører grunnstoffer med store ioneradier og store valens-ladninger. Slike stoffer finner ikke plass i de vanlige bergartsdannende mineraler, og blir anriket i sene SiO₂-rike smelter, som danner f.eks. granitt og pegmatitter.

Anrikning av uran i naturen - 2



Uran løses og mobiliseres og utfelles i vann avhengig av redoks-forhold (Eh), surhetsgrad (pH), kompleksdanner og sorpsjon.

↓ Ved reduserende forhold er uraninititt (UO₂) stabil [U⁴⁺].

↑ Ved oksiderende forhold er uran løst som forskjellige vann-løselige komplekser avhengig av pH. Merk uranyl (UO₂²⁺) ved sure oksiderende forhold [U⁶⁺].

Anrikning av uran i naturen - 3

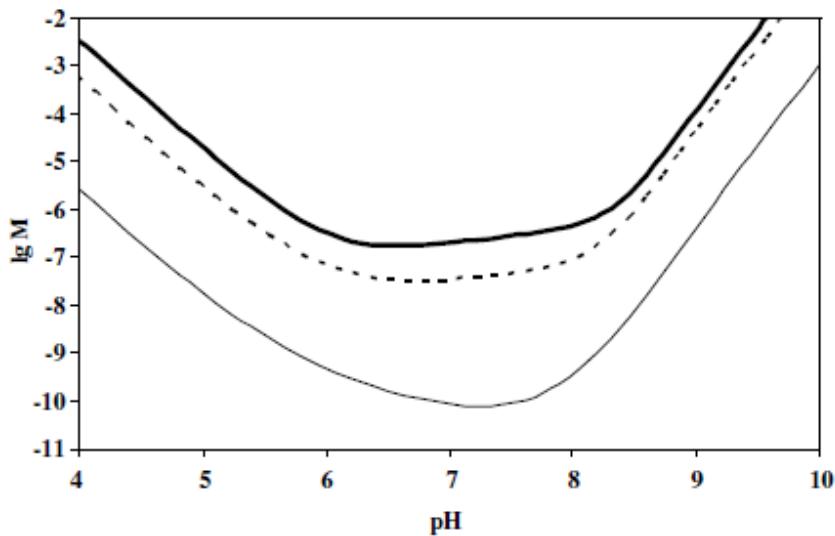


FIGURE 2. Plot of logarithm of total U in solution against pH calculated from becquerelite solubility in the presence of 10 mM Ca^{2+} and $p\text{CO}_2 = 32 \text{ Pa}$ with $\lg K_{\text{sp}}$ values of 29 (thin curve), 41.2 (dashed curve), and 43.7 (thick curve). The predicted solubility takes into account reactions listed in Table 2 with the exception of calcium uranyl carbonate ternary complexes.

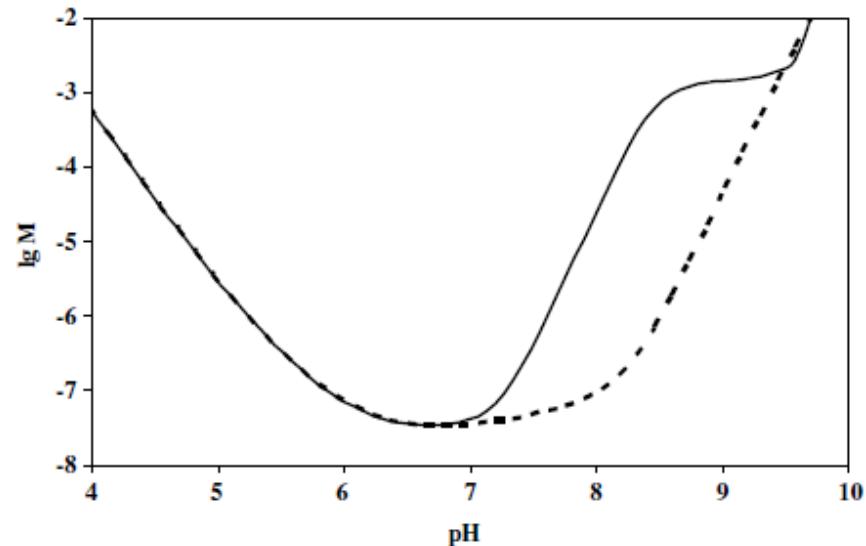


FIGURE 3. Plot of logarithm of total U in solution against pH from the predicted solubility of becquerelite with 10 mM Ca^{2+} and $p\text{CO}_2 = 32 \text{ Pa}$ in the presence (solid curve) and absence (dashed curve) of calcium uranyl carbonate ternary complexes. The predicted solubility takes into account reactions listed in Table 2.

Uran vil generelt løses stadig mer i vann ved sure og basiske løsninger (under og over pH ca. 7).

Merk logaritmisk skala for total molaritet (M) av uran i løsning (skalaens verdi 10-dobles for hver logaritme-enhet).

Anrikning av uran i naturen - 4

Eksempler på veldig løste
uran-komplekser ►

Merk betydningen av uranyl
(UO_2^{2+}) ved sure forhold.

Wanty et al. (1999)

Figure 1

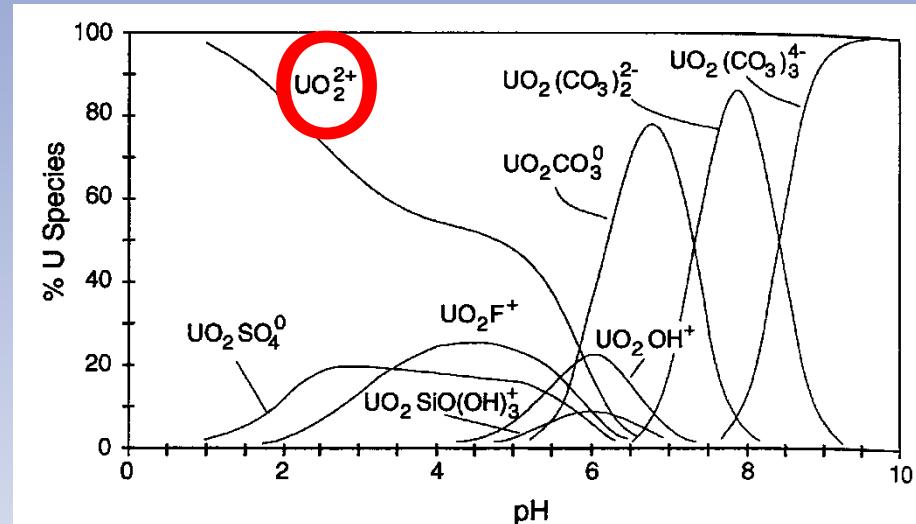
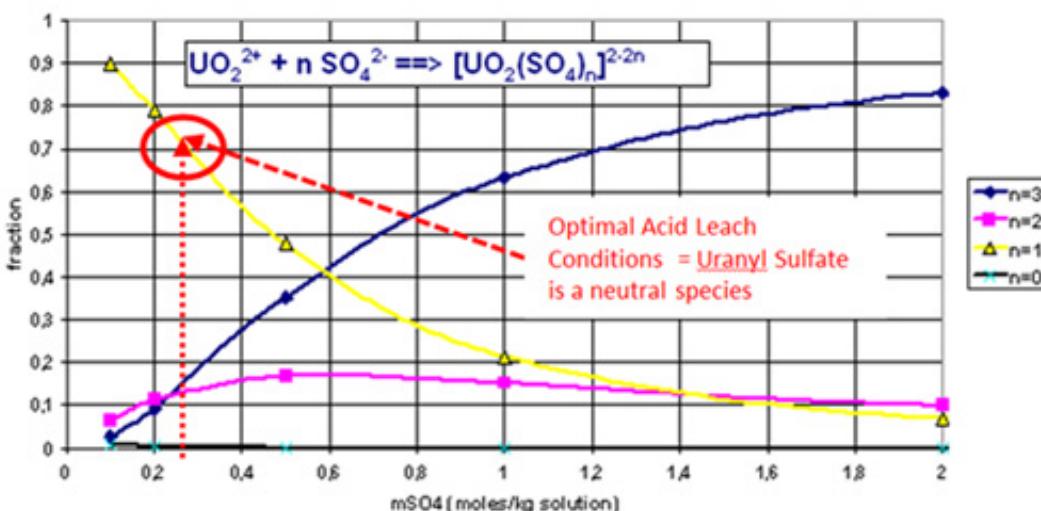


FIGURE 9.1—Calculated speciation of dissolved U as a function of pH, using the computer program PHREEQE. Conditions for this diagram are as follows: 2ppb U, 100 ppm each of SO_4 and Cl, 10 ppm Si, .1 ppm F, $P_{\text{CO}_2}=10^{-3.5}$ atm. The $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ complex becomes stable only at higher concentrations of SO_4^{2-} .

◀ Høy løselighet for
uranyl (UO_2^{2+}) pluss
sulfat (SO_4^{2-})
= uranyl-sulfat
(brukes også i industri).

Radon-kilder i naturen - 5

S	U	LUD- LOVIAN	RINGE- RIKS SST	THICKNESS IN METERS	UNIT NO.
I				> 500	
L		WEN- LOCKIAN	SPIRI- FERID S	9 2/10 8	25 24 23
U			PENTA- MERUS S	7c 115	22
R		LLAN- DOV- ERIAN	STRICK- LANDIA S	7a-b 6c 150	21 20 19
I		ASH- GILL- IAN	TRE- TASPIS S	5b 5a 4d 4c 4c	18 17 16 15 14
O		CARA- DOC- IAN	CHAS- MOPS S	4b 150	13 12 11
R		LLAND- EILIAN	OGYGO- CARIS S	4a α 3-4 4a a 1-2	10 9 8 7
D		LLAN- VIRNIAN	ASAPHUS S	3c 3b	6 5 4 3
O		ARENIG- IAN	CERATO- PYGE S	30	
V		TREMA- DOCIAN	OLENID S	20	
M			PARA- DOXIDES S	45	
C			HOLMIA S	30	
U				50	
A				50	
B				50	
R				50	
I				50	
A				50	
N				50	

2 Nedre palaeozoicum Oslo-
1 Asker; K. Bjørlykke (1974)



◀ Alunskifer

Sovelkis (pyritt)
konkresjon FeS_2

◀ Svalbard-kull
(til sammenligning)



Alunskifer, Slemmestad

Reduserende sjøbunn avsatte svart skifer med UO_2

Sekundære radon-kilder i naturen

48

kort sagt

Vol. 9, Nr. 1, 1967
Oslo katedralskole

Alunskiferen -

Denne overskriften kan synes grotesk, men er likevel en sannhet; alunskiferen "spiser" nemlig betong! Ideen til denne artikkelen fikk jeg før ca. 3 måneder siden, mens arbeidet pågikk for fullt på Rikshospitalets byggetomt noen meter fra skolen. Bergarten under denne skolen og under Rikshospitalets er alunskifer, en svart, sprø bergart som inneholder så mye karbon (16 - 17 %) at bergarten gløder når man antenner den. (De suten inneholder den små mengder uran, ca. 170 g UO₂ pr. tonn skifer). Etter skoletid for 3 måneder siden kunne den observante leser ha observert flere elever som rotet omkring i den sorte skiferen på byggetomten. Det som hadde vakt interessen hos disse, var noen små, gullaktige svovelkisboller. Disse er små ansamlinger av svovelkis, pyritt, som forekommer i alunskiferen fra solv- og gullglinsende støv og helt opp i enlestørrelse. Slike store svovelkisboller er bl. a. blitt funnet under byggearbeide i Grønse. Svovelkis-

bollene er ofte blitt forvekslet med meteoritter på grunn av den ofte kulerunde formen og den forholdsvis store vekten. Svovelkisbollene har formelen FeS₂, og blir ganske tunge som følge av jerninnholdet. Siden alunskiferen er såpass sprø, kan man rett og slett banke på skiferen, og ofte triller svovelkisbollene ut.

Men tilbake til alunskiferens kannibalisme. Det er svovelinnholdet som gjør den så farlig. Hvis svovelkisen blir påvirket av vann og luft, skjer følgende reaksjon:

$$4\text{FeS}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 15\text{O}_2 = 8\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$$

Som vi ser, gir reaksjonen svovelsyre. Siden cement og betong inneholder kalk, blir kalken i betongen omdannet til gips, kalsiumsulfat, når grunnmuren i husene her i byen kommer i kontakt med alunskiferens svovelsyre:



Men for at gipsen skal kunne

bergartenes kannibal

1. Sovelkis oksiderer med luft til **svovelsyre**.

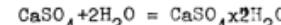
2. Uran oksiderer til **uranyl → radon**

kort sagt

SVCVELKISBOLLER I ALUNSKIFER
FeS₂ T 5 H 6
Finnested: Rikshospitalets
byggetomt, 14/9-66



krystallisere trengs det krystallvann, og følgende reaksjon går for seg under volumekning og svelling:



Følgen blir at grunnmuren begynner å sprekk opp i kontakten med alunskiferen. For å hindre at svovelsyre blir dannet, graver man ofte ned to elektroder i alunskiferen og sender strømmen igjennom. Dette blir ofte dyrt i lengden, slik at det

muligens blir gjort på en billigere måte på byggetomten på Rikshospitalet. Denne måten består ganske enkelt i å asfaltere over alunskiferen før grunnmuren blir bygd, for å hindre at svovelsyre kommer i kontakt med grunnmuren.

Som en kuriositet kan jeg nevne at det på Tøyen også er alunskifer i grunnen, og det sies at til og med Geologisk Museum ble bygget direkte på alunskiferen ---

Tom V. Segalstad



Alunskifer med brun «rust» og gul alun (jarositt) fra Slemmestad

Risiko-områder for radon fra skifer

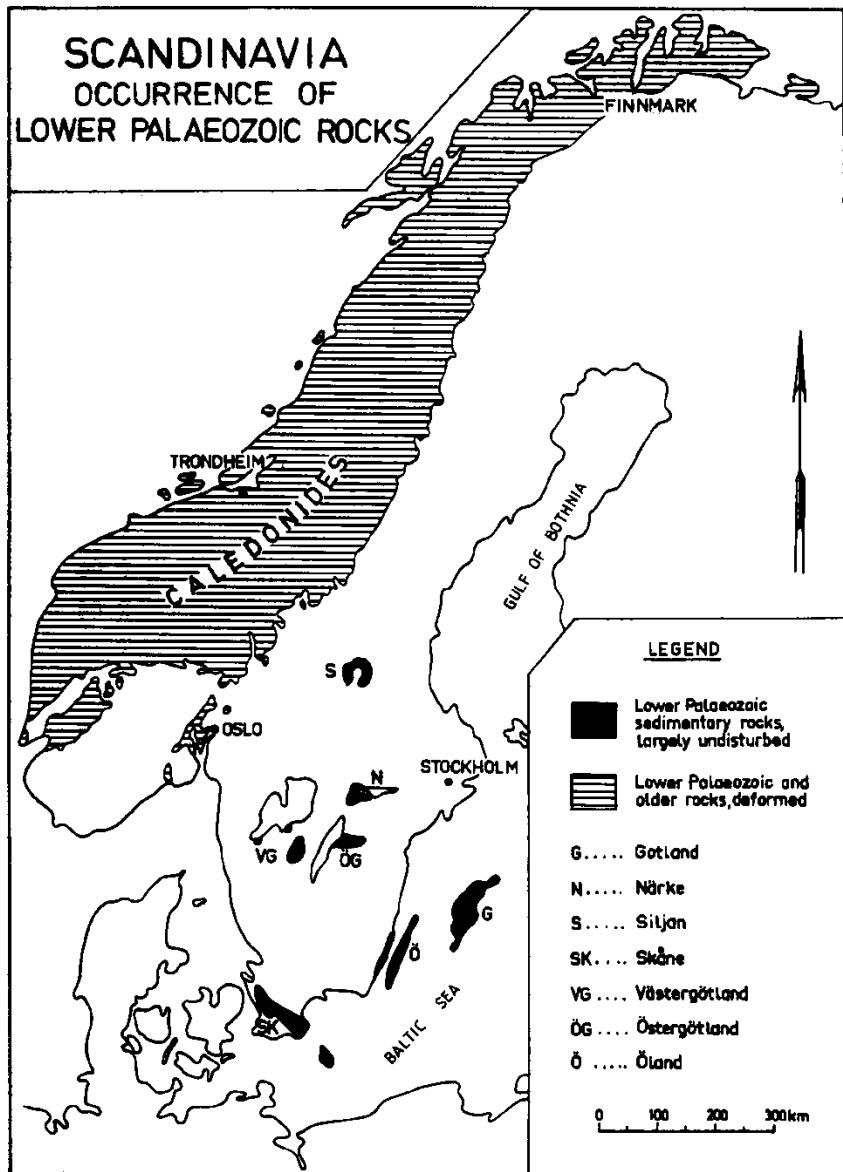


Fig. 1 Location of Lower Palaeozoic outliers and Caledonian orogen in Scandinavia.

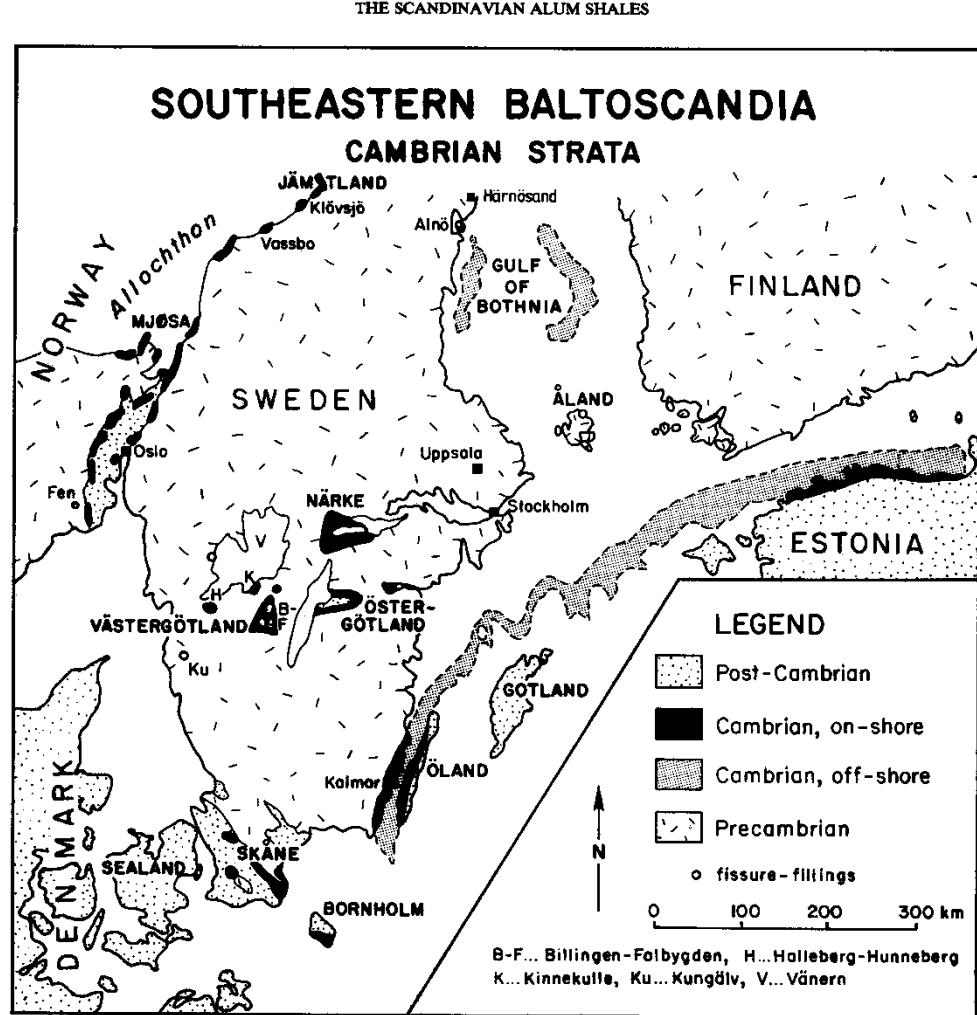


Fig. 4. Cambrian deposits of southeastern Scandinavia (from Bergström & Gec, in press).

Opp til 500 gram uran pr. tonn svart skifer (Buchardt, 1988).

Kart fra Andersson et al. (1985)

Korrelasjon mellom uran og radon

Uranium distribution in groundwater from fractured crystalline aquifers in Norway 265

Frengstad & Banks (2014)

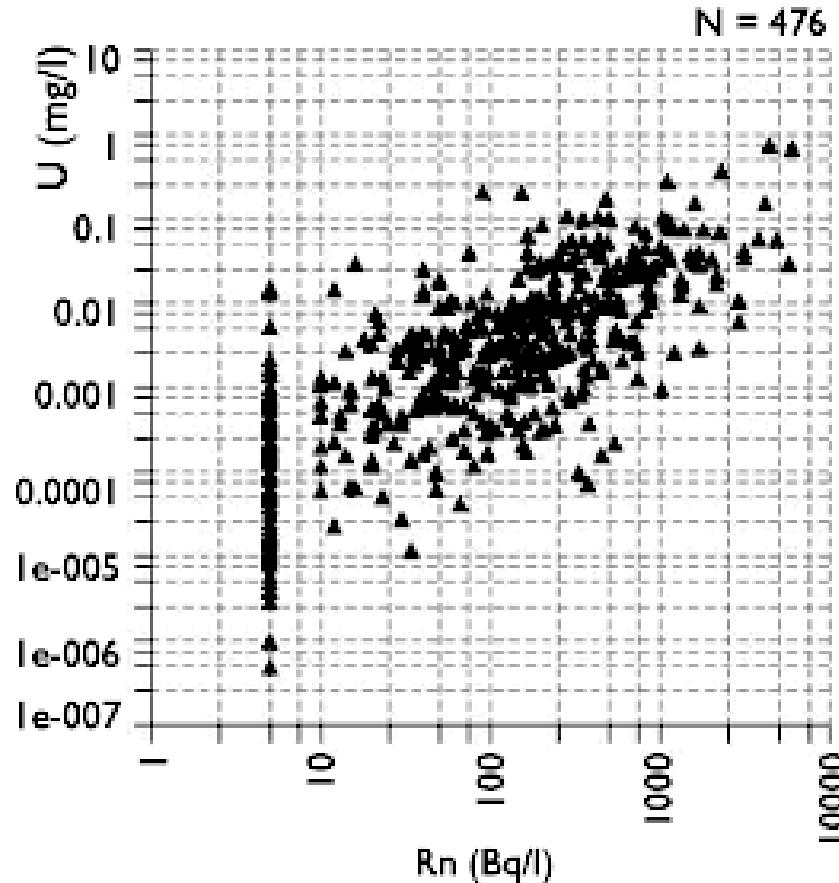
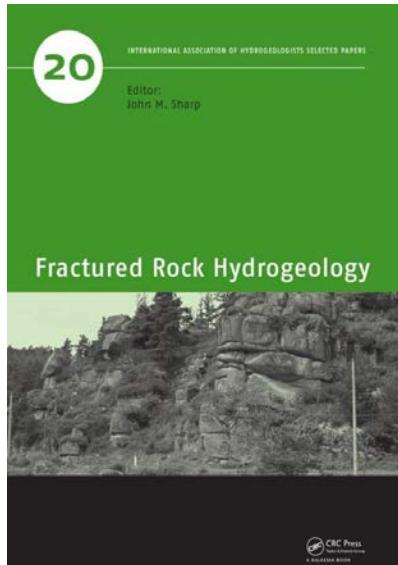
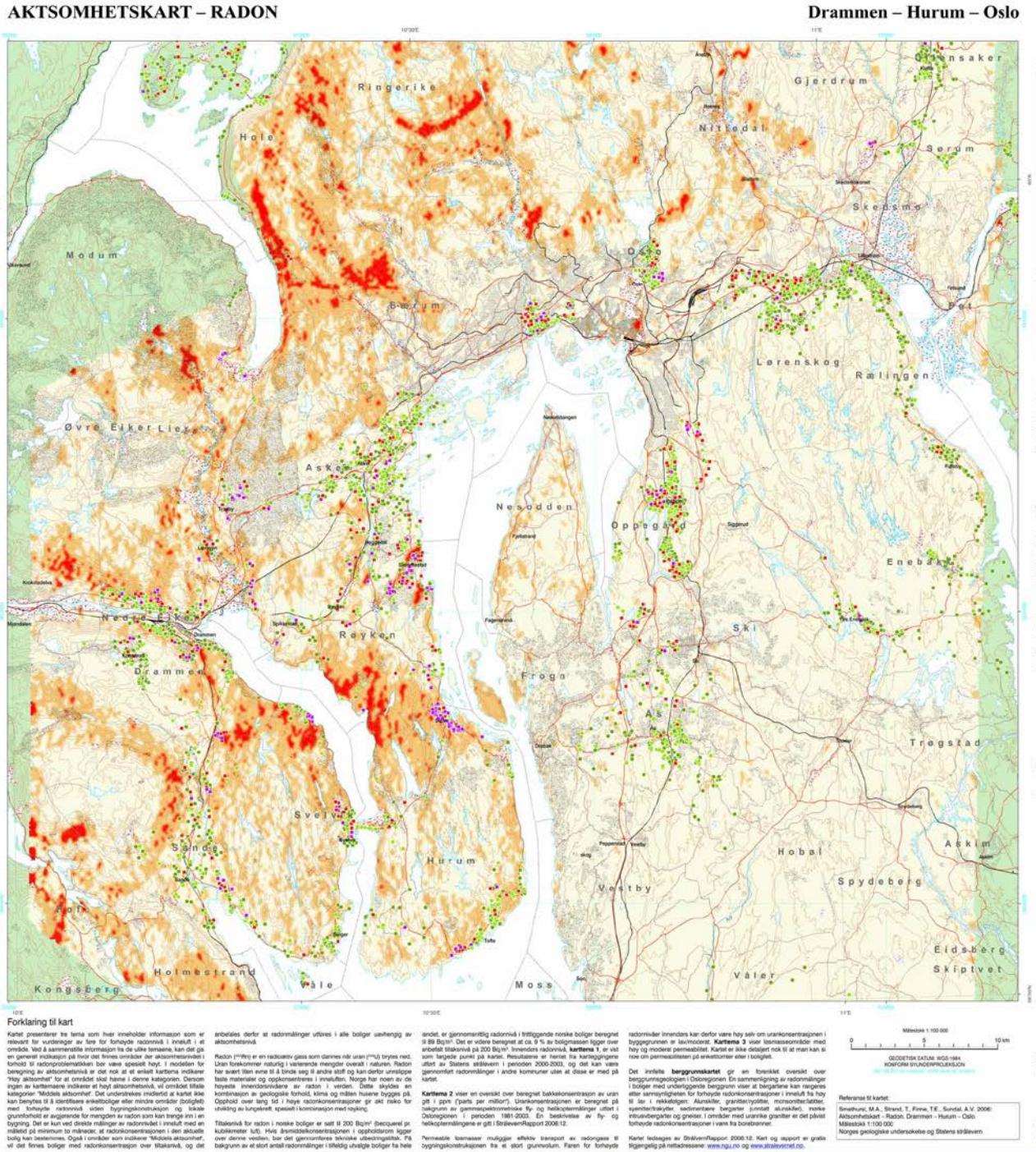
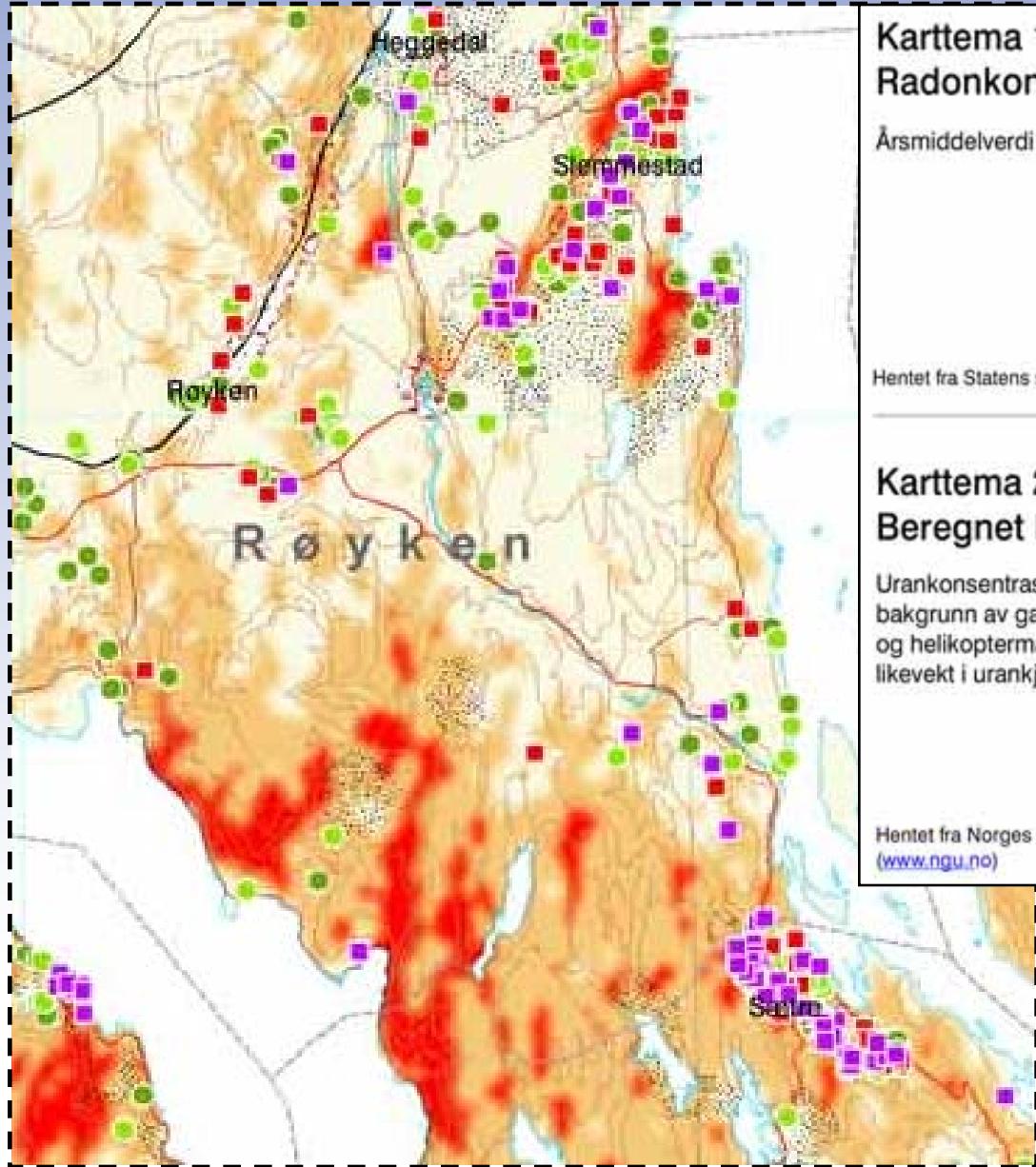


Figure 16.4 x-y plot of radon versus uranium concentrations in Norwegian crystalline bedrock groundwater from Survey 3 (from Frengstad et al., 2000). Note the log scales.

Aktsomhetskart – radon fra Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) & Statens strålevern



Korrelasjon mellom uran og radon



Karttema 1:
Radonkonsentrasjon i inneluft (Bq/m³)

Årsmiddelverdi

- < 100
- 100 – 200
- 200 – 400
- 400 – 5400

Hentet fra Statens stråleverns database over radonmålinger (www.stralevernet.no)

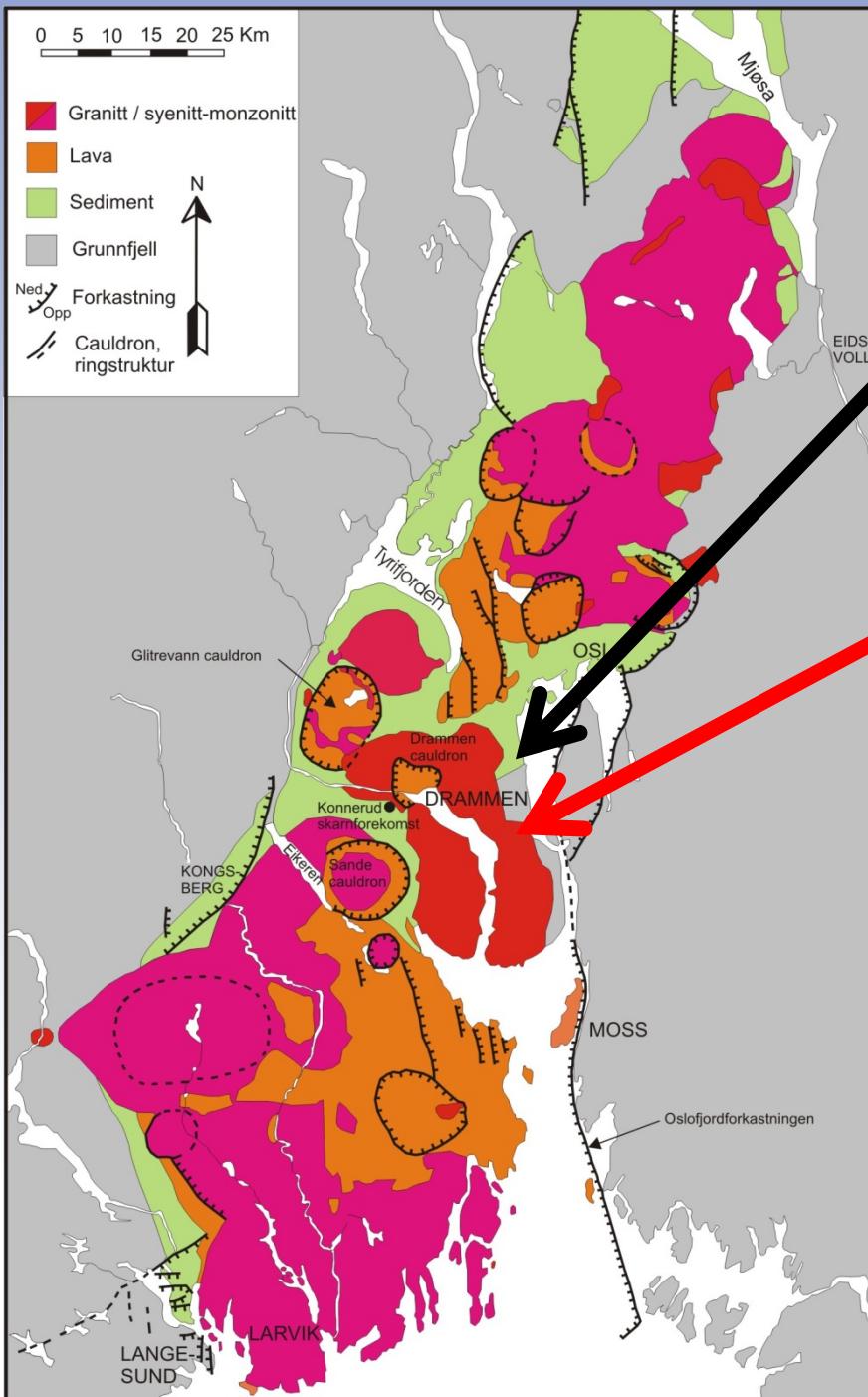
Karttema 2:
Beregnet bakkekonsentrasjon av uran (ppm)

Urankonsentrasjonen er beregnet på
bakgrunn av gammaspektrometriske fly-
og helikoptermålinger og forutsetter
likevekt i urankjeden



Hentet fra Norges geologiske undersøkelseres database over geofysiske målinger fra fly og helikopter (www.ngu.no)

Høy uran samsvarer ganske godt
med høy radon i inneluft;
svartskifer ved Slemmestad (N),
men granitt ved Sætre (S) ???



Oslofeltets geologi – eksempel: Røyken

◀ Slemmestad: Alunskifer (svart-skifer); opp til 180 ppm uran målt (Segalstad)

◀ Røyken: Drammens-granitt; 2,0 - 11,6 ppm uran målt (n=109; Raade, 1973) ↓



Kart-tegning: Lasse Telstø

Radon-målinger i vann i borhull

(fra Morland et al., 1997; NGU Bull. No. 432)

Over Drammens-granitt (Vestfold):

Nesten 90% hadde Rn-stråling > 500 Bq/l

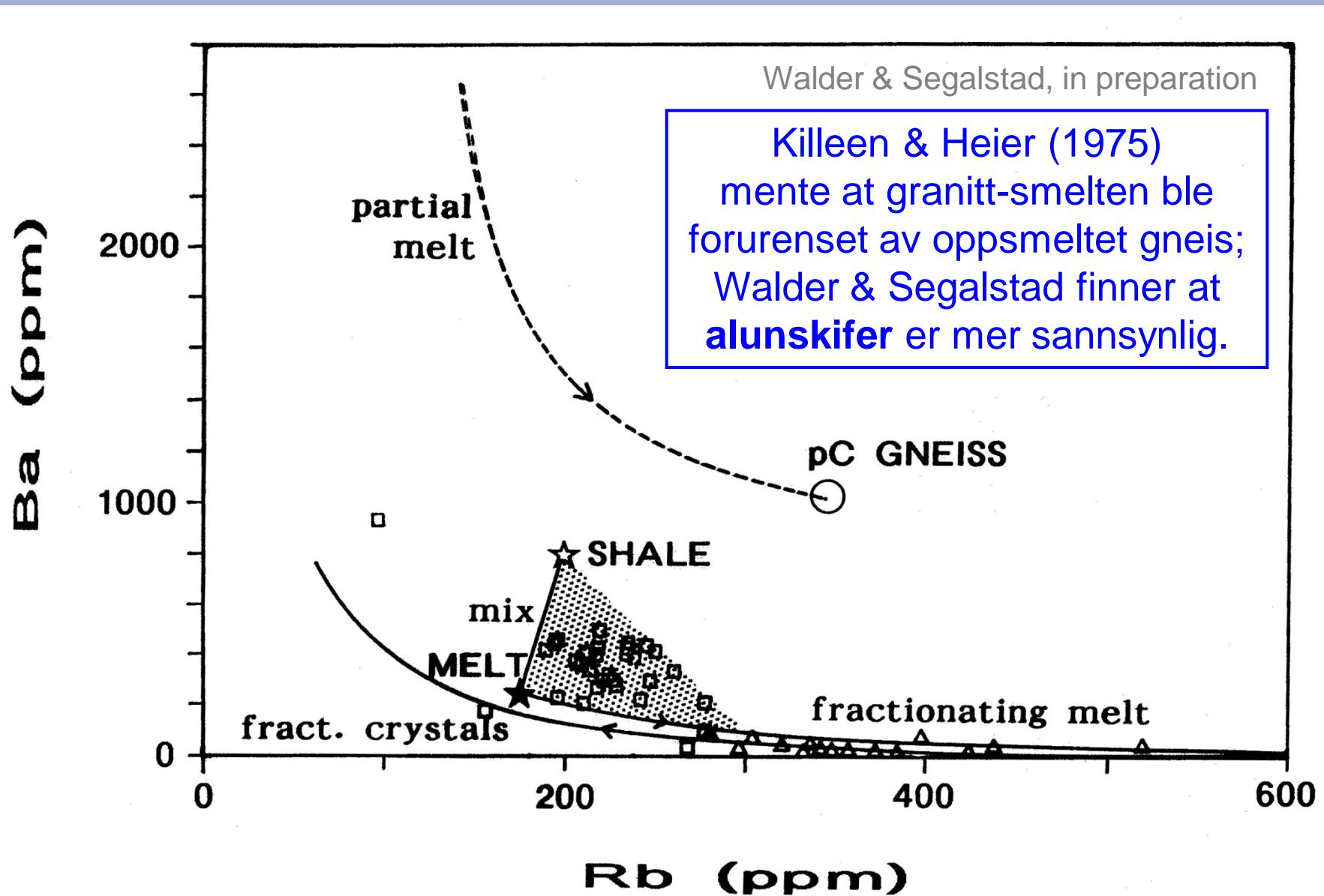
Mer enn 50% hadde Rn-stråling > 1000 Bq/l

Over Iddefjords-granitt (Østfold):

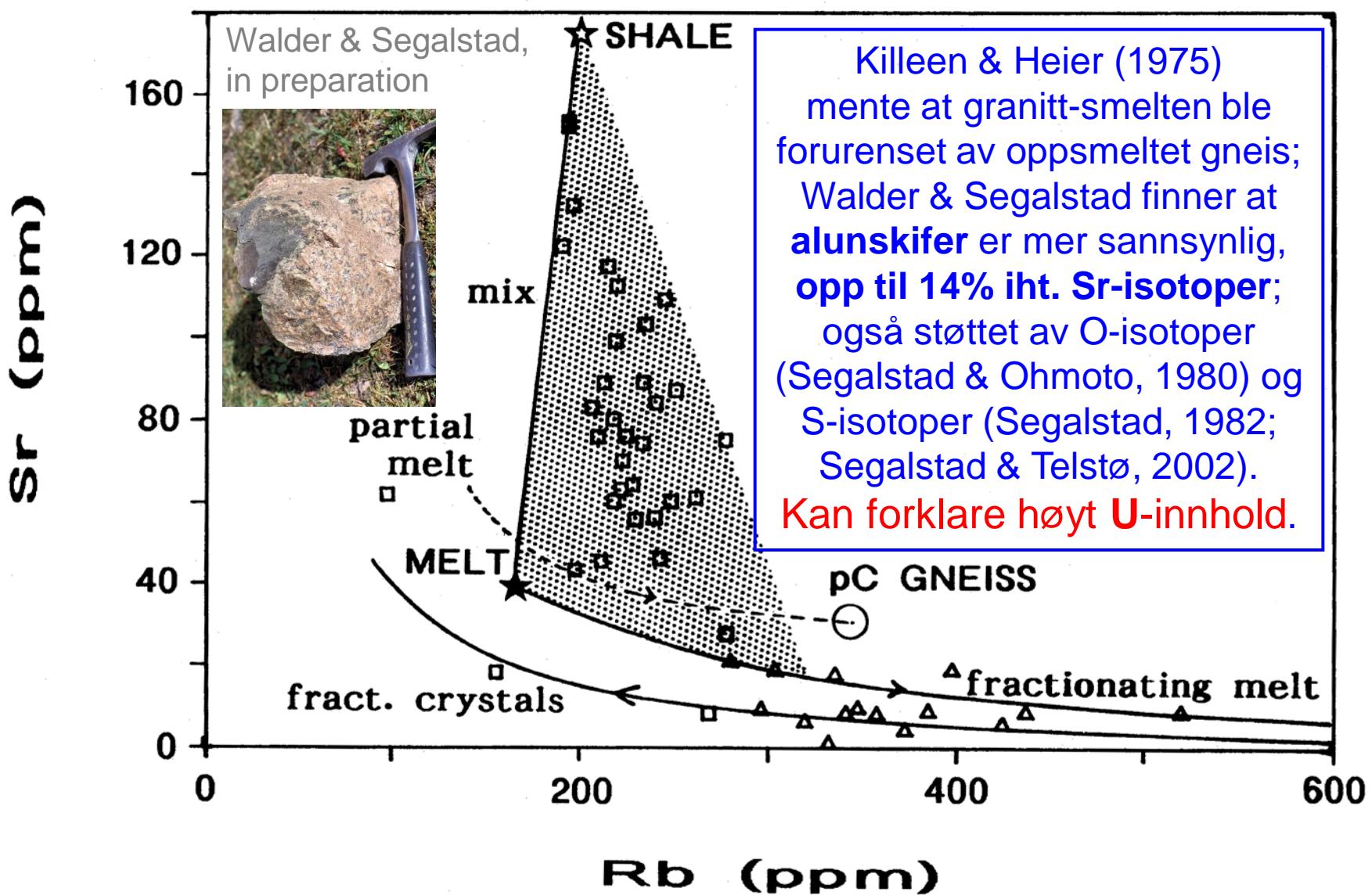
Nesten 80% hadde Rn-stråling > 1000 Bq/l

To maks.-målinger 8500 Bq/l og 19900 Bq/l
nær Fredrikstad.

Hva har skjedd i Drammens-granitten?



Hva har skjedd i Drammens-granitten?



Geologisk Museum (m.fl. i NHM) i Oslo bygget direkte på alunskifer



Ved ombyggingsarbeider observerte jeg at ventilasjon ble blokkert. Som verneombud krevde jeg da nye radon-målinger.

Geologisk Museum (m.fl. i NHM) i Oslo bygget direkte på alunskifer

Jobber i kreftfremkallende gass

En ny måling viser ekstreme forekomster av den kreftfremkallende gassen radon på Naturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo.

Universitas
8. sept. 2010



Statens strålevern anbefaler å iverksette tiltak hvis radonverdiene overskriver 100 Bq/m³. Den høyeste målingen på NHM, som ble gjort i spiserommet i driftsbygningen, var på over 9000 Bq/m³.

Frykter kostnadene

Teknisk sjef ved Universitetet i Oslo frykter høye kostnader når det skal ryddes opp i radonproblemet.

Geologisk Museum (m.fl. i NHM) i Oslo bygget direkte på alunskifer

Jobber

En ny måling viser ek-
gassen radon på Natu-

Statens stråle-
100 Bq/m³. D-
driftsbygninge

Frykter kos-

Teknisk sjef ved U

Nettavis for Universitetet i Oslo

UNIFORUM®

FORSIDEN NYHETER LESERBREV UNIFORUM MEINER OM UNIFORUM Tema Arkiv

Forsiden > Nyheter > 2011 > Mars > Høgt radonnivå: Må flytta frå Tøyen hovedgård

Høgt radonnivå: Må flytta frå Tøyen hovedgård

Denne veka må seksjonssjef *Jon Lønnve* og elleve andre i administrasjonen ved Naturhistorisk museum på UiO flytta ut frå andre etasje i Tøyen hovedgård. Grunnen er at radonnivået er for høgt i bygningen som var ferdig restaurert i 2008.

Av Martin Toft
Publisert 14. mar. 2011 15:28

Del på e-post Del på Facebook Del på Twitter



Geologisk Museum (m.fl. i NHM) i Oslo bygget direkte på alunskifer



Vann og luft reagerer med alunskifer → svovelsyre, som reagerer med sement til gips, som sveller og **lager sprekker**. Svovelsyre reagerer med UO_2 og lager uranyl-sulfat, som sammen med UO_2 bryter ned og **danner radon**.

Geologisk Museum (m.fl. i NHM) i Oslo bygget direkte på alunskifer



Radonmåling og tiltak i kjeller utilstrekkelig.

Flere kilder til radon i bygningen:

- Alunskifer + Drammens-granitt i veggene.
- Målinger viste pH lavere enn Drikkevannsforskriften; syre kom muligens inn i vannrørene fra grunnvann i alunskifer, med uranyl-sulfat, radon og tungmetaller.
- ▶ Ventilasjons-tiltak og skifting av vannrør.

Uran- & thorium-rik monazitt

American Mineralogist, Volume 63, pages 757–761, 1978

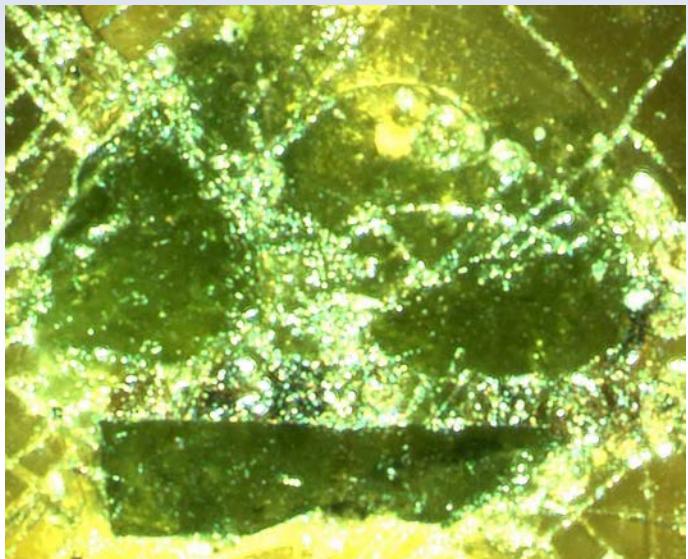
A uranium- and thorium-rich monazite from a south-alpine pegmatite at Piona, Italy

CARLO MARIA GRAMACCIOLI

Istituto di Chimica Fisica, Università di Milano
Via Golgi 19, I-20133 Milan, Italy

AND TOM VICTOR SEGALSTAD

Institutt for Geologi, Universitetet i Oslo
P. O. Box 1047 Blindern, Oslo 3, Norway



Mikroskop-foto
av grønn, Th-
rik monazitt fra
Piona, Italia,
montert i en
messing-
sylinder med
epoxy for
analyse med
elektron-
mikrosonde.
 $\varnothing = 0,5 \text{ mm}$.

Mer enn 35 år siden forsket
jeg på en grønn U- & Th-rik
monazitt fra Alpene i Italia,
med over 15 vekt% UO_2 .

Table 3. Chemical composition (rim) of uranium- and thorium-rich monazite from Piona, Italy. Structural formula (right column)
based on 16 oxygens

	Weight percent	Atomic proportion
FeO	tr	
CaO	4.45	0.742
K_2O	0.71	0.140
ThO_2	► 11.34	0.401
UO_2	► 15.64	0.541
Y_2O_3	1.01	0.083
La_2O_3	13.89	0.796
Ce_2O_3	16.31	0.928
Pr_2O_3	1.64	0.093
Nd_2O_3	2.34	0.130
Dy_2O_3	0.05	0.002
P_2O_5	31.02	4.082
SiO_2	0.16	0.025
Sum	98.56	

tr = traces.

Not detected: Sc, Cr, Nb, Ta, Zr, Hf, Al, Ti, Mn, Na, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

Uran- & thorium-rik monazitt

Det er godt å se at den grønne thorium-rike monazitten fra Alpene ble brukt som eksempel på at **U- og Th-kjernekraft-avfall kan lagres i monazittstrukturen.**



Grønn Piona-monazitt;
Gramaccioli & Segalstad (1978)

JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 32 (1997) 5851–5887

Review

The immobilization of high level radioactive wastes using ceramics and glasses

I. W. DONALD, B. L. METCALFE, R. N. J. TAYLOR
Atomic Weapons Establishment, Aldermaston, UK

Typical monazite materials found in nature contain significant amounts of Th and U, with monazite from Piona in Italy containing ≈ 15 wt % UO_2 and 11 wt % ThO_2 . This suggests that these lanthanide orthophosphates could act as useful hosts for the heavier actinides not normally found in nature, in particular Pu. Monazite deposits found in Brazil have been dated as over two billion years old, thereby confirming their excellent stability. In addition, monazites are known to possess negative temperature coefficients of solubility, in contrast to other candidate nuclear wasteforms, including borosilicate glass, for which solubility in aqueous media increases with temperature.

AVSLUTNING



"I hope they've checked this place for radon."