

# NORDISK FORUM FOR BYGNINGSKALK

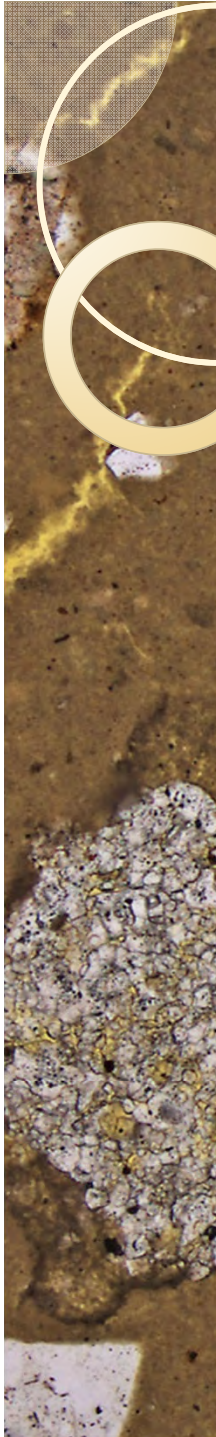
## Hvad er hydraulisk kalk?

*En kort introduktion til kemien og de tekniske egenskaber hos hydraulisk kalk*

Torben Seir

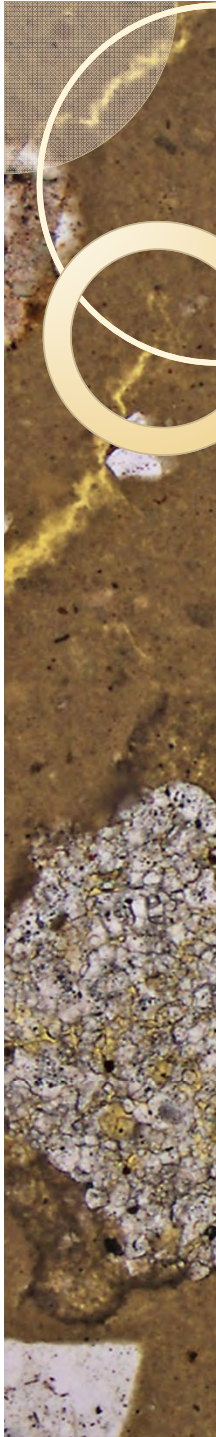
SEIR-materialeanalyse A/S





# Hydraulisk kalk - indledning

- Hvad er hydraulisk kalk
- Hvilke kalkstentyper er anvendt
- De hydrauliske komponenter
- De hydrauliske mineraler og deres dannelse
- Sammensætningen og brændingen af hydraulisk kalk
- Hydraulisk kalk før og nu



# Hydraulisk kalk - definition

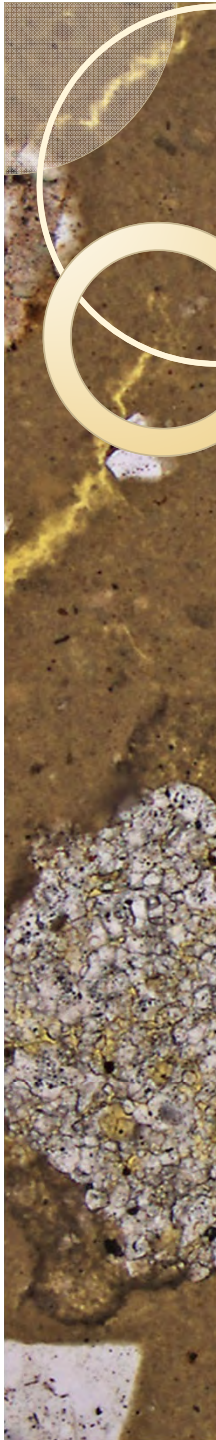
Bygningskalk fremstillet ud fra:

En uren kalkholdig bjergart (kalksten) med indhold af hydrauliske komponenter (primært ler og kisel),

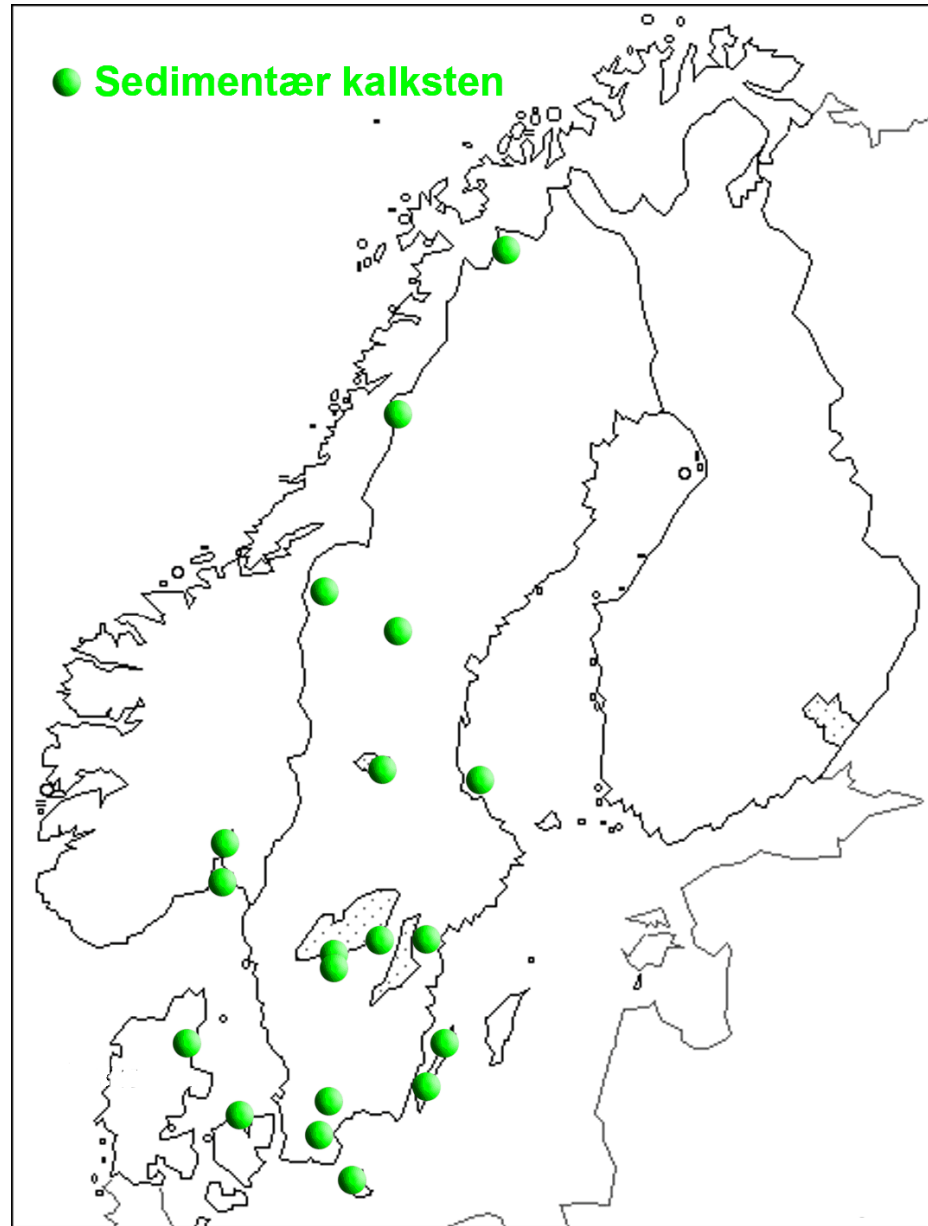
som ved brænding er omdannet til hydrauliske mineraler (primært calciumsilikater),

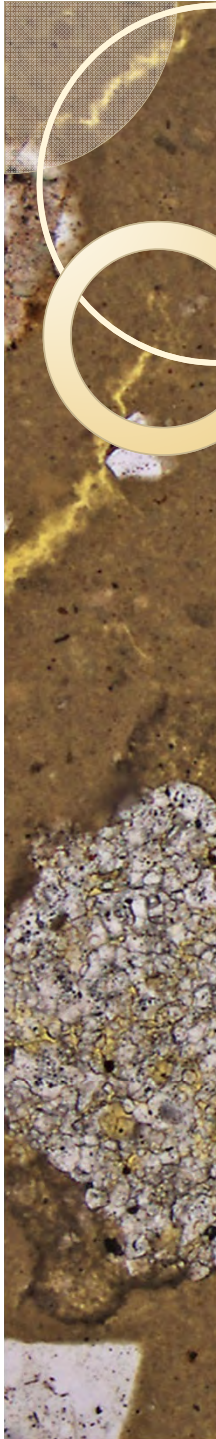
som kan reagere med vand (hydratisere) under dannelsen af hydrauliske reaktions-produkter (primært hydrerede calciumsilikater - C-S-H geler)

- også kaldet *vandkalk* (i modsætning til *luftkalk*)

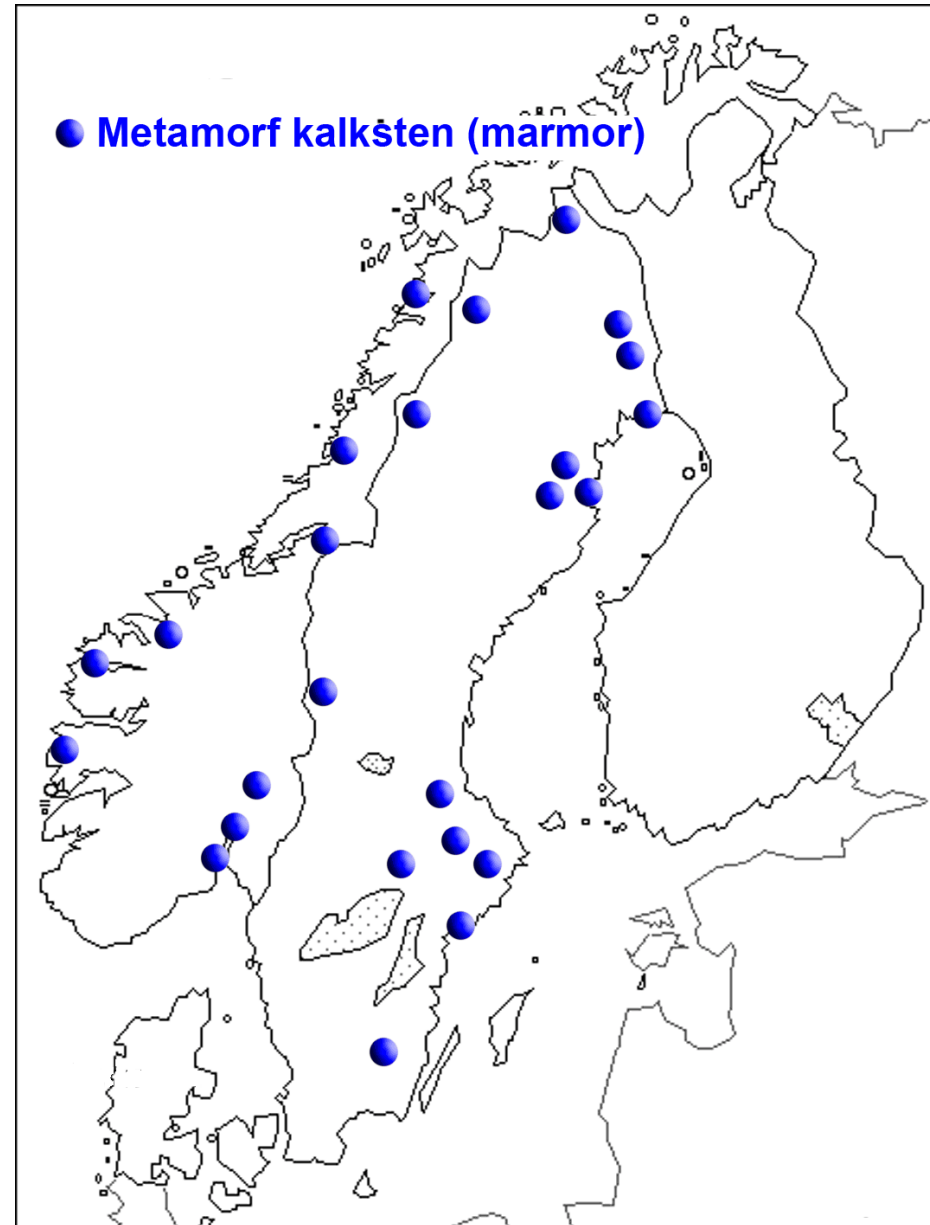


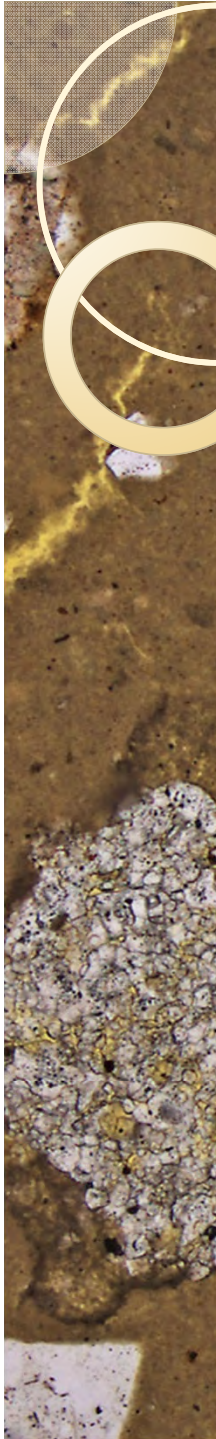
Sedimentær kalksten  
med indhold af:  
Ler og kisel



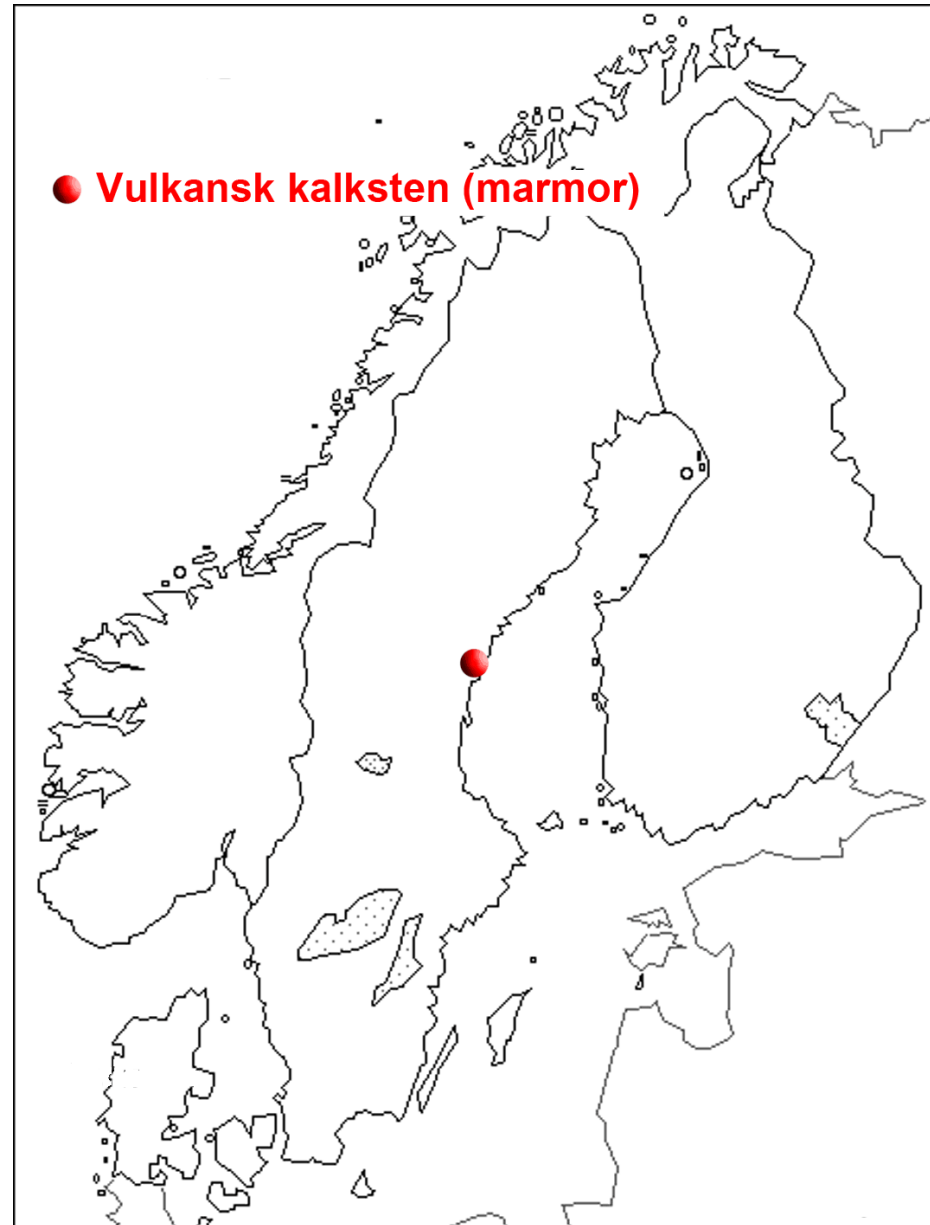


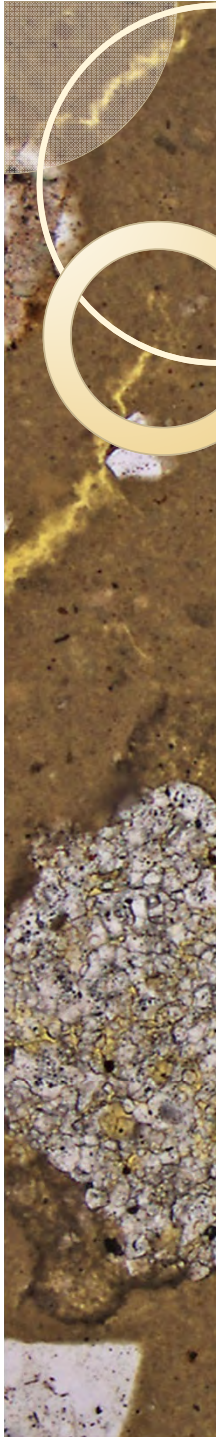
Metamorf kalksten  
(marmor)  
med indhold af:  
Silikat-mineraler





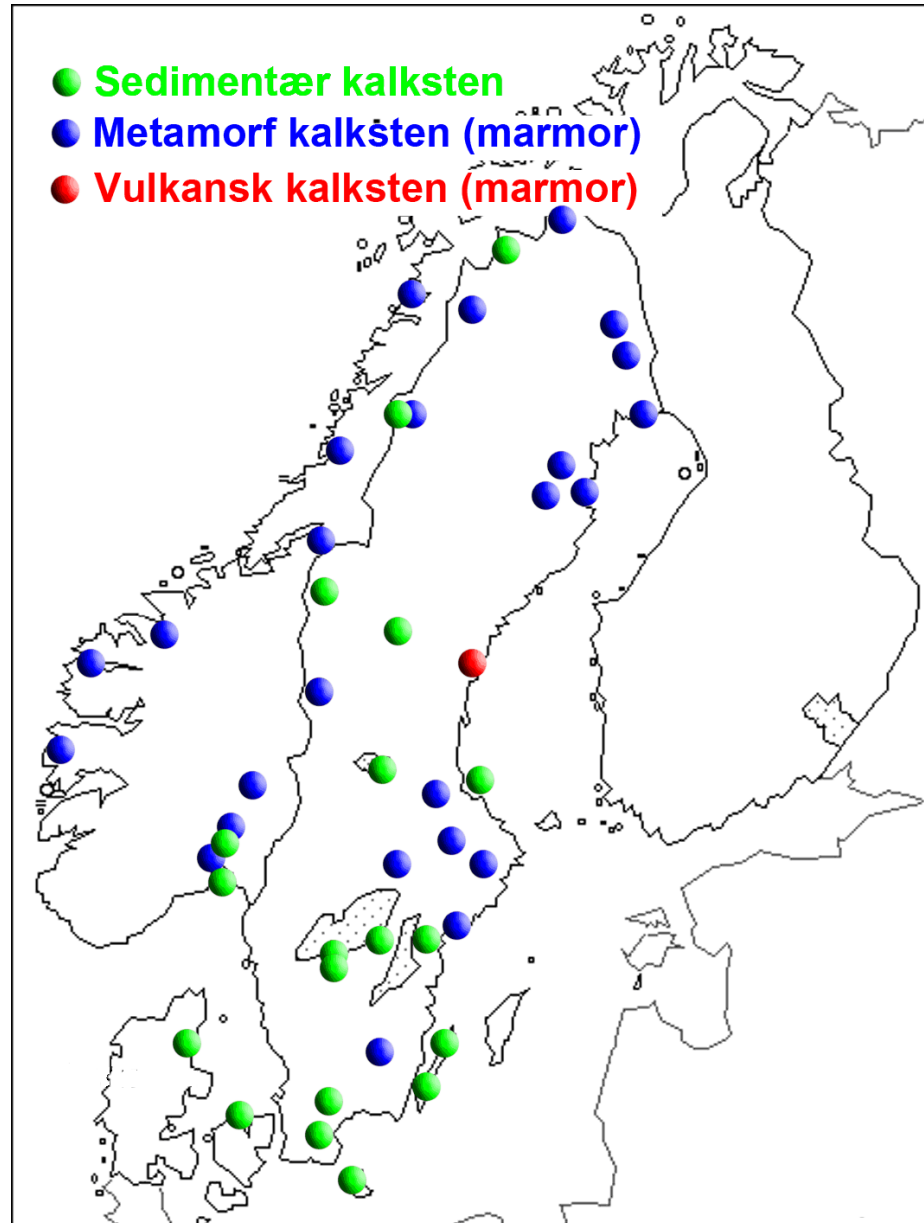
Vulkansk kalksten  
(marmor)  
med indhold af:  
Silikat-mineraler

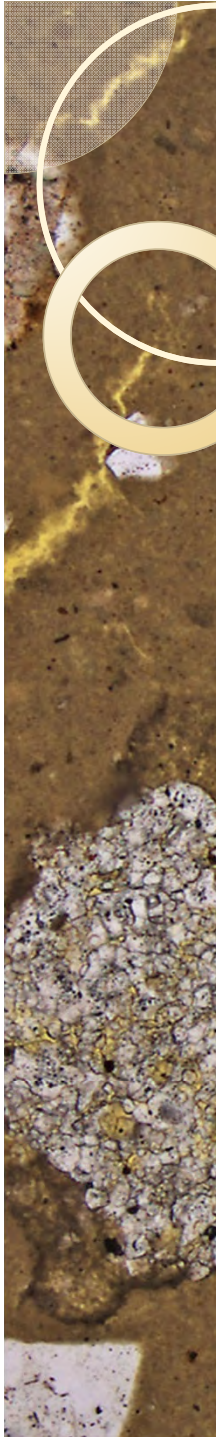




## Urene kalkholdige bjergarter i Skandinavien

(Finland er ikke glemt – data mangler)



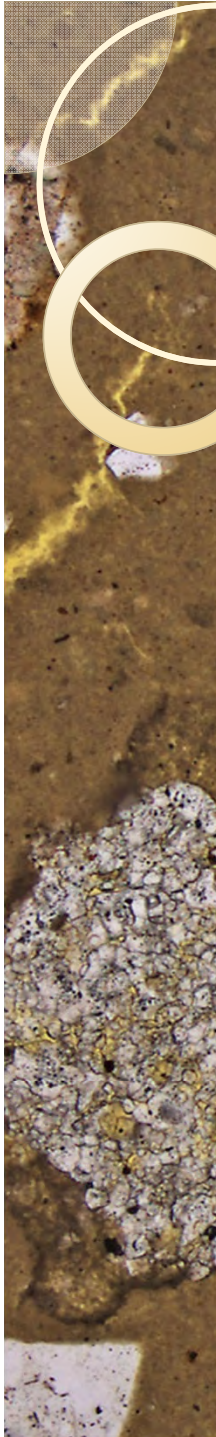


# Hydraulisk kalk – I nutiden

I dag er hydraulisk kalk en industrielt fremstillet importvare fra Frankrig, Tyskland, Portugal mv.

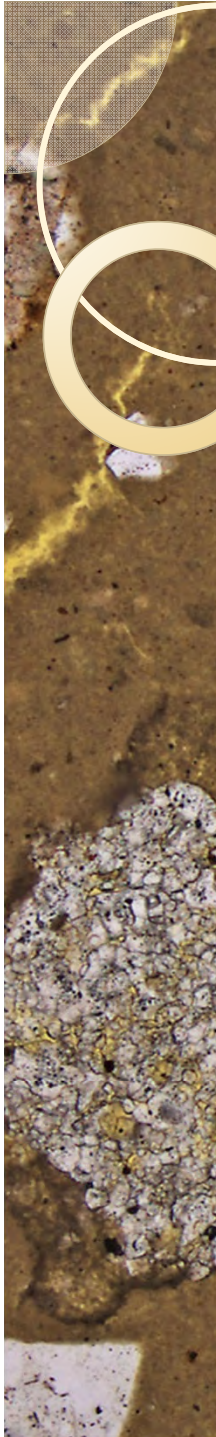
(bortset fra lokale småskala brændinger)





# De hydrauliske komponenter

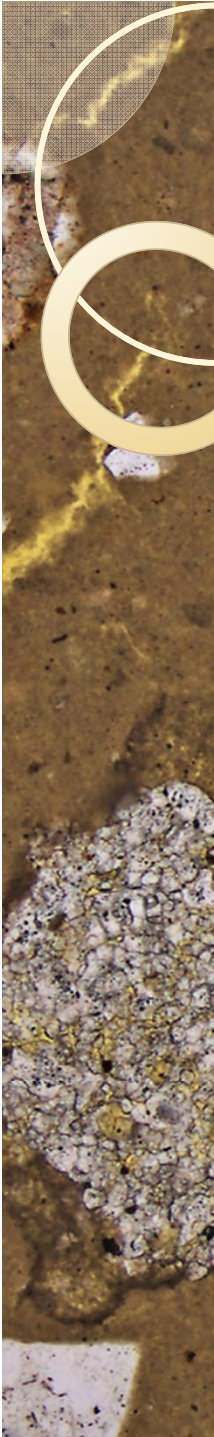
<b>Komponent</b>	<b>Mineraler</b>	<b>Grundstoffer</b>
Ler	Illit, kaolinit mv.	<u>Silicium (Si)</u> <u>Aluminium (Al)</u> Natrium (Na) Kalium (K) mv.
Kisel og flint	Kvarts, opal, kalcedon	<u>Silicium (Si)</u>
Sand	Kvarts, feldspat, biotit, muskovit, hornblende, granat, mv.	<u>Silicium (Si)</u> <u>Aluminium (Al)</u> Magnesium (Mg) Natrium (Na) Kalium (K) mv.
Metamorfe og vulkansk dannede silikatmineraler	Pyroxen, kvarts, feldspat, muskovit, biotit, granat mv.	Natrium (Na) Kalium (K) mv.



# De hydrauliske komponenter - den simple forklaring

<b>Komponent</b>	<b>Grundstof</b>	<b>Oxid</b>
Kisel	Silicium (Si)	SiO <sub>2</sub>
Ler/jern-forbindelser	Jern (Fe)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Aluminium (Al)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

$$\text{Hydraulisk modul} = \frac{2,8 \times \text{SiO}_2 + 1,1 \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \times \text{Fe}_2\text{O}_3}{1 \times \text{CaO}}$$



# De hydrauliske mineraler

Hydrauliske mineraler opstår under brændingen ved kemisk reaktion mellem kalken og de hydrauliske komponenter.

Hvilke mineraler der dannes afhænger af:

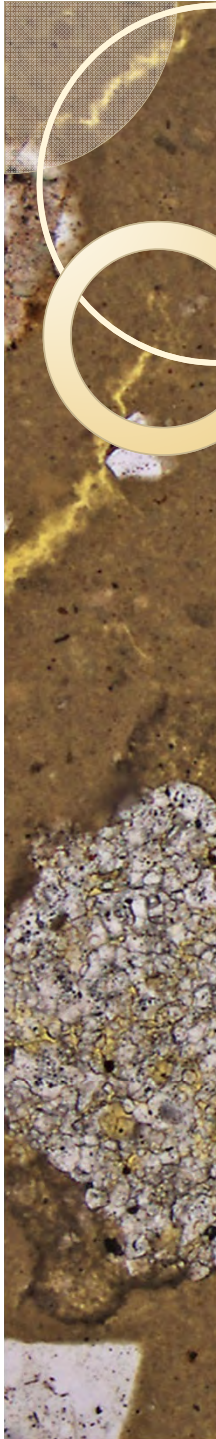
- Kemien
- Brændingstemperaturen
- Brændingstiden



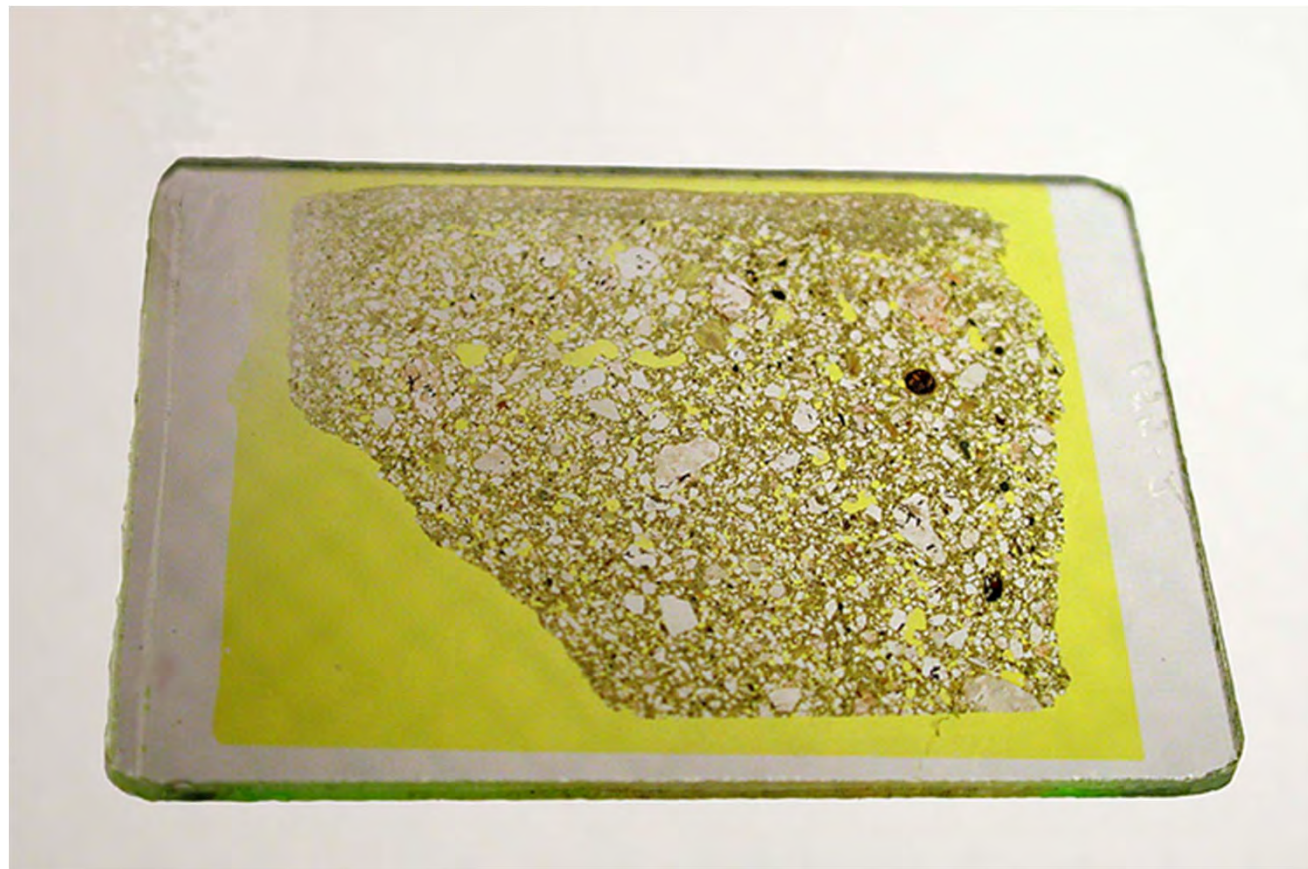
# De hydrauliske mineraler (væsentligste)

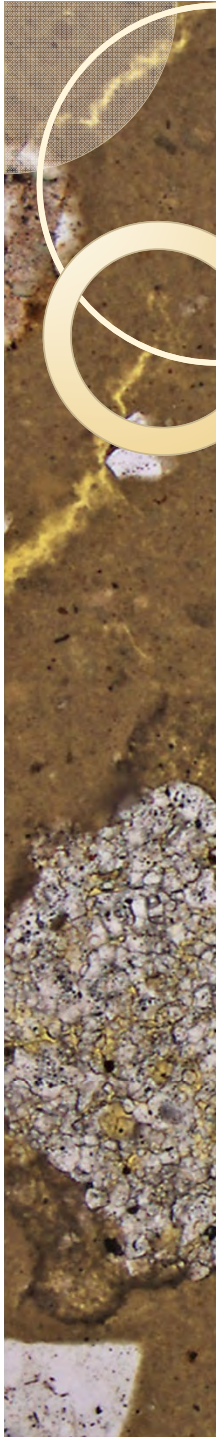
Navn	Kemisk formel	Kemisk navn	Mineral navn
C <sub>3</sub> S	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	Tricalcium silikat	Alit
C <sub>2</sub> S	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Dicalcium silikat	Belit
C <sub>3</sub> A	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Tricalcium aluminat	Aluminat-fase
C <sub>4</sub> AF	2(Ca <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Tetracalcium aluminoferrit	Ferrit-fase

De hydrauliske mineraler i hydrauliske kalk  
er identiske med  
de hydrauliske cementklinker-mineraler i portlandcement  
(men mængde-forholdet og krystalstørrelsen varierer)



## Hydraulisk kalkmørtel set i tyndslibet

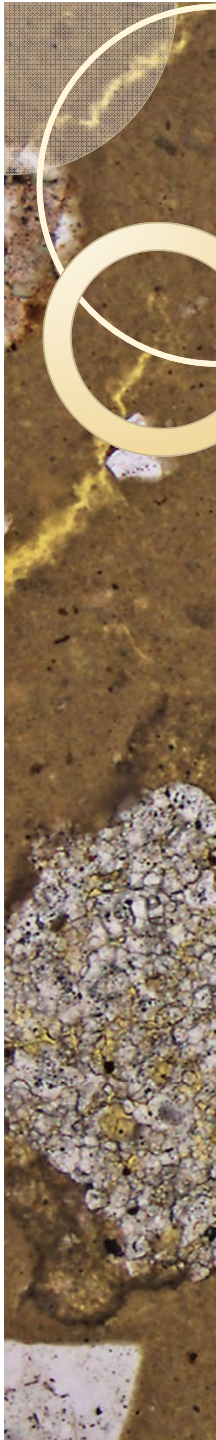




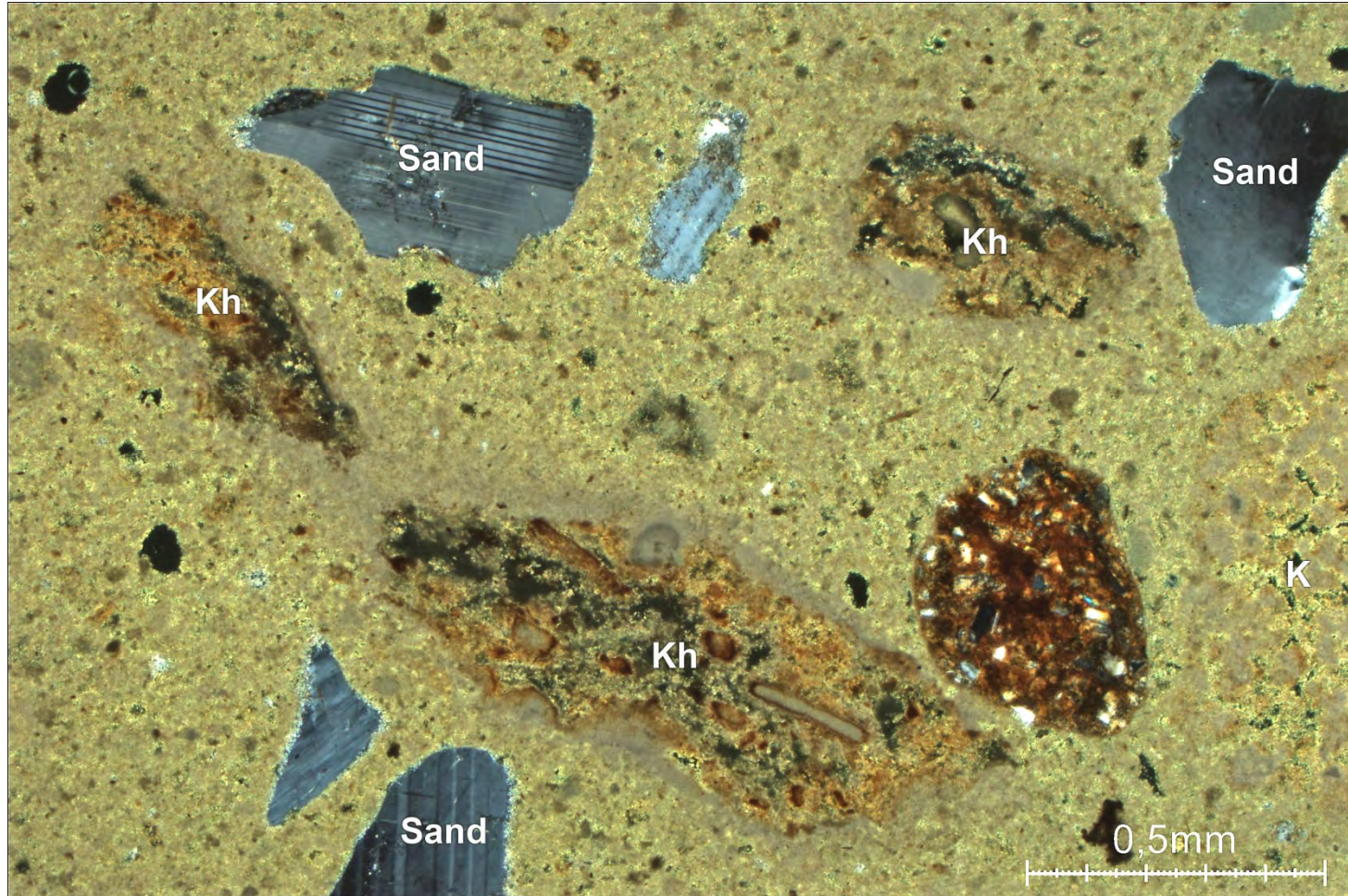
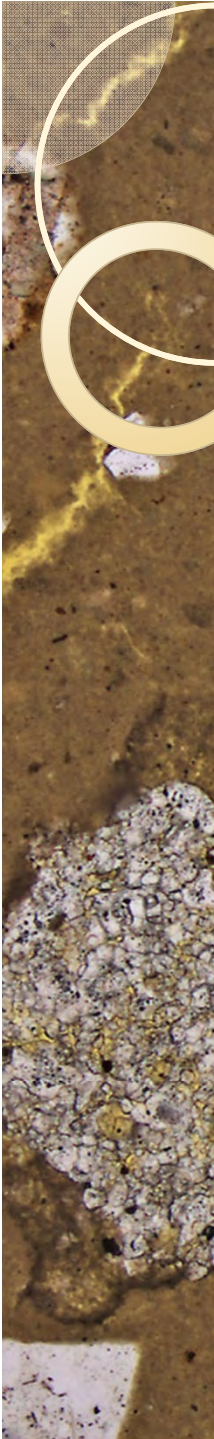
# Hydraulisk kalk – gamle typer

- Uensartet sammensætning, med store variationer i art og mængde af hydrauliske komponenter/mineraler
- Uensartet struktur, med mange kalkklumper og mange korn af underbrændt kalksten
- Uensartet styrke, med store variationer i de hydrauliske mineralers aktivitet

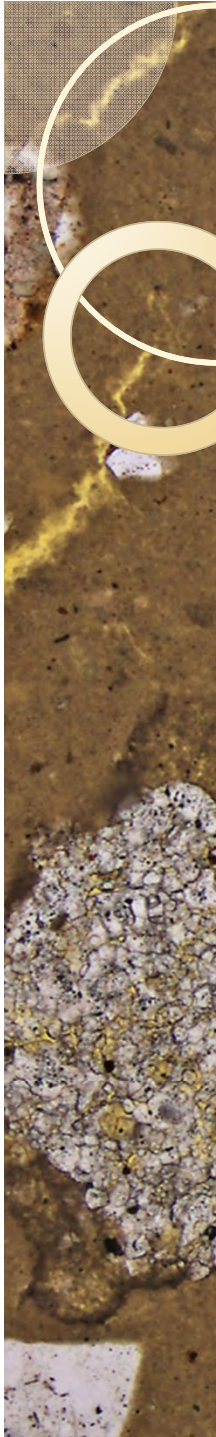
# Kalkbrænding – gamle typer



# Kalkbrænding – gamle typer



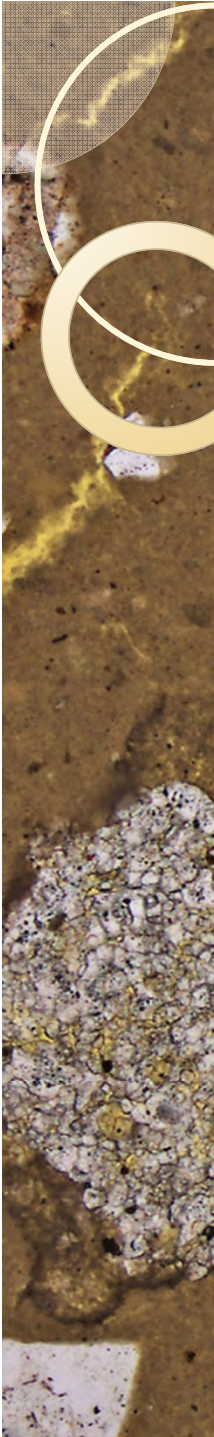




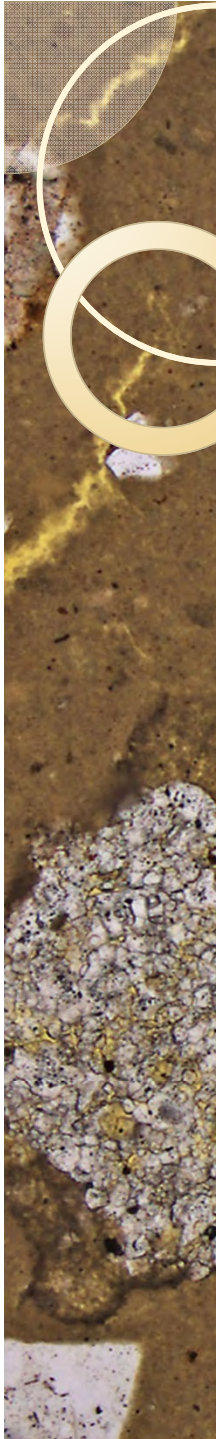
# Hydraulisk kalk – moderne typer

Industrialiseret produkt med ensartede, nøje fastlagte egenskaber med hensyn til:

- Styrke (hållfasthet)
- Sammensætning og finhed
- Brugsegenskaber
- Kulør



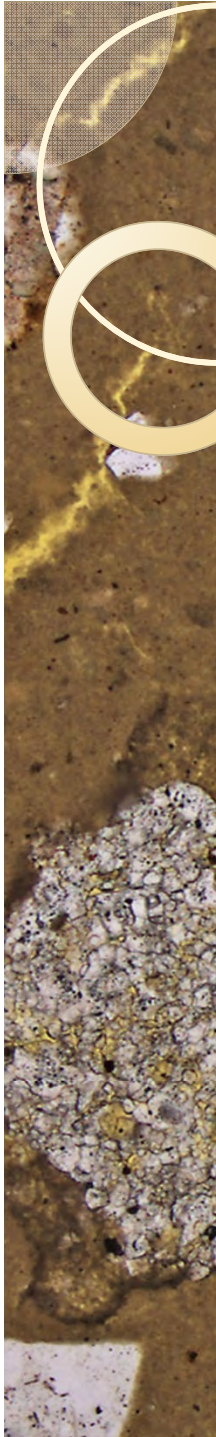
- og, for *ikke* at gøre det for nemt (EN 459-1):
- Råmaterialet skal komme fra en ler- eller kiselholdig kalkstensforekomst (**NHL**)  
eller
- Råmaterialet skal komme fra en ler- eller kiselholdig kalkstensforekomst, men pozzulaner eller andet hydraulisk materiale kan tilsættes (**NHL-Z**)  
eller
- Den hydrauliske kalk kan komme fra en blanding af luft-hærdende kalk og egnede hydrauliske materialer (**HL**)



# Hydraulisk kalk – moderne typer

Egenskaberne opnås ved styring af:

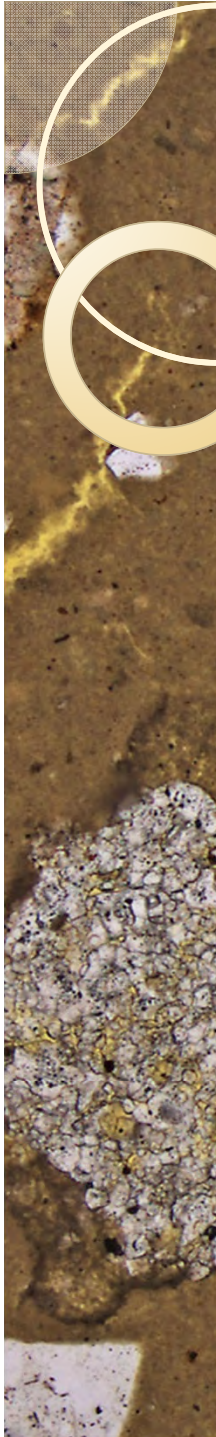
- Råmaterialernes sammensætning
- Brændingstemperaturen
- Formalingsgraden (kornstørrelsen)



# Hydraulisk kalk – moderne typer

Kendetegn:

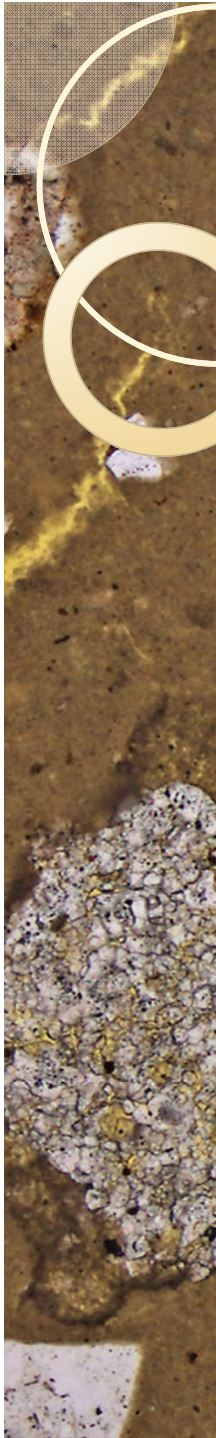
- Finkornet, kornstørrelse mindre end 0,1 mm
- Hovedsageligt hydratkalk (lufthærdende kalk) og små korn af underbrændt kalksten
- Stærkt hydrauliske mineraler i form af veludviklede krystaller af belit ( $C_2S$ ), ferrit ( $C_4AF$ ) og oftest lidt alit ( $C_3S$ )



# Kalkbrænding – et eksempel

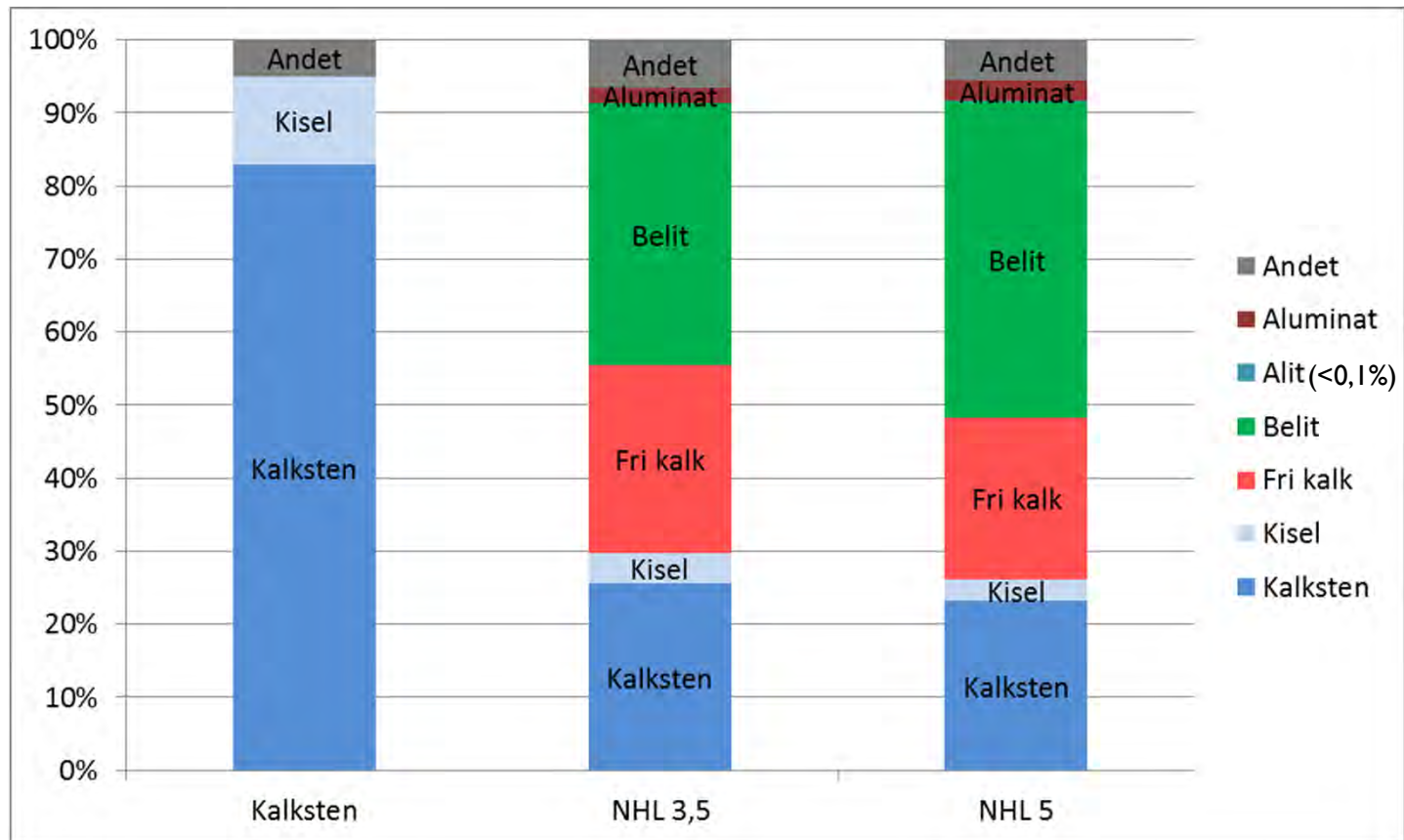
Bjergart: Kridtlignende kalksten fra St. Astier, Frankrig

Bestanddel	Indhold [%]
<b>CaO</b>	<b>74</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>22</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,8</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0,53</b>
MgO	1,0
SO <sub>3</sub>	0
Na <sub>2</sub> O	0,10
K <sub>2</sub> O	0,17
Andet	1,40

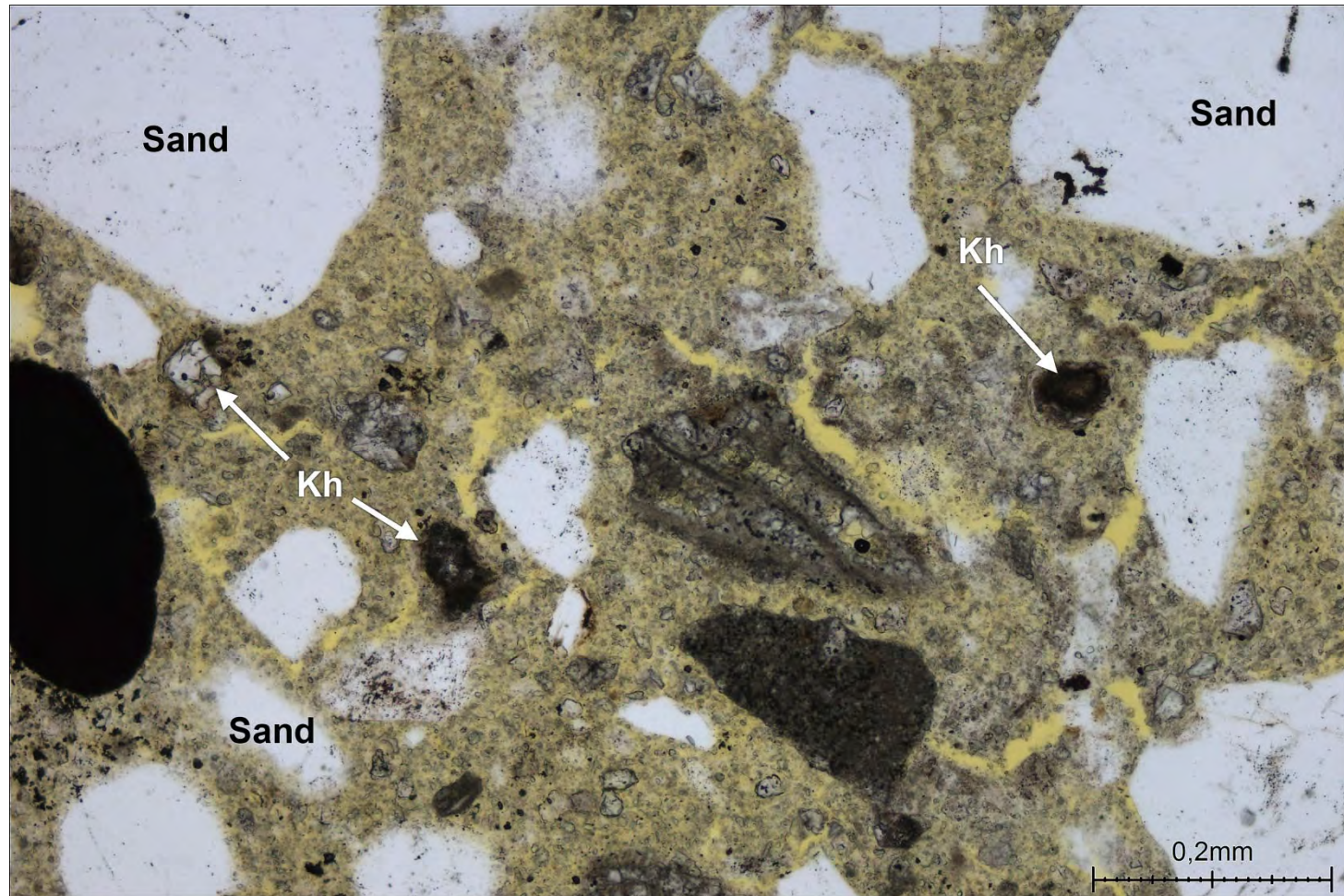
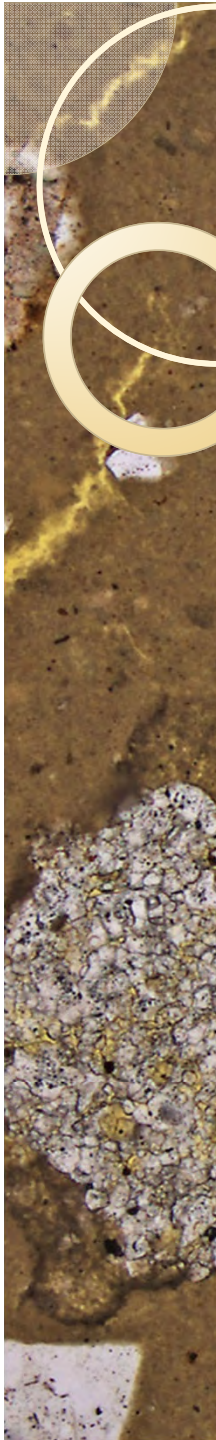


# Kalkbrænding – et eksempel

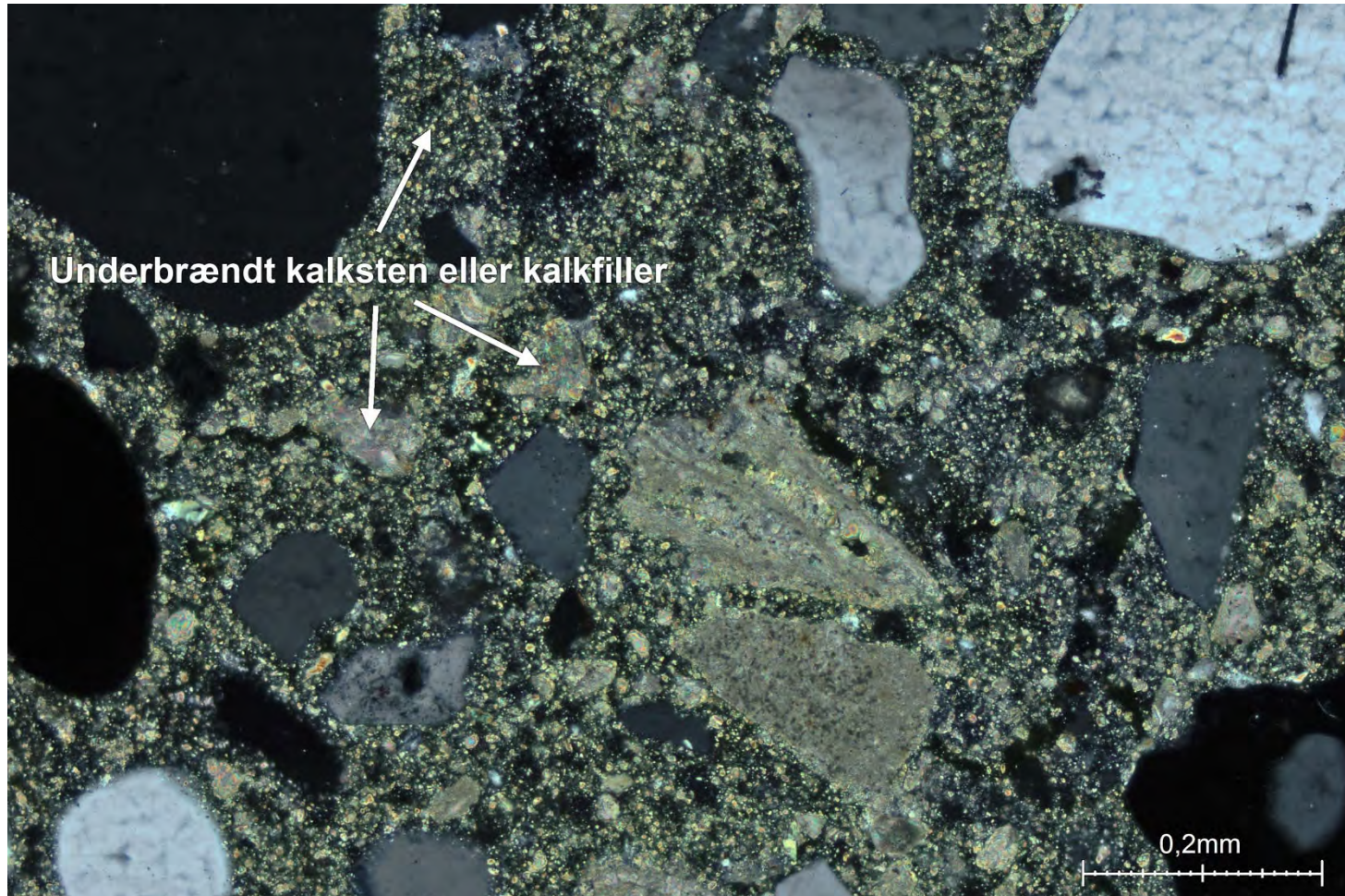
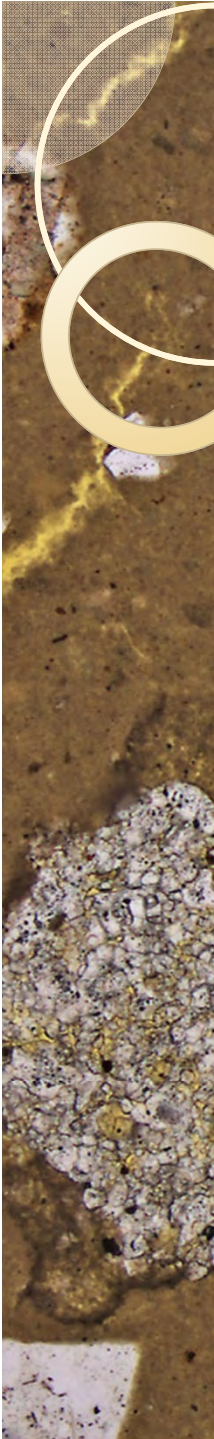
Bjergart: Kridtlignende kalksten fra St.Astier, Frankrig



# Kalkbrænding – moderne typer



# Kalkbrænding – moderne typer



Underbrændt kalksten eller kalkfiller

0,2mm