

---

# Mikroskopi af beton

---

## Betonhåndbogens kap. 10.6

Kirsten Eriksen, COWI A/S  
Civilingeniør, seniorspecialist



Indhold

# 1 Indledning

# 2 Metoder og standarder

# 3 Opgaver og planlægning

# 4 Undersøgelser

# 5 Eksempler fra praksis

# 6 Afrunding og fremtid



# Foreninger, sammenslutninger

## Danmark

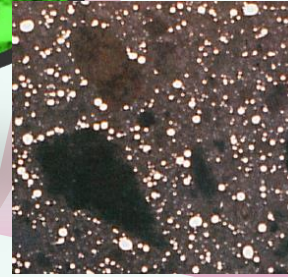
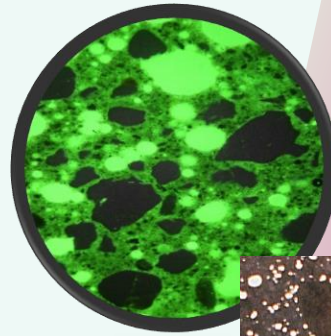
FMIB - Foreningen for mikroskopering af byggematerialer. Der afholdes 1-2 årlige møder i FMIB, med erfaringsudvekslinger - og nogle gange eksotiske 😊 studierejser. DTU præsenterer eksamensopgaver og afhandlinger, hvor mikroskopi af beton typisk indgår. Der er ca. 15 firmamedlemmer.

## Internationalt

EMABM-seminarer "Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials"

ICMA-kongresser, "The International Cement Microscopy Association".

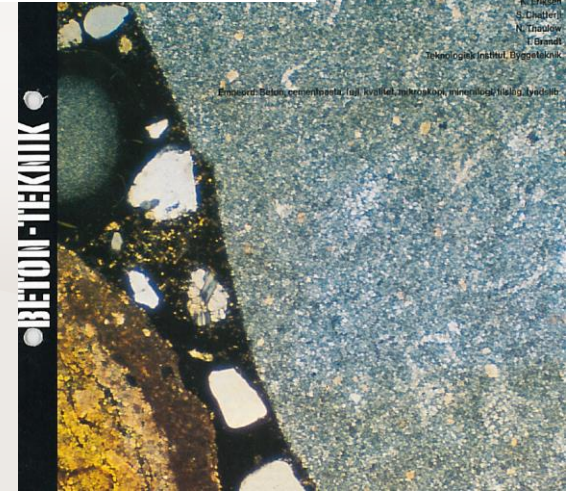
- **Forskellige betegnelser**
  - strukturanalyse
  - mikroanalyse / makroanalyse
  - petrografi
- **Omfatter også**
  - luftporeanalyse
  - styrkebestemmelse, Ferets formel
  - scanning electron mikroskopi SEM/EDX
- **Kan anvendes på andet end beton og delmaterialer**
  - reparationsmørtler, malinger, membraner, asfalt, historiske bygninger, facadesten, belægninger osv.



*Tilbage i 80'erne*

- *TI-B 52 Petrografisk analyse af sand*
- *DS 423-36 Mikrosilicaklumper*
- *DS 423-40 Fremstilling af tyndslib*
- *DS 423-41 Indre stabilitet*
- *DS 423-42 Betonsammensætning*
- *DS 423-43 Pastahomogenitet*
- *DS 423-44 Pasta- og vedhæftningsrevner*
- *DS 423-45 Komprimeringsgrad*
- *DS/EN 932-3 Forenklet petrografisk analyse*
- *ASTM C457 / DS EN 480-11 Luftporestruktur*
- *ASTM C856 Petrographic examination of hardened concrete*

Beton-Teknik  
4/07/1985 beskriver  
anvendelse af  
strukturanalyse





Opgaver og planlægning

## Valg af laboratorium

Erfaring vigtig

(Akkrediteret prøvning mulig)

## Planlægning

Aftaler med rekvirent

Formål

Omfang

Prøvetagning

Undersøgelser

Rapportering

## Opgavetyper f.eks.

Særeftersyn (broer, tunneller)

Tilstandsvurdering, levetid

Svømmehaller, P-kældre,  
altaner, gulve, vindmøller...

Reparation

Facadesten

Syns- og skønssager

Historiske bygværker

Forskningsprojekter

Nye materialer

Bæredygtighed, levetid

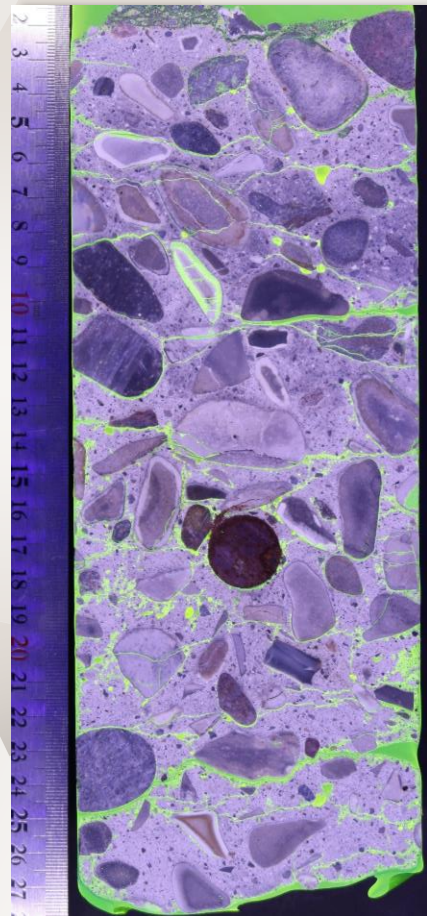


Før opstart bør ud over pris aftales følgende mellem rekvirent/bygherre og laboratorium, på basis af inspektion, tegninger og historiske data:

- a) Formål
- b) Screening (NDT) før kerner udtages?
- c) Omfang, repræsentativitet, opmærkning på bygværk
- d) Hvilke undersøgelser og metoder indgår? Hvordan rapporteres?
- e) Dimension af borekerner, fotos af borehuller og kerner ved udtagning
- f) Udfyldning af borehuller
- f) Mærkning, indpakning og opbevaring af kerner
- g) Skal kerner anvendes til andre prøvninger? Trykstyrke? Klorid? Fugt?
- h) Skal prøvning eller dele deraf udføres på akkr. lab. (ISO/IEC 17025)?
- i) Beregning af levetid? Reparationsforslag?

## Undersøgelser på makroniveau

- Borekerner fotograferes, opmåles og beskrives som modtaget, evt. efter gennemskæring på langs (plant snit)
- Ved armeringskorrosion vurderes rustgrad i henhold til BYG-ERFA blad 94 12 22
- Kerner med revner vurderes ofte på plane snit gennem kernen, efter at der er foretaget en helkerne-imprægnering under vakuum (med epoxy tilsat fluorescerende farvestof).
- Revner og porøsiteter fremstår tydeligt under UV-lys



*Revner imprægneret med epoxy lyser op under UV-lys. Overflade op ad i foto.*



## Undersøgelser på mikroniveau

Analyser foretages på tyndslib ved polarisations- og fluorescensmikroskopi med forstørrelser typisk mellem 32x og 500x.

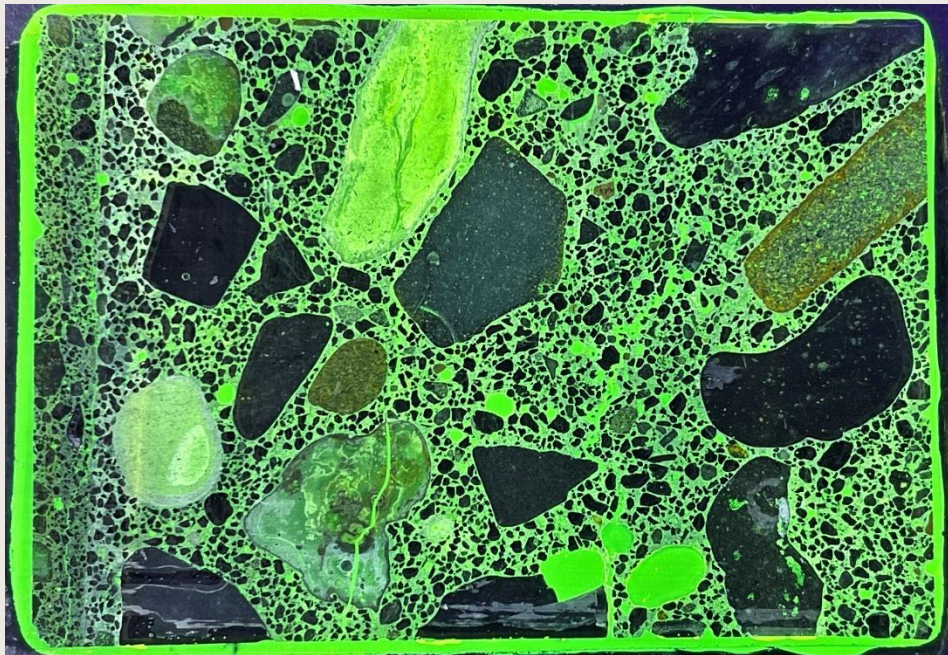


Foto: TFB AG, Leo Klemm

## "13(+) betonsygdomme"

- Man kan i mikroskopet se ind i betonen og vurdere sammensætning samt type og dybde af evt. angreb
- Angreb sker typisk fra overfladen. Nogle gange opstår angrebet dybere, f.eks. ved DEF og/eller AKR
- "Sygdomme" kan være
  - alkaliselreaktioner (AKR)
  - sulfatangreb (havvand, kloakker...)
  - udludning
  - frostangreb
  - syreangreb
  - afskalninger
  - kemisk angreb
  - revnedannelser (og årsager hertil)
  - andet....

## Tyndslib 30 mm x 45 mm, tykkelse 0,02 mm



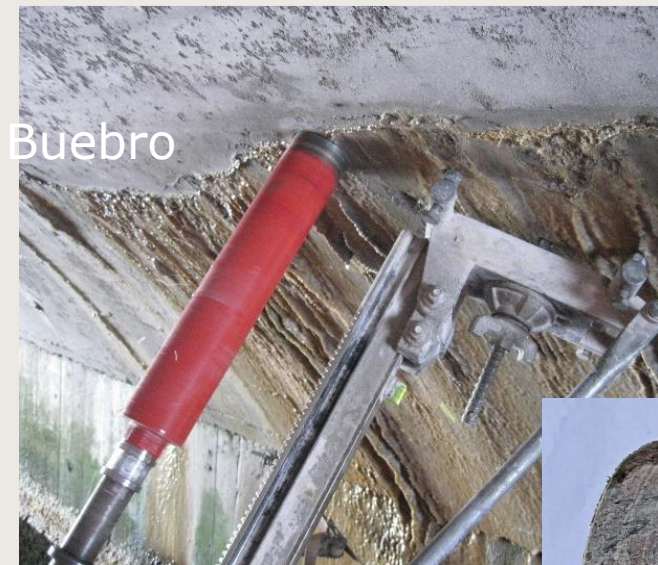
Fluorescensimpregneret tyndslib under UV-lys. Foto: Camilla Jacobsen, COWI

## I tyndslibet ses/vurderes

- type af delmaterialer
- cementtype
- tilsætninger (FA, MS, fibre..)
- luftindhold, indblandet luft
- v/c-forhold
- homogenitet
- komprimeringsgrad
- karbonatiseringsdybde
- tegn på fugtbelastning
- revner, fine og grove
- mikrorevner
- overfladetilstand
- maling, mørtellag
- vedhæftning mellem lag
- tegn på AKR og andre angreb
- specielle materialer o.a.



## Eksempler fra praksis



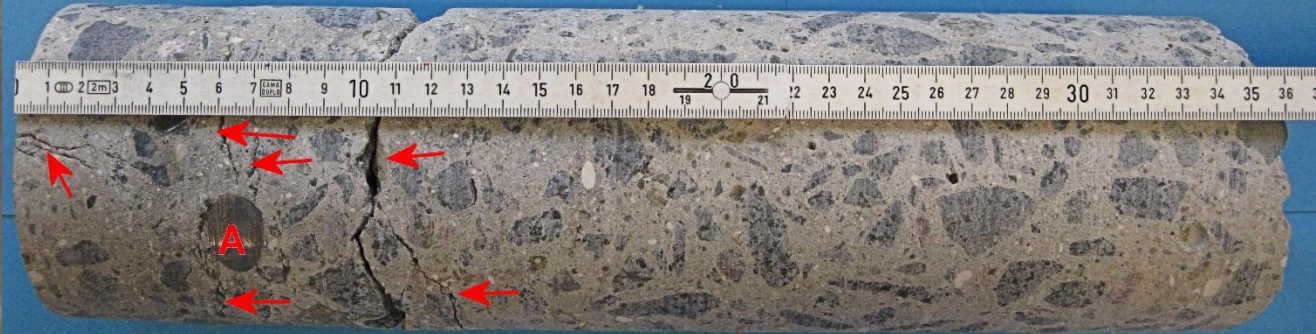
Kernen er ikke  
relateret til øvrige  
fotos 😊



*En borekerne lige efter udboring, ca. 250 mm lang*

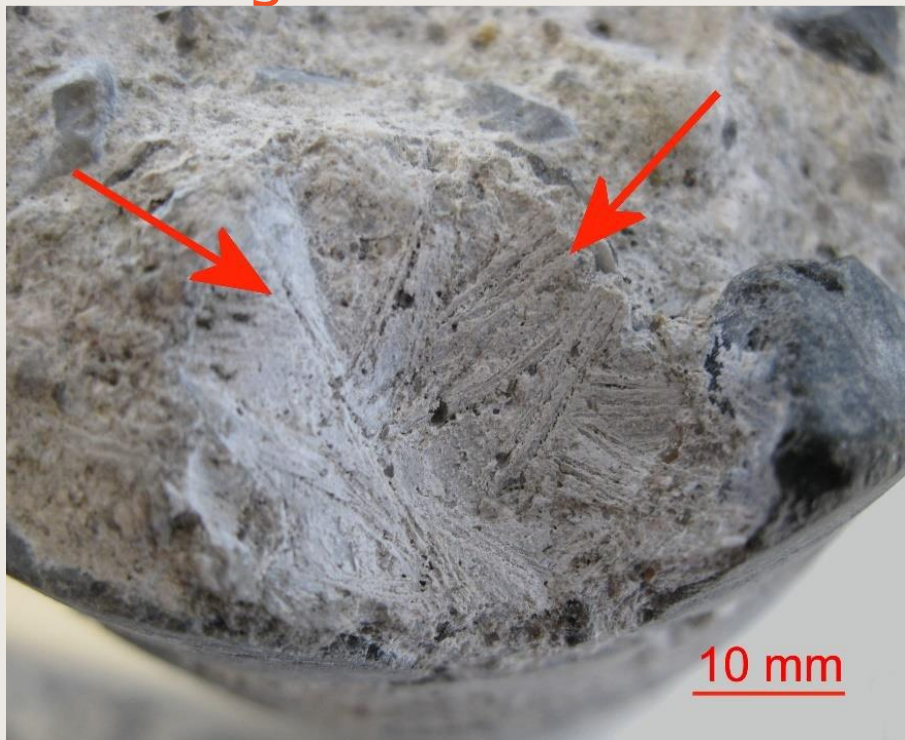


# Overflade

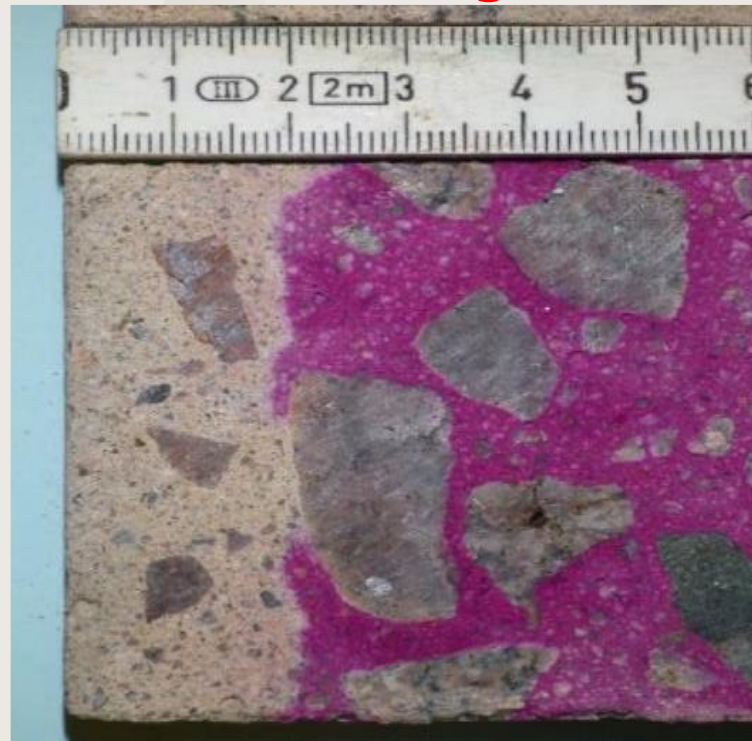




## Frostangreb



## Karbonatisering

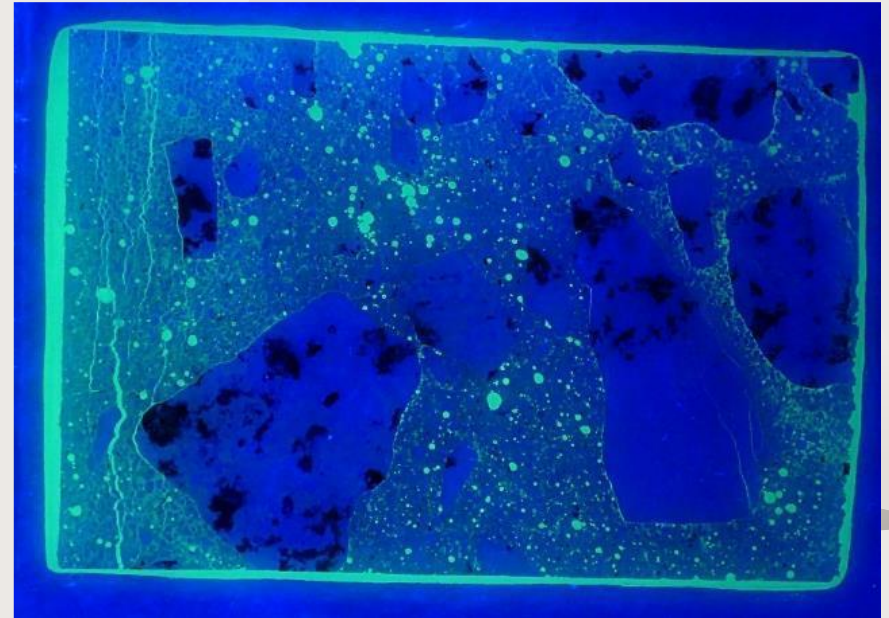


Eksempler fra praksis, fra makro til mikro

## Betonpille under vand

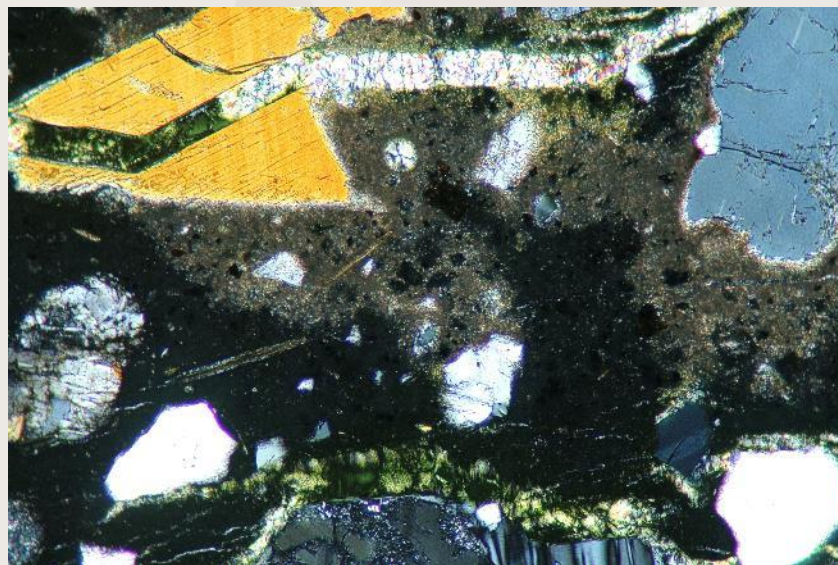
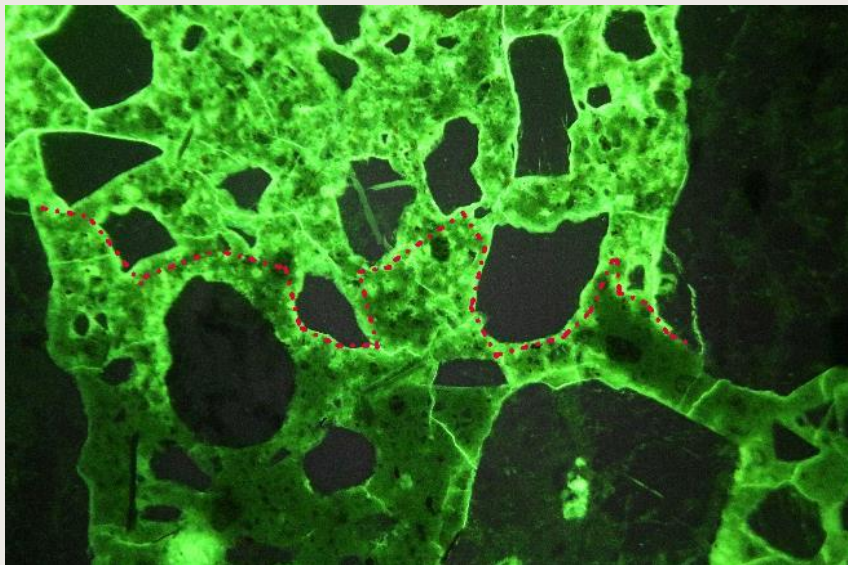


## Tyndslib fra borekerne





Retning overflade

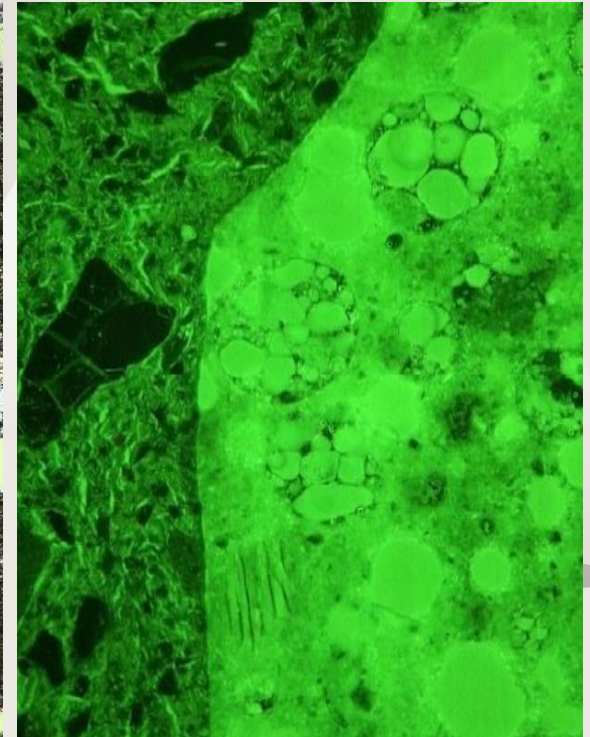
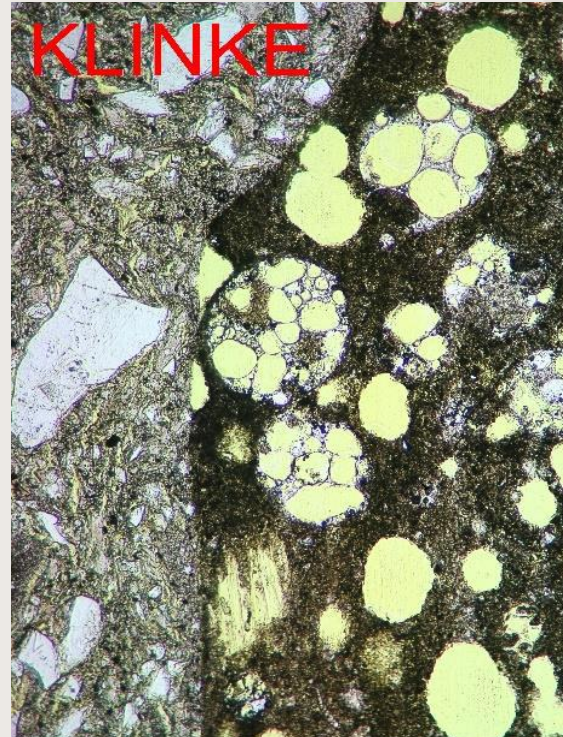


Udludet pasta over stiplede linje, i dybden ca. 25 mm fra betonoverflade i havvand. Udludning til denne dybde ses som porøs pasta (lys grøn farve øverst). *Størrelse: 1,8 mm x 2,4 mm*

Revner, overfladeparallelle, fyldt med ettringit og thaumasit. Typisk for beton i havvand. *Størrelse: 1,2 mm x 1,8 mm*

## Eksempel fra svømmehal

## Kunststofmørtel med god vedhæftning til klinke



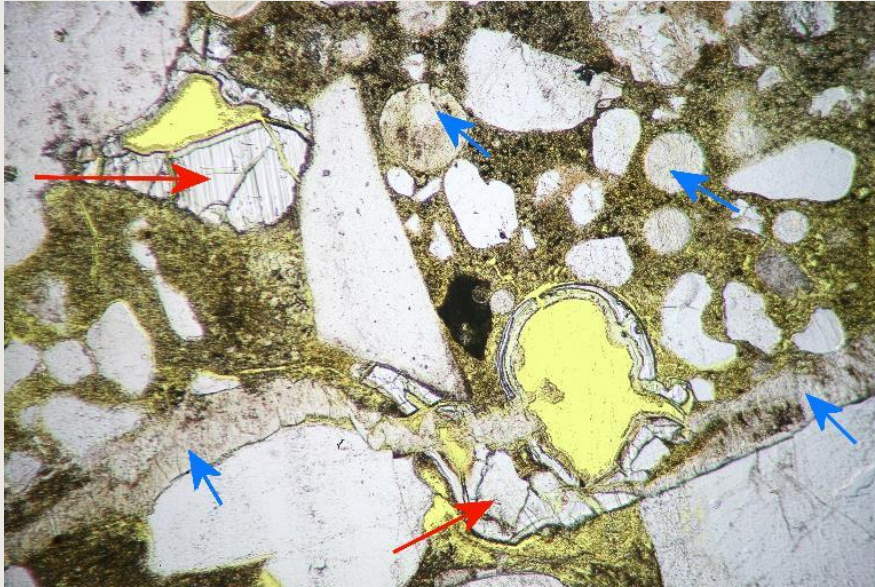
*Klinke tv., mørtel th.*

*Mikrofotos: Størrelse 1,2 mm x 0,9 mm.*

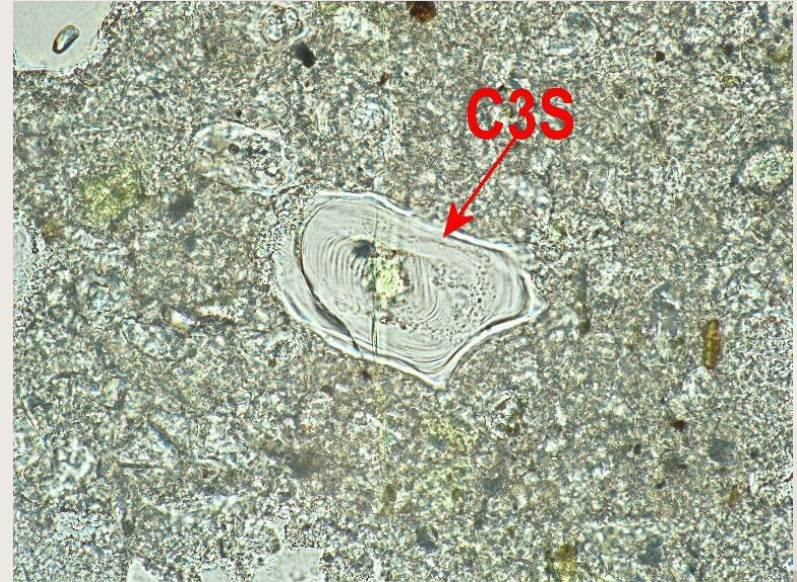
*Parallele nicoller tv. og fluorescens th.*



## Eksempler fra praksis, mikroanalyse på tyndslib

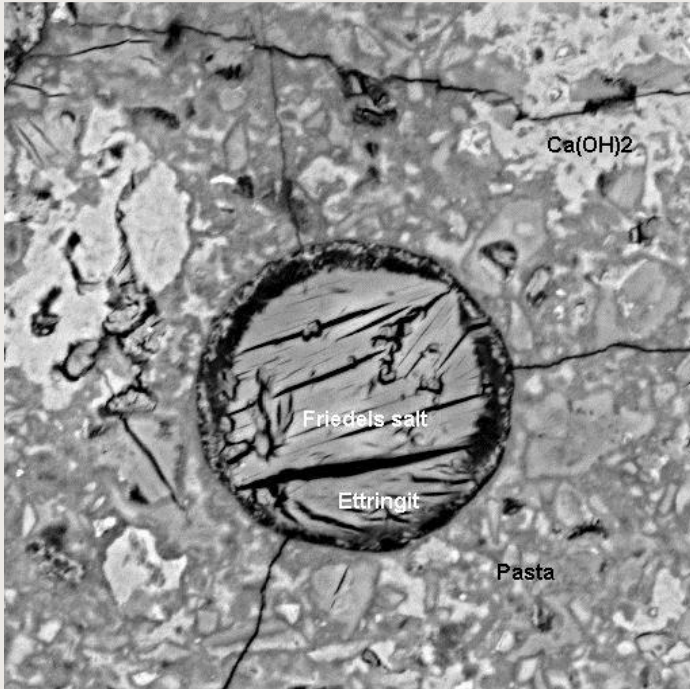


Beton i havvand. Røde pile: AKR-gel  
Blå pile: Thaumasit i revner.  
Fotostørrelse 1,9 mm x 2,8 mm. Forst. 63x



"Årringe" i cementkorn.  
Fotostørrelse 0,25 mm x 0,35 mm.  
Forstørrelse 500x

SEM/EDX, ca. 600x



Udfyldninger i porer

SEM/EDX, ca. 2.400x



"Forsinket ettringitdannelse"

Fotos optaget hos Betoncentret, Teknologisk Institut

## Specialister

I Danmark er der et højt niveau hos specialister på mikroskopiområdet, sammenlignet med en del andre lande. Det bør vedligeholdes bl.a. med fortsat videndeling gennem FMIB samt samarbejde med DTU og andre læreanstalter, nationalt og internationalt. **Oplæring af nye talenter er vigtig 😊**

## Betonreparationer

I AAB vedr. betonreparationer (udkast dec. 2023) er anført, at det i SAB er muligt at stille krav til kontrol af en prøvereparation ved anvendelse af tyndslib, herunder vurdering af klargøring af betonoverflade, vedhæftning til beton samt mellem forskellige lag (f.eks. ved kantreparationer og under-op reparationer på broer)

## Fremtid

For beton i infrastruktur, skadessager og både nyere og ældre bygværker er strukturanalyse fortsat et uundværligt redskab for at få fastlagt initialkvalitet, type og grad af nedbrydning og for at kunne stille en troværdig prognose for en beton under en given eksponering.

Mikroskopi må forventes at kunne bidrage væsentligt ved anvendelse af - og opfølgning på - nye og miljøvenlige bindemidlers holdbarhedsmæssige egenskaber i forskellige eksponeringsomgivelser.

Tak for opmærksomheden 😊

<https://betonhaandbogen.dk/media/zvmd4y2p/106-mikroskopi-af-beton-22-sider.pdf>