

**MASTER®  
BUILDERS**  
SOLUTIONS

**BASF**  
We create chemistry



# Syntetiske fibre i beton- og reparationsmørtler

Jørgen Krogh

Betonreparationsdag, 05.02.2019



# Indhold

## » Indledning

- » Fibermaterialer til mørtel og beton
- » Virkninger af fibre i mørtel og beton
- » Fokus på fibre i Reparationsmørtler

# Klistergruppen (Start 80` serne)

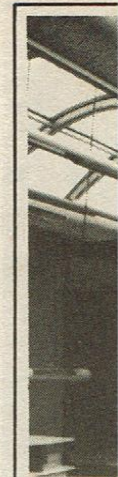
## BAGSIDEN AF BYGGERI:

### Et klistret problem



Dansk Betonforenings arbejdsgruppe for specialmørtler og -klæbere - populært kaldet »klistergruppen« - har efter en undersøgelse af markedsudbudet af specialprodukter til betonreparation måtte erkende, at det er van-

PRO  
Le  
MU



tilk  
Det  
ster  
mis  
ståe

**BASF**  
We create chemistry

**MASTER BUILDERS**  
SOLUTIONS

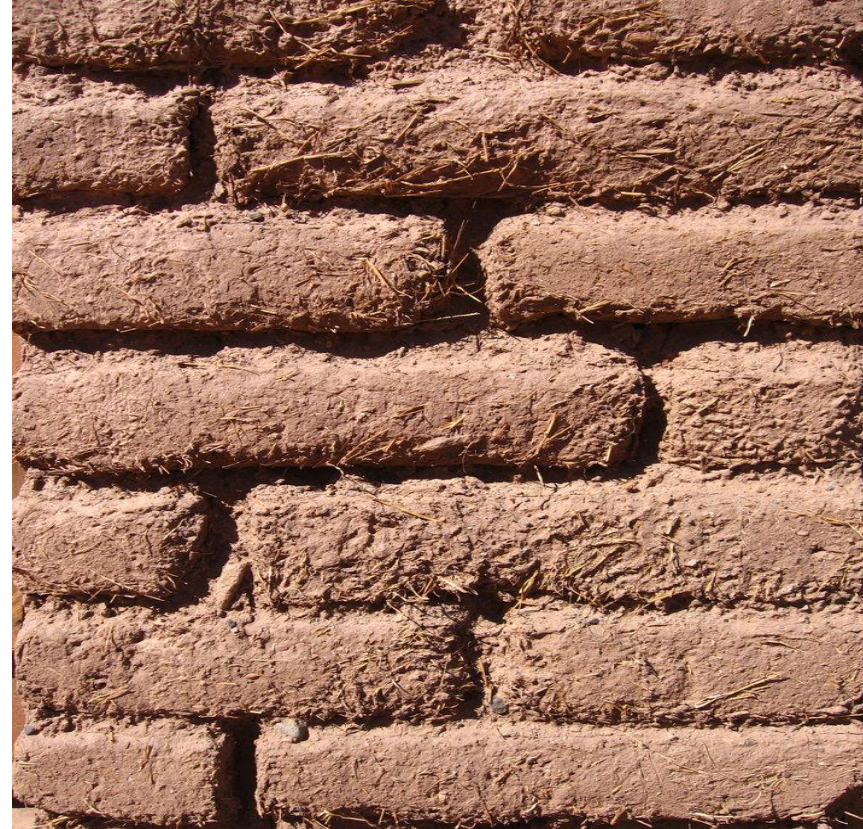
# Fiberforstærket byggemateriale – ikke nogen ny idé!

Eksempel fra naturen: Rufuos hornero  
(brun ovnfugl), fuglerede, tørret mudder og strå



Source: <http://evidenceforbelief.com/bird-nest/>

Eksempel fra historien: Strå i mursten af ler  
(Egypten 3.000 f. Kr.)



Source: [http://snapshots.travelvice.com/download/9993-4/IMG\\_6955.JPG](http://snapshots.travelvice.com/download/9993-4/IMG_6955.JPG)

**Fibervirkning: Giver sammenhængsstyrke til et ellers skørt materiale!**

# Indhold

» Indledning

» **Fibermaterialer til mørtel og beton**

» Virkninger af fibre i mørtel og beton

» Fokus på fibre i Reparationsmørtler

# Krenchel + Eternit = Krenit

## Lang holdbarhed og høj værdi

Bag krenitskålen ligger den spændende historie om, hvordan asbestfri eternit kunne blive et hit. Det var DTU-forskeren [Herbert Krenchel](#), som nytænkte forskningen i kompositmaterialer og udviklede krenit. Navnet "krenit" er en sammentrækning af Krenchel og eternit. Krenchel blev maskiningeniør på Danmarks Tekniske Højskole (nu DTU) med en doktordisputats i 1963 om fiberarmering.

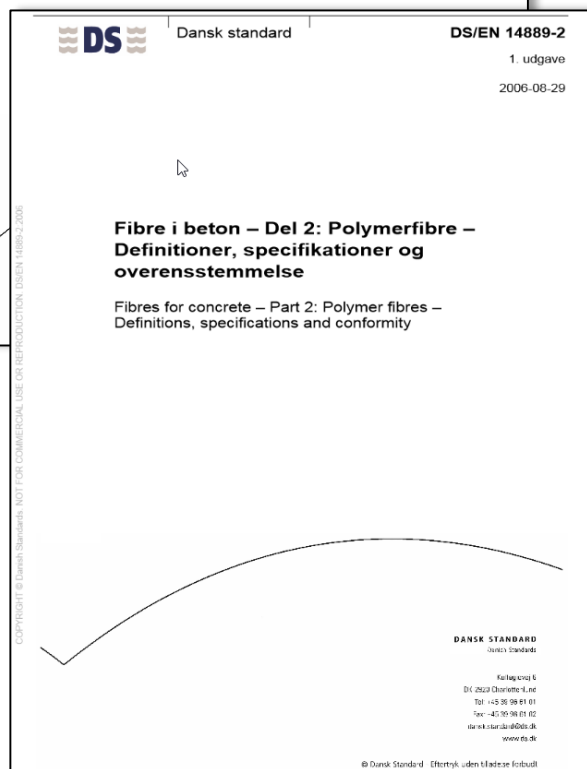
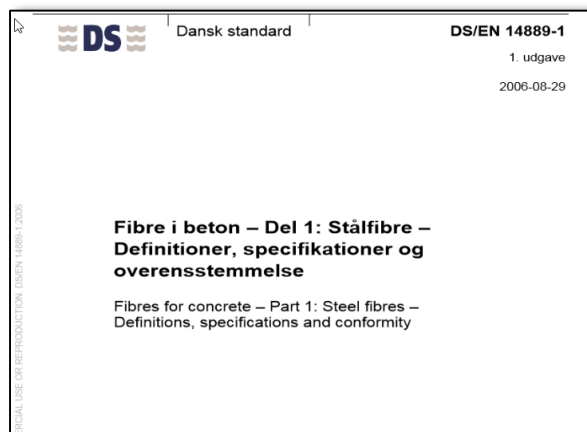
I 1953 formgav han krenitskålen, som er en enkel skål, der består af et cementbaseret komposit, en asbestfri type eternit, med et lag af stål og emalje udenpå. Arbejdet med krenitskålen udførte han sideløbende med sit arbejde på Afdeling for Bærende Konstruktioner, i dag DTU Byg.

Skålen blev en bestseller fra starten. I dag, over 50 år efter at skålen gik ud af produktion, er den et dansk design-ikon.

**PS! Og så produceres der jo både kanoer, møbler m.m. i beton og mørtel!**



# For fibre i beton findes i dag harmoniseret standard (DS/EN 14889)



» **Baggrund:** Anvendelse og krav for fibre til konstruktiv og æstetisk anvendelse i beton, mørtel og grouts

» **DS/EN 14889-2: Polymerfibre (PP, PE, PET, PA, PVA ...)**

Klasse Ia: Mikrofibre, < 0,30 mm diameter, ensartet (Monofilament)

Klasse Ib: Mikrofibre, < 0,30 mm diameter, opslidset (Fibrillated)

Klasse II: Makrofibre, ≥ 0,30 mm diameter

» **DS/EN 14889-1: Stålfibre**

Gruppe I: Koldtrukket wire

Gruppe II: Plader

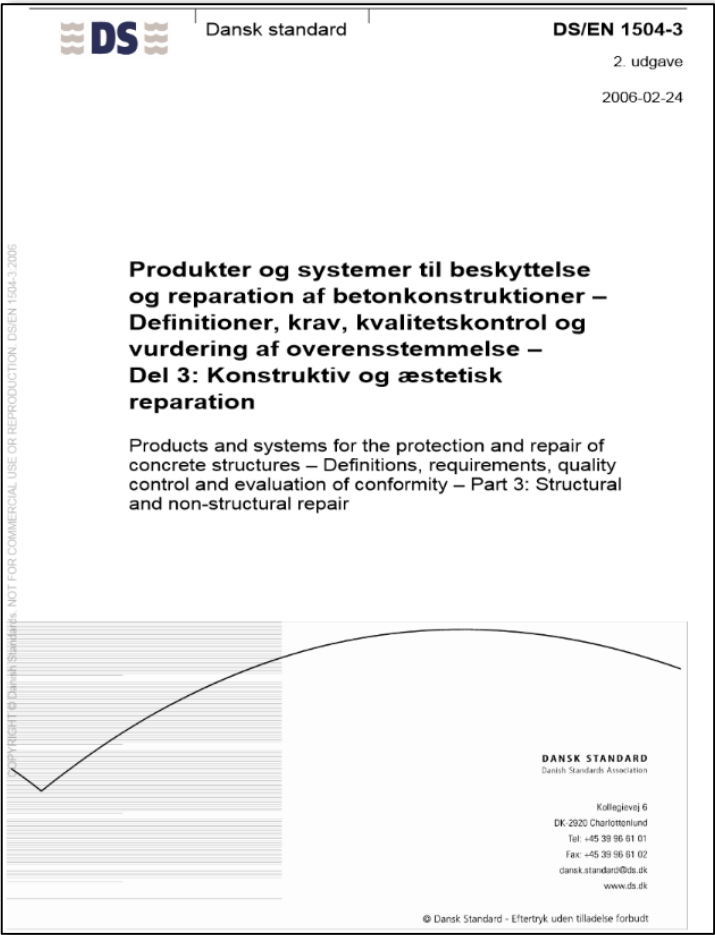
Gruppe III: Smelteekstrakt

Gruppe IV: Skrabet koldtrukket wire

Gruppe V: Fræset ud af blokke



# DS/EN 1504-3 for reparationsmørtler definerer „kun“ krav til produktegenskaber - kun lidt relateret til fibres virkninger.



» **Baggrund:**

Angiver krav til identifikation, egenskaber (inklusive holdbarhed) og sikkerhed for produkter til ... reparation af betonkonstruktioner.

» **Ingen krav til delmaterialer, helt produktorienteret**

» **Krav til egenskaber – Uddrag af Tabel 3**

» **Kontrollerede egenskaber for svind/ekspansion er det eneste krav der kan være relateret til fiberegenskaber (kontrol over revnebredde)**

Item No.	Performance characteristic	Reference substrate (EN 1766)	Test method	Requirement			
				Structural		Non-Structural	
				Class R4	Class R3	Class R2	Class R1
1	Compressive strength	None	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
2	Chloride ion Content	None	EN 1015-17	≤ 0,05 %		≤ 0,05 %	
3	Adhesive bond	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa <sup>a</sup>	
4	Restrained shrinkage / expansion <sup>b c</sup>	MC(0,40)	EN 12617-4	Bond strength after test <sup>d e</sup>			No requirement
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa <sup>a</sup>	
5	Carbonation <sup>f</sup>	None	EN 13295	d <sub>cl</sub> ≤ control concrete (MC(0,45))		No requirement <sup>g</sup>	











<sup>e</sup> Maximum permissible average crack width ≤ 0,05 mm with no crack ≥ 0,1 mm and no delamination.





# Generelt kan alle typer fibre bruges i reparationsmørtler, men f.eks. begrænser fiberstabiliteten dosering af syntetiske materialer

## Egenskaber hos nogle fibermaterialer med høj ydeevne

Fiberegenskab	PES (Diolen®)	PA (Twaron®)	LCP (Vectran®)	PBO (Zylon®)	UHMWPE (Dyneema®)
Sejhed (cN/dtex)	7,6	19,6	24,2	33,9	34,2
Forlængelse (%)	12,3	3,1	3,3	2,8	3,4
Masse- fylde (kg/dm <sup>3</sup> )	1,38 	1,39 	1,41 	1,56 	0,97 
<b>Ældning (stabilitet)</b>	God 	Dårlig 	Meget dårlig 	Meget dårlig 	Meget god 
Slidstyrke	Meget god	Meget dårlig	Dårlig	Dårlig	Meget god

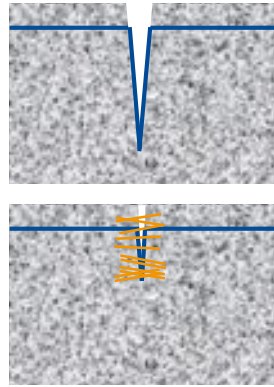
PES = Polyester, PA = Polyaramid, LCP = Liquid-crystal polymer (flydende krystal-polymer), PBO = Poly(p-phenylen-2,6-benzobisoxazol), UHMWPE = Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylen (polyethylen med ultrahøj molekylvægt)

- » På trods af høj ydeevne kan ikke alle fibermaterialer bruges
- » Ældning (forvitring og stabilitet under alkaliske forhold) udelukker faktisk nogle interessante materialer
- » Til mørtler bruges:
  - » Cellulose
  - » Polypropylen (PP)
  - » Polyacrylonitril (PAN)
  - » Polyvinylalkohol (PVA)
  - » Stål/alkali-resistent glas

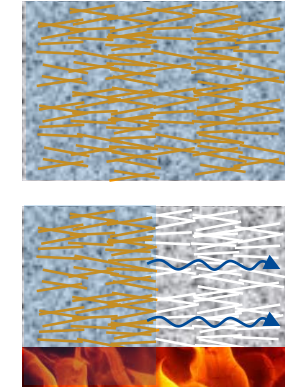
# Indhold

- » Indledning
- » Fibermaterialer til mørtel og beton
- » **Virksomheder af fibre i mørtel og beton**
- » Fokus på fibre i Reparationsmørtler

# Mikrofibre stabiliserer beton/mørtel i plastisk fase og minimerer plastiske svindrevner, mikro-PP-fibre bruges til at undgå betonafskalning i tilfælde af brand

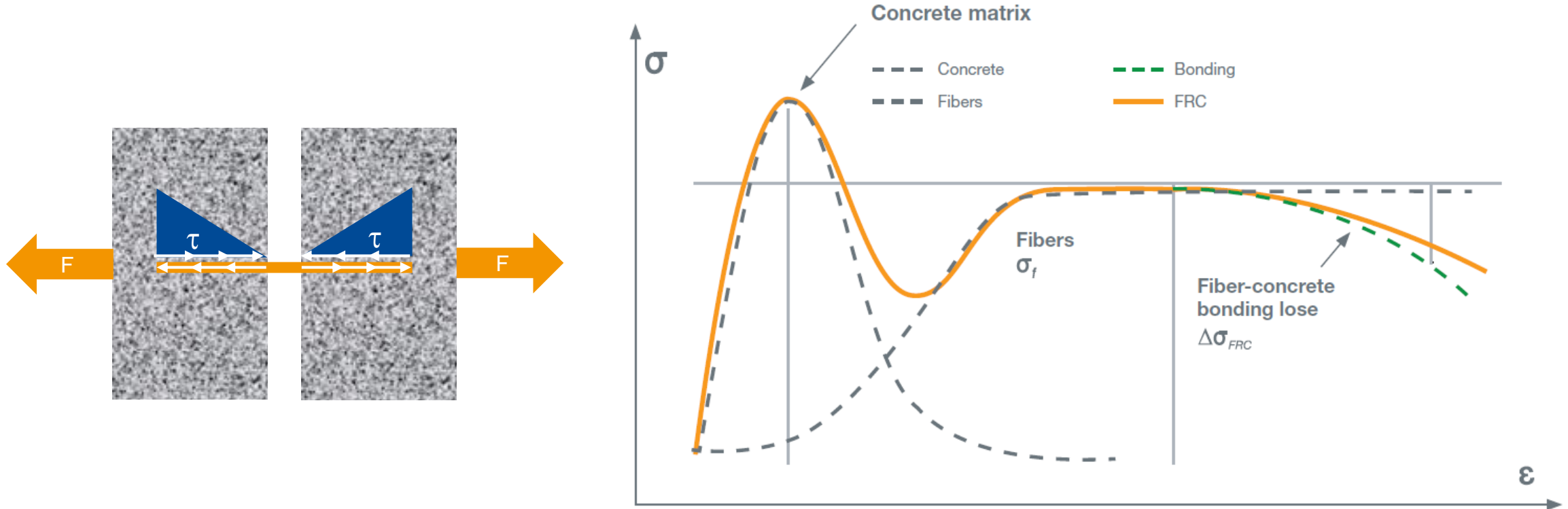


- » Tilsætning af mikrofibre **til frisk blanding** medfører:
  - » **Stabilisering** af blandingen, **der forhindrer separation**
  - » **Øgning af sammenbinding** (kohæsion) = øget trækstyrke
- » 0,03 – 0,1 volumenprocent fibre er normalt en passende dosering
- » Fordele ved brug
  - » Glatte og holdbare overflader
  - » Tætte overflader
  - » Øget slagstyrke



- » Virkning af mikro-PP-fibre til tilfælde af brand
  - » **Vanddamp skaber et indvendigt tryk**, der medfører afskalning, særligt hvis styrken er  $\geq C50/60$
  - » **PP-fibre smelter** ved ca. **160 °C**, **udløser kapillærer**, der skaber en **flugtvej for vanddamp**  $\Rightarrow$  **ingen afskalning**
- » Afhængigt af densitet og belastningsniveau fra 0,1 til 0,2 volumenprocent, kræves der PP-mikrofibre ( $\varnothing \leq 32 \mu\text{m}$ , L = 6 mm)
- » Fordele
  - » Mere sikker konstruktion og miljø (dvs. flugtveje)
  - » Færre reparationer

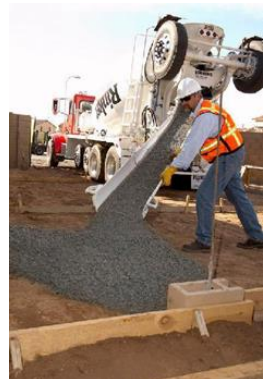
Ved at overføre belastninger fra den ene revnekant til den anden, tilfører fibrene mørtlen/betonen egenskaber som trækstyrke – efter revnedannelse



Fiberforstærket mørtel/beton (FRM/FRC) er et ægte kompositmateriale!

# Der kan opnås flere fordele ved at tilsætte fibre i beton og mørtel

- » Revnekontrol: I almindelig mørtel/beton udvikler revner i beton sig uden kontrol (skørhedsdefekt), men i fiberforstærket mørtel/beton, **er udviklingen af revner stabiliseret.**
- » Øget sejhed (Ductility)
  - » Øgning af materialets modstandsdygtighed => slagstyrke
  - » Forbedret træthedsresistens (Fattigue)
- » Revnefordele og, som konsekvens heraf, mindre revnebredde (pga. svind, temperaturvariation m.m.)
  - » Større tæthed ved kemisk belastning
  - » Bedre beskyttelse af konventionel stålarmering } **øget holdbarhed**
- » Evne til at modstå trækbelastning
  - » Overvejelser i konstruktionsdesign => Delvis/fuld udskiftning af konventionelt stål
    - » Reducerer arbejdskraft og tid ved helt eller delvist at erstatte traditionel armering med fibre
    - » Mindre behov for opbevaringsplads til og håndtering af stål
    - » Reduceret tykkelse, fordi der ikke er behov for et beskyttelseslag af beton
- » Hvis der bruges **syntetiske fibre: Mere sikker håndtering**, mindre slid på maskineri, **ingen korrosion**

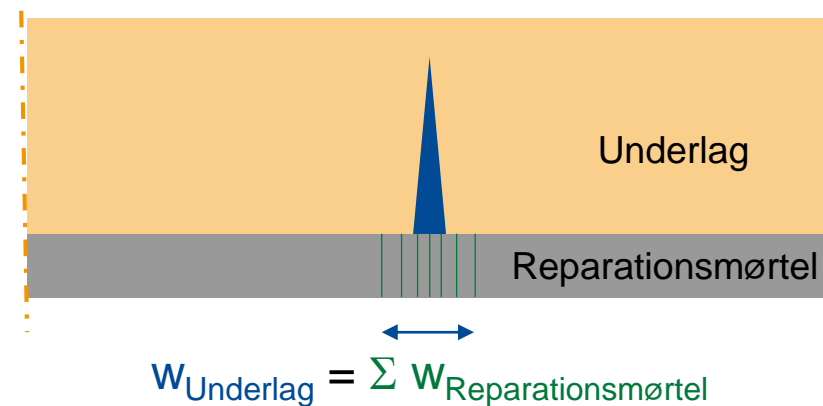


# Indhold

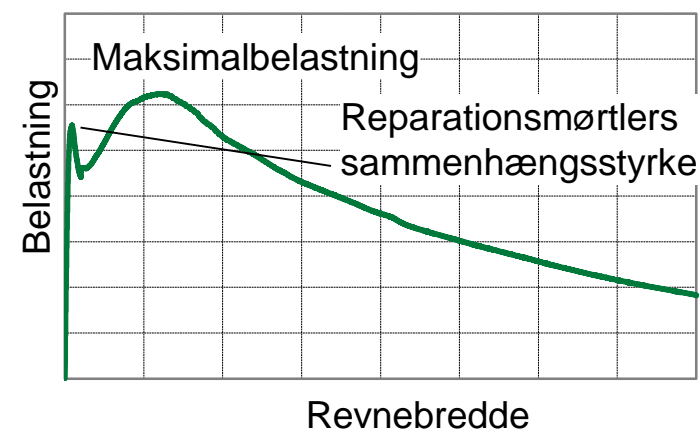
- » Indledning
- » Fibermaterialer til mørtel og beton
- » Virkninger af fibre i mørtel og beton
- » Fokus på fibre i Reparationsmørtler

# Ved fiberforstærkede reparationsmørtler skal nogle særlige forhold angående fibre overvejes

- » Begrundelse for anvendelse af fibre i FRM
  - » Stabilisering (mikro-PP eller -PAN, naturfibre som cellulose)
  - » Indtern "Curing" f,eks. Cellulose fibre
  - » Revneoverbygning (PAN, PVA eller stålfibre)
- » Forhold til overvejelse for FRM samt konsekvenser
  - » Lavere tykkelse af FRM-lag } => små-/mikrofibre
  - » Kornstørrelse  $\leq 4$  mm
  - » Mikrofibre er ikke præget (mindre specifik overflade)
    - » Hvis fibervedhæftning er vigtig (PAN, PVA)
- » Flere revner ønskes (se højre side)
  - » Opnåelse af kontrolleret svind
    - » Højt indhold af syntetiske fibre (PVA eller PAN)
    - » Små stålfibre, perfekt krogede



Krav til opnåelse af dette:  
Maksimalbelastning i revne > Mørtlens sammenhængsstyrke



# PAN-fibre anvendes bredt i reparationsmørtler til at kontrollere plastisk svind i reparationsmørtler ved forskellige anvendelser

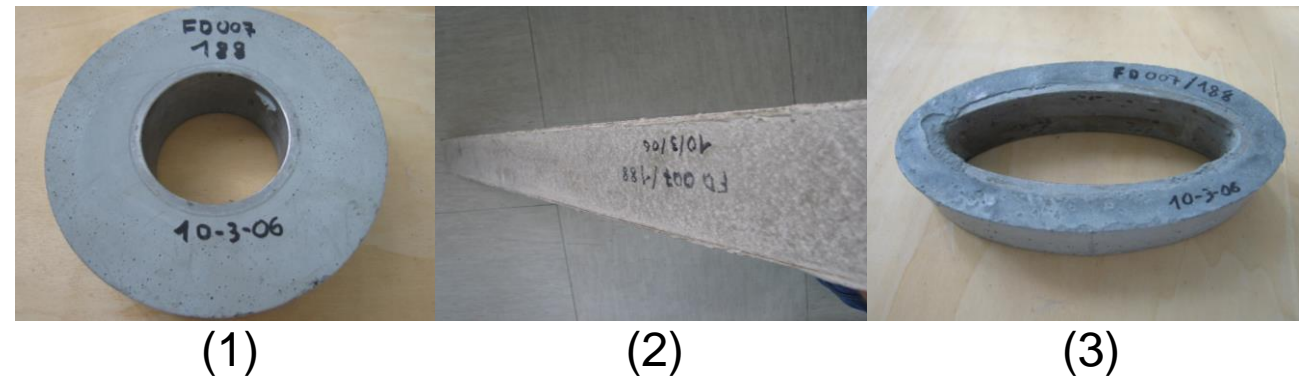


Prøvning	MasterEmaco T 1100 TIX PAN-fiber	MasterEmaco T 1200 PG PAN-fiber	MasterEmaco T 1400 FR PAN- og Stålfiber
O-RING (1)	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER
TREKANT (2)	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER
ELLIPTISK (3)	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER	IKKE REVNET EFTER 6 MÅNEDER

» **PAN-fibre** udviser enestående vedhæftning til cementbaseret matrix på grund af:

- » **Stor specifik overflade** (nyreformet)
- » **Dipol-grupper** ved overfladen, som interagerer elektrostatiske med cementens hydratiseringsprodukter

» Typisk dosering < 0,1 vægtprocent



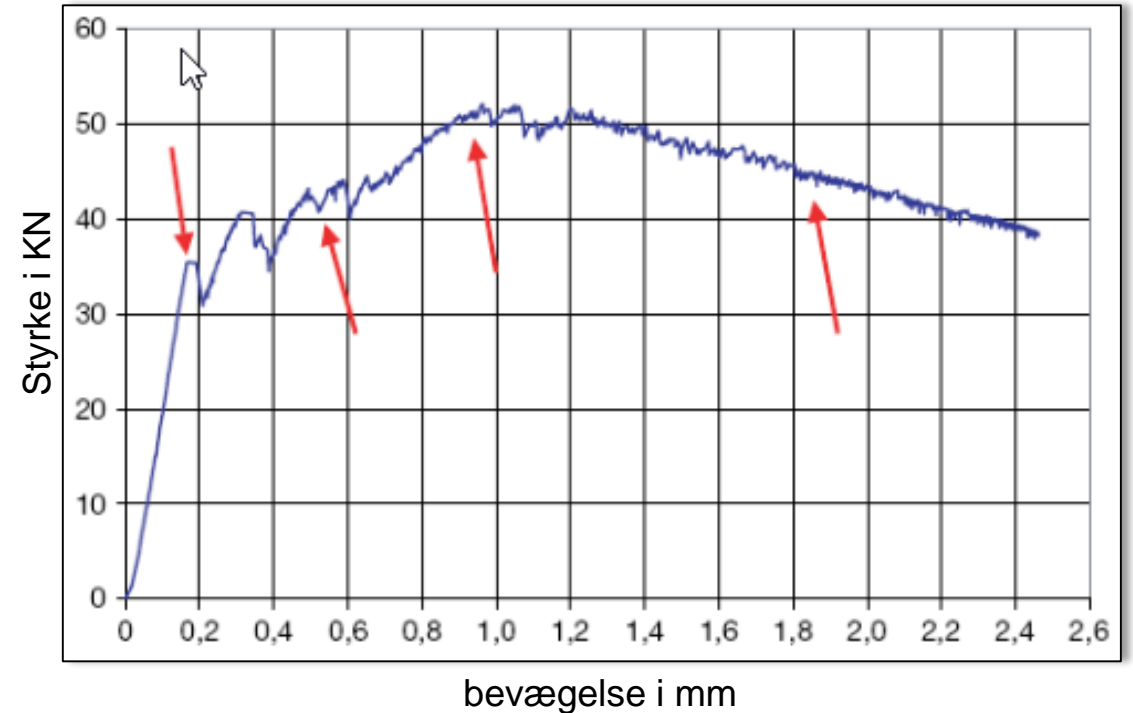


# For at opnå et højt sejhedseffekt, er højkvalitets stålfibre af afgørende betydning



Eksempel:

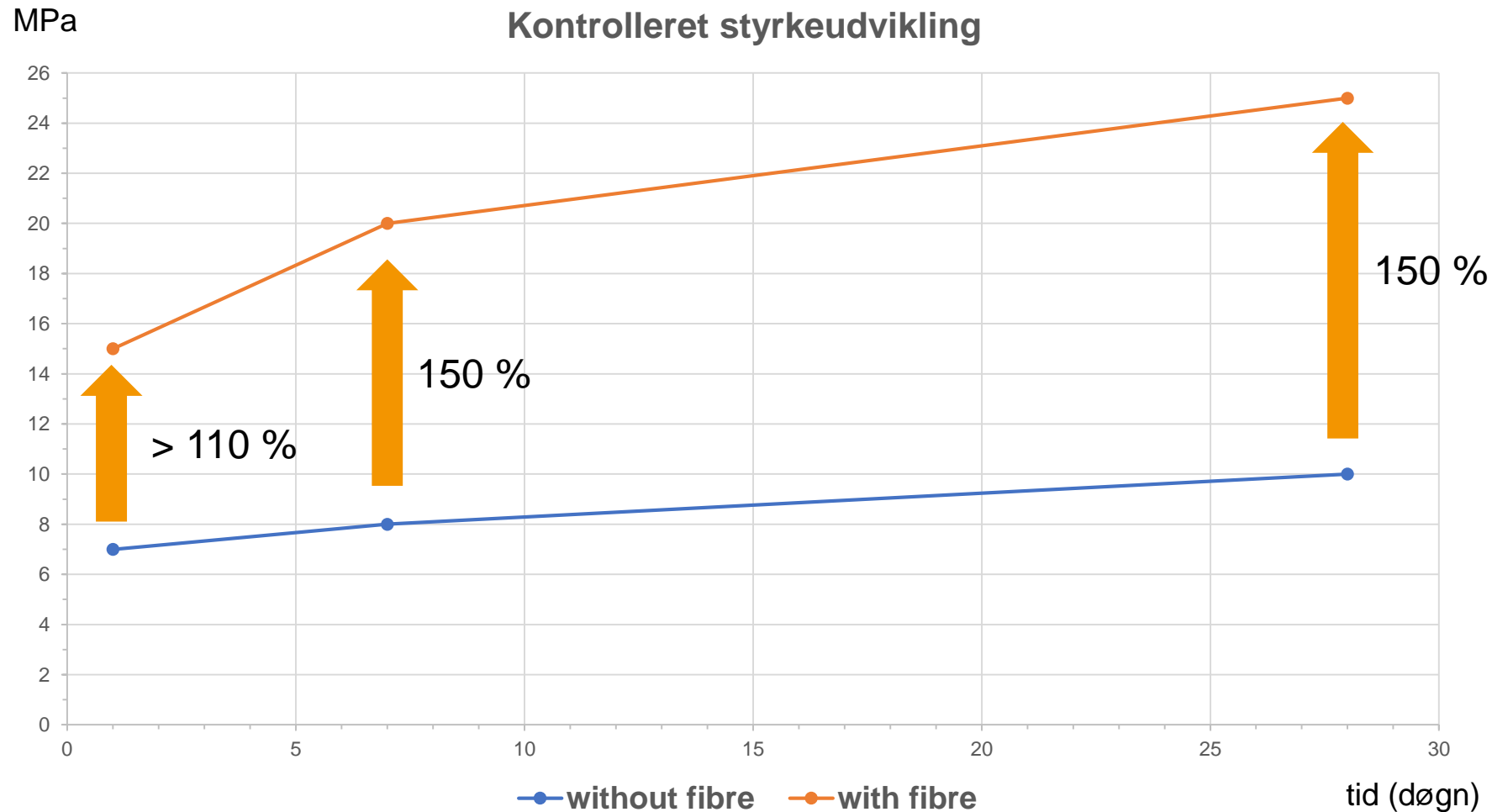
- » Stålfiber med højt kulstofindhold, kroget ende
- » Sammenhængsstyrke: > 2.300 MPa
- » Længde: 30 mm
- » Diameter 0,38 mm



Mange revner (røde pile), øget maksimalbelastning

- » Dosering på 4 vægtprocent
- » Prøvet ved 3-punktsbøjning iht. EN 14651, 15 x 15 x 60 cm<sup>3</sup> bærebjælker med takker/indsnit

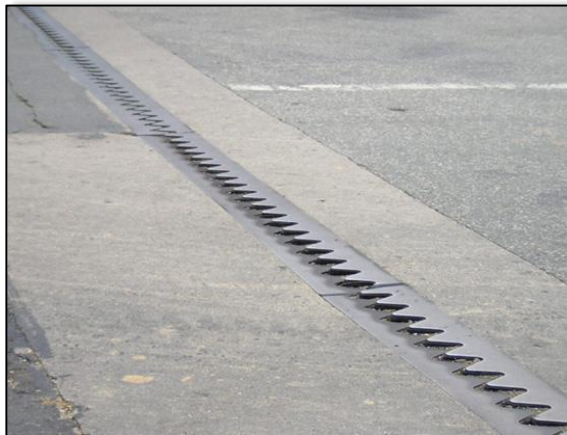
Hvis man ser på maksimalbelastninger opnået ved bøjningstest iht. EN 196-1, opnås der en maksimalbelastning på 150 % ved at tilsætte stålfibre



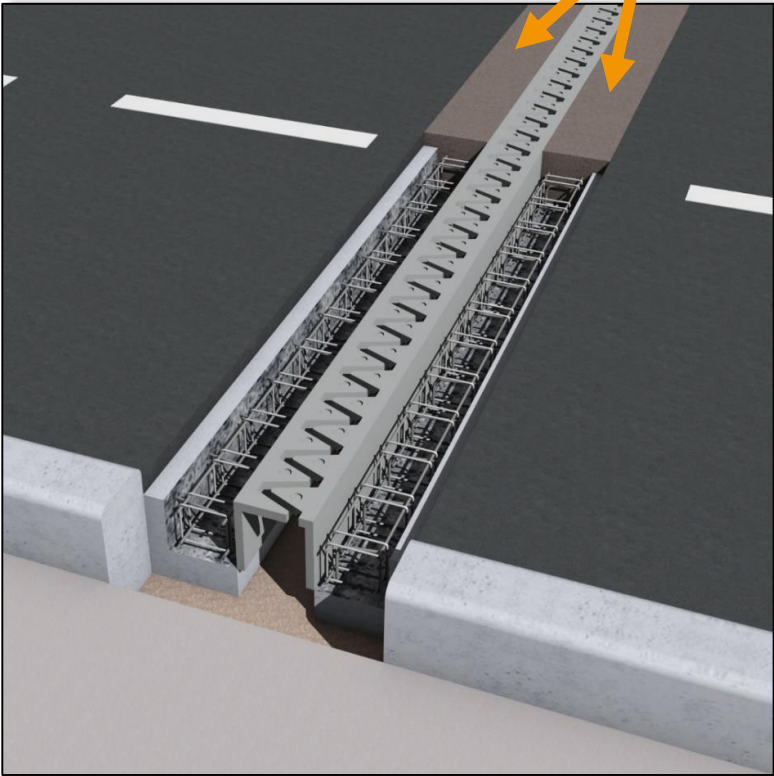
# Et typisk eksempel hvor specielle egenskaber i reparationsmørtel er påkrævet fx. reparation af fugekanter og støbning ved brofuger.




Typiske skader



MasterEmaco T1400 FR



# Egenskaber ved de fleste fibertyper til konstruktioner

Type of fibre 	Typical fibre diameter [µm]	Typical fibre length [mm]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Modulus of elasticity [kN/mm <sup>2</sup> ]	Tensile strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Elongation at rupture [%]	Melting-point [°C]	Glass transition temperature [°C]
<b>Metallic fibres</b>								-
Steel wire fibres	100-1500	6.4-76	7.85	160-210	300-3000	1-10	1500	
Splinter fibres	400	30	7.85	210	900			
Sheet metal fibres	400-650	12-50	7.85	210	270-1200	10		
<b>AR Glass</b>		3-40	2.68-2.70	72-80	1500-3700	1.5-3.6	1600	-
Filament	12-20							
Integral fibre	200-550							
<b>Polypropylene micro fibres</b>								-10/+10
monofilament	10-150	3-36	0.9	1.3-9.8	200-700	10-15	160-	
fibrillated	50-100	6-19	0.9	3.5-10	320-400	5-15	166	
<b>Polypropylene macro fibres</b>	300-1300	20-60	0.9	2-20	300-700	10-20	160-166	-10/+10
<b>Polyacrylonitrile fibres</b>	5-19	4-24	1.18	15-20	200-1000	6-50	>300*	90*
<b>Polyester fibres</b>	10-50	-	1.34-1.39	10-18	228-1300	8-150	256-280	60-80
<b>Polyvinyl alcohol fibres</b>	14-600	6-30	1.30	29-50	800-1300	6-10	230*	85*
<b>Polyethylene fibres</b>	25-1000	6.7-12.7	0.92-0.96	2-5	80-600	3-400	134	-120 to -60
<b>Carbon fibres</b>	7-18	6		28-500	600-4800	0.5-2.0	400	-
HT-type	5-9	6-12	1.6-1.7	230	3450-4000	1.0-1.5		
IM-type	5-10	6-12	1.7-1.9	280-400	3400-5900	1.0-1.9		
HM-type	5-8	6-12	1.6-1.7	380	2500-3000	0.5-0.7		
<b>Aramid fibres</b>	10-12	12-20	1.44	30-130	600-2930	1.8-4.4	480	-

# Tak for opmærksomheden!

## Din kontaktperson i Europa vedr. fiberforstærkede løsninger

### Dr.-Ing. Jürgen Bokern

Uddannelse: Civilingeniør fra Teknisk Universitet i Braunschweig  
Betontechnologi, design, ingeniørarbejde og geoteknik

Phd: Betons holdbarhed (alkalisk-silika-reaktion)

#### Professionel udvikling:

1999-2006: German Cement Works Association (VDZ) – Concrete Technology Dep.  
2006-2010: Lafarge Cement Technical Center, Wien – Kvalitetsafdelingen

Siden 2010: BASF  
=> Head of Application Laboratories for concrete admixtures/additives and cement additives, Global Development Department, Trostberg  
=> **Technology Manager Fibers**, Marketing Europe, Mannheim

Kontaktoplysninger: [juergen.bokern@basf.com](mailto:juergen.bokern@basf.com)

Mobiltelefon: +49 1520 9307156

