

# Fremtidens flyveaske

- fra samfyring af kul og biomasse/affald



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Hvorfor samfyring?
- Hvad er samfyringsaske og hvilke asker er testet?
- Kan man anvende samfyringsaske på lige fod med konventionel flyveaske?
  - Kemiske og fysiske egenskaber af aske
  - Egenskaber af frisk og hærdnet beton
- Konklusion

# Flyveaske i Danmark



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



● De otte store kulfyrede kraftværker

Mere end 300.000 tons flyveaske leveret til fremstilling af beton i 2008

Nuttskningen varer i 100 år

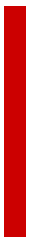


# Hvorfor samfyring?



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Lavere anlægsomkostninger
- Højere elvirkningsgrad
- Lavere emissioner af  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  og HCl pga. effektiv røggasrensning
- Deponering af flyveaske undgås



# Samfyringsaske - definition



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

**Samfyring defineres som samtidig forbrænding af formalet kul og et eller flere materialer fra tabel 1 i EN 450-1:**

- Vegetalt materiale som træpiller, halm, olivensten og diverse vegetale fibre
- Frisk træ eller dyrket biomasse
- Kød- og benmel
- Kloakslam
- Papirslam
- Petroleum coke
- Næsten askefri væsker og gasser

**Desuden kræver EN 450-1:**

- Maximalt 20 vægt-% af det indfyrede materiale må være samfyringsmaterialer
- Maximalt 10 vægt-% af flyveasken må stamme fra samfyringsmaterialer
- Maximalt 20 % af brændværdien må stamme fra samfyringsmaterialer

**Hvis ovenstående ikke er opfyldt kan flyveasken produceres i henhold til en ETA-godkendelse !**

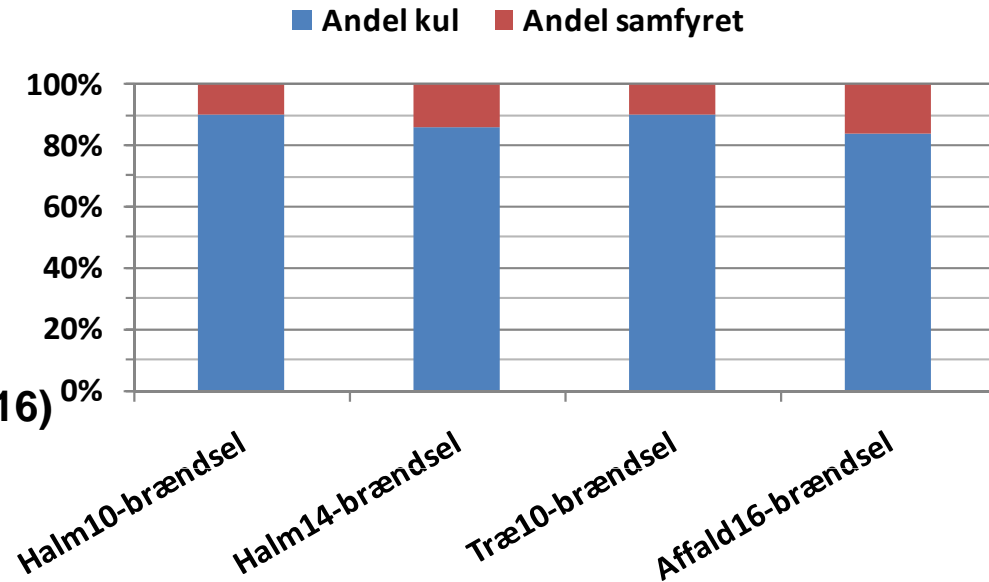
# Testede flyveasker



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

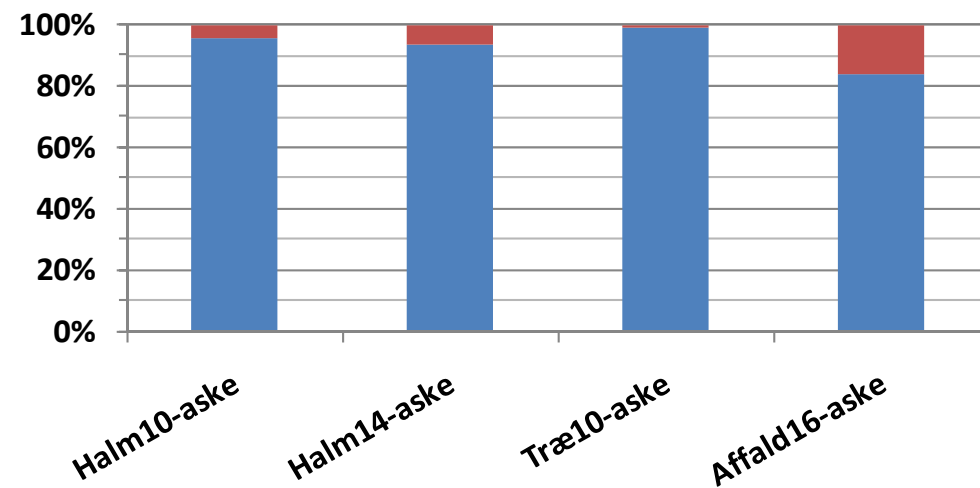
## Samfyringsasker:

- 10% halm + 90% kul (Halm10)
- 14% halm + 86% kul (Halm14)
- 10% træpiller + 90% kul (Træ10)
- 16% udvalgt affald + 84% kul (Affald16)



## Kulasker:

- 100% kul (HalmREF)
- 100% kul (TræREF)
- 100% kul (AffaldREF)



# Test program



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- **Flyveaskens kemiske og fysiske egenskaber i henhold til EN 450-1 suppleret med diverse analyser**
  - Grundstofsammensætning samt specifikke vådkemiske analyser
  - Mineralogisk sammensætning
  - Partikelstørrelsesfordeling, visuel beskrivelse i SEM, aktivitetsindeks, volumenbestandighed, densitet, afbindingstid
  
- **Flyveaskebeton – forprøvning svarende til EN 206 (DS 2426) for exponeringsklasserne XD1/XF3 (aggressiv miljøklasse) and X0 (passiv miljøklasse)**
  - Frisk beton: Konsistens og densitet, luftindhold inkl. tidsudvikling
  - Hærdnende beton: Vandseparation og varmeudvikling
  - Hærdnet beton: Styrkeudvikling og luftporestruktur
  - Udvaskning af tungmetaller fra knust beton iht. EN 12457-3



# Kemisk sammensætning - hovedkomponenter



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Vægt-%

Asketype	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
HalmREF	51	32	2,3	7,0	1,3	0,15	0,79	1,9	0,64
Halm10	51	31	2,2	7,0	1,3	0,16	1,8	2,1	0,73
Halm14	53	29	3,3	5,6	1,0	0,11	2,5	1,8	0,75
TræREF	56	23	8,5	3,5	1,8	0,90	2,1	0,57	1,0
Træ10	55	22	9,1	3,5	1,9	0,93	2,6	0,51	1,3
AffalfREF	59	19	8,3	2,3	2,0	0,30	1,3	0,26	0,62
Affald16-1	52	22	6,8	4,9	2,3	0,55	1,8	0,86	1,2
Afflad16-2	52	22	7,3	6,1	2,2	0,51	2,0	1,0	1,0

**Intet overraskende eller alarmerende !**

# Kemisk sammensætning – sporelementer



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Vægt-%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	NiO	CuO	ZnO	BaO	PbO
HalmREF	0,037	0,029	0,053	0,012	0,0093	0,0097	0,24	0,01
Halm10	0,042	0,034	0,039	0,012	0,009	0,011	0,18	0,009
Halm14	0,042	0,034	0,039	0,012	0,009	0,011	0,18	0,009
TræREF	0,057	0,022	0,076	0,018	0,014	0,034	0,13	0,01
Træ10	0,28	0,027	0,14	0,088	0,017	0,047	0,14	0,009
AffaldREF	0,052	0,02	0,083	0,01	0,011	0,028	0,14	0,001
Affald16-1	0,053	0,034	0,084	0,016	0,039	0,091	0,24	0,025
Afflad16-2	0,053	0,028	0,11	0,018	0,03	0,088	0,33	0,012

**Intet overraskende eller alarmerende !**



# Kemisk sammensætning – sporelementer



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

mg/kg	Ag	As	Bi	Cd	Hg	Mo	Sb	Se	Sn	Tl
HalmREF										
Halm10										
Halm14										
TræREF										
Træ10										
AffaldREF	0,6	34	0,4	1,7	-	13	5	32	2,5	1,4
Affald16-1	2,2	46	1,9	5,2	-	12	46	20	27	1,8
Afflad16-2	1,5	42	2	2,8	0,1	13	32	29	20	2,2

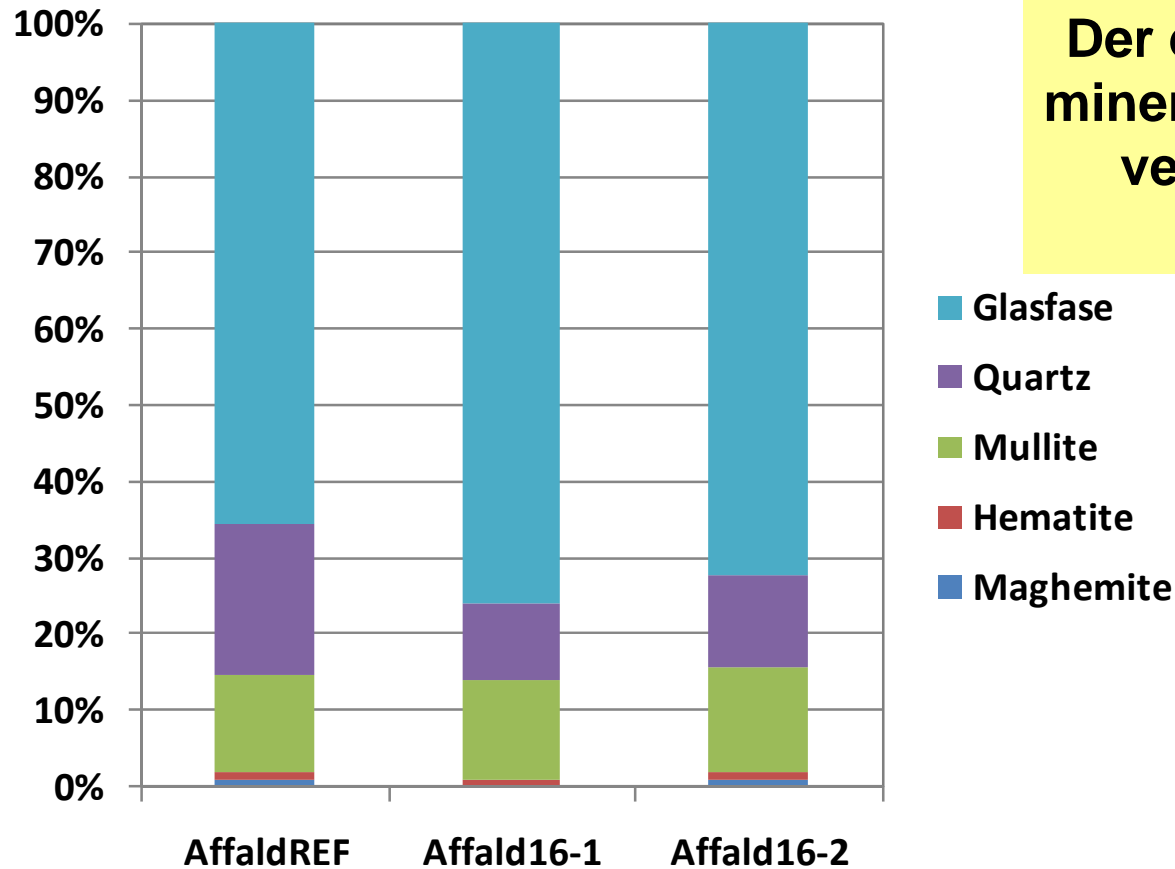
**Intet overraskende eller alarmerende !**



# Mineralogisk sammensætning - XRD



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



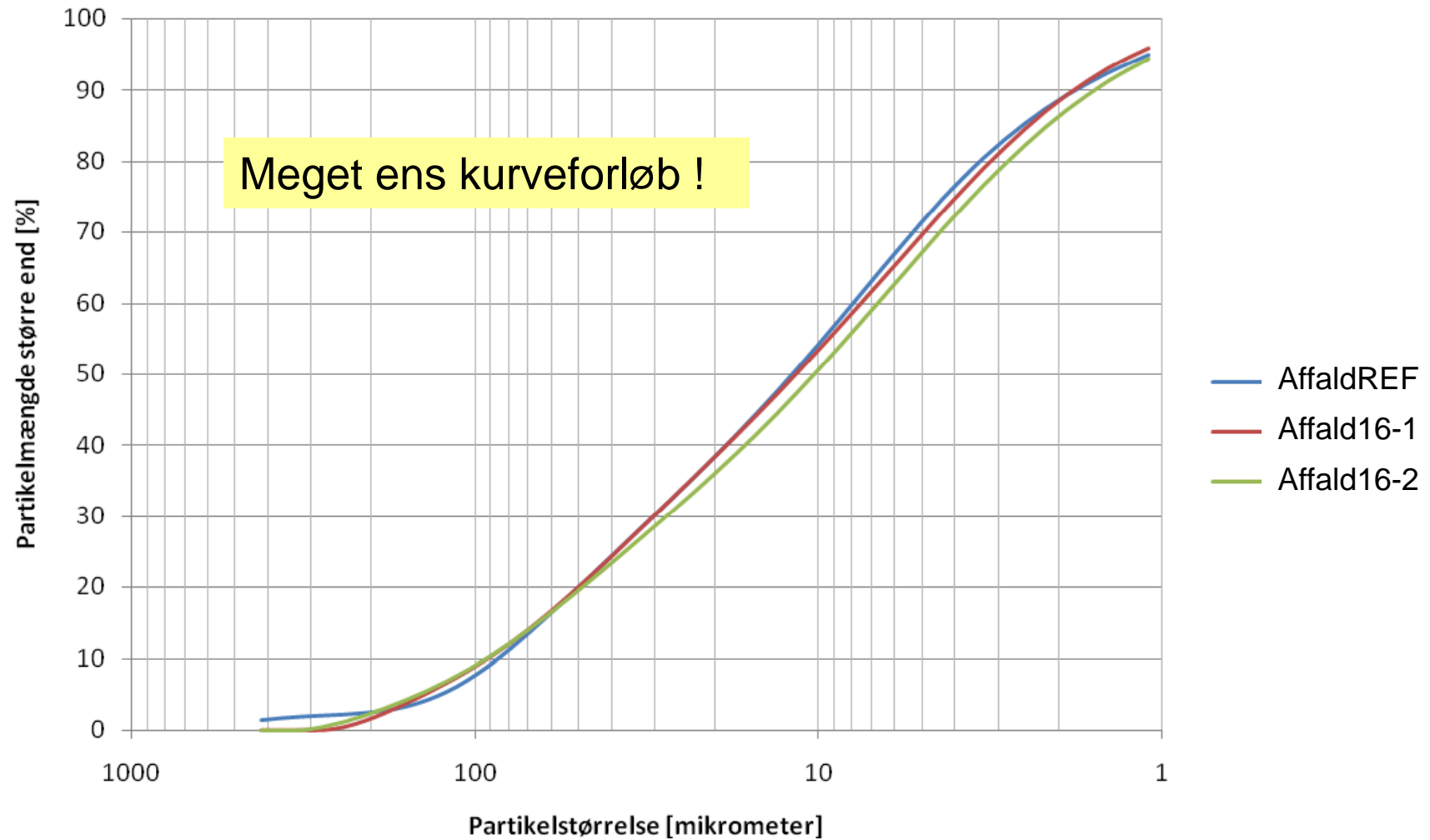
Der er ikke blevet fundet nye mineraler i samfyringsaskerne ved analyse i henhold til hollandsk metode !

Glasfasen er den reaktive komponent som giver pozzalanreaktion = bidrager til styrke og tæthed af beton !

# Partikelstørrelsesfordeling



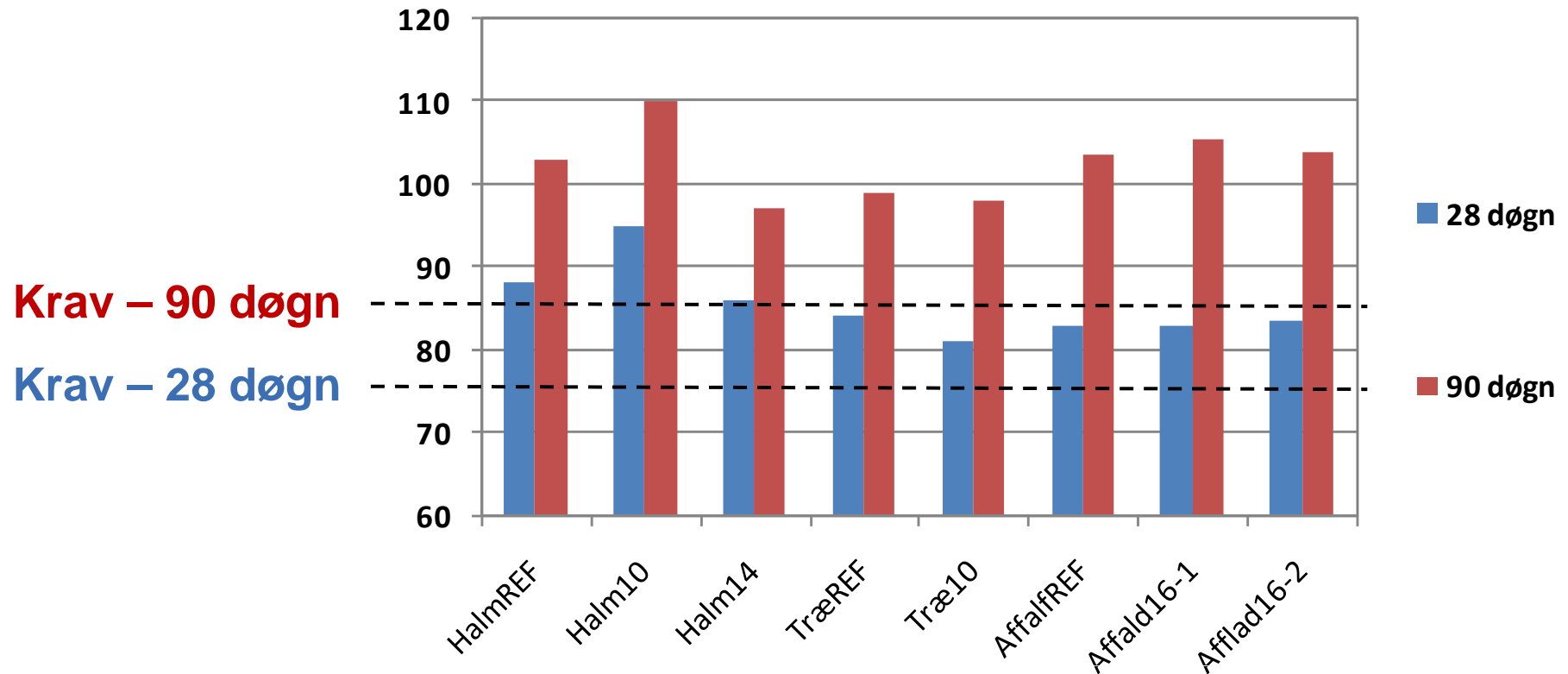
TEKNOLOGISK  
INSTITUT



# Aktivitetsindeks – EN 450-1

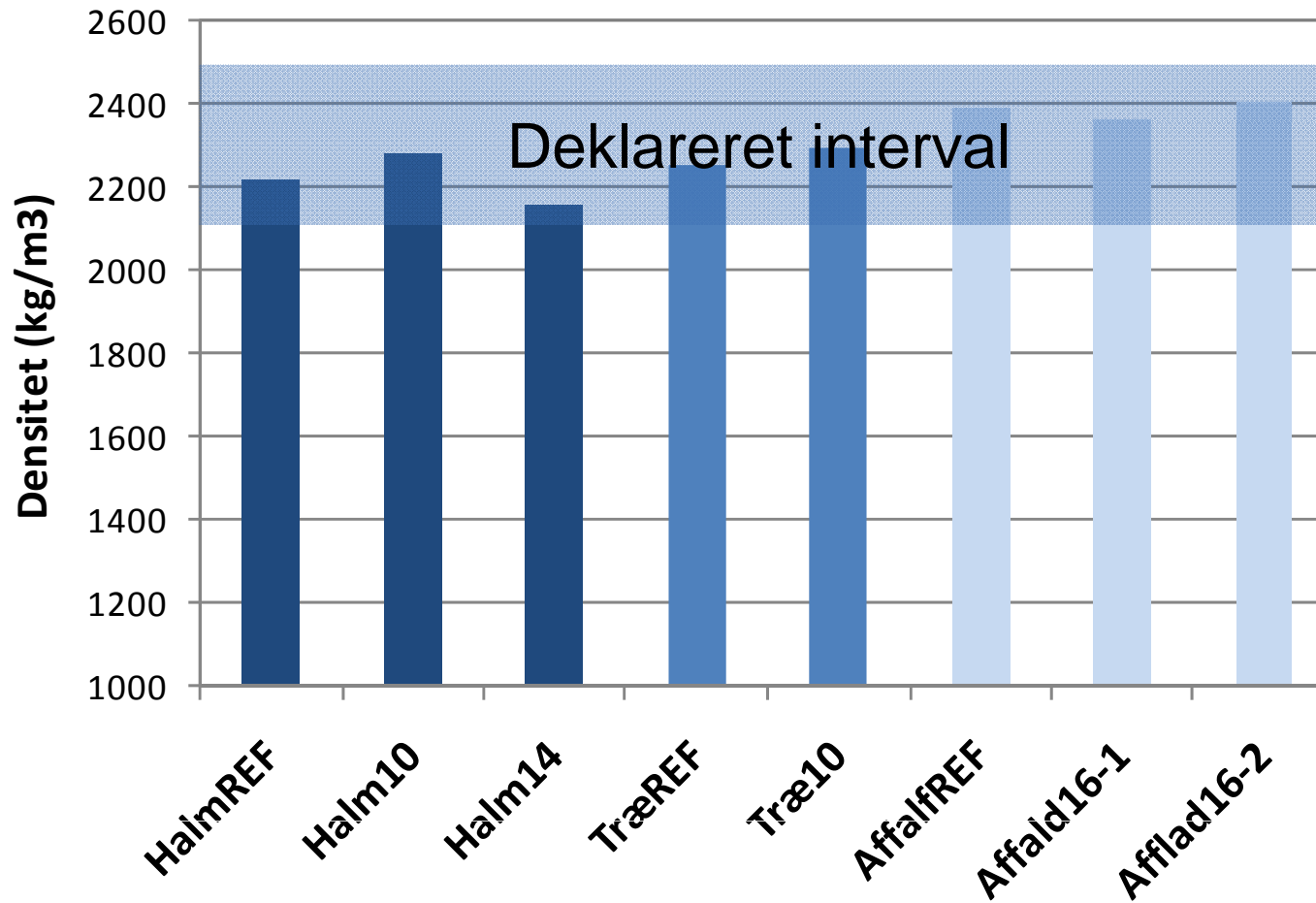


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**Ingen signifikant forskel på aktivitetsindeks af samfyrringsasker og referenceasker !**

# Densitet – EN 450-1

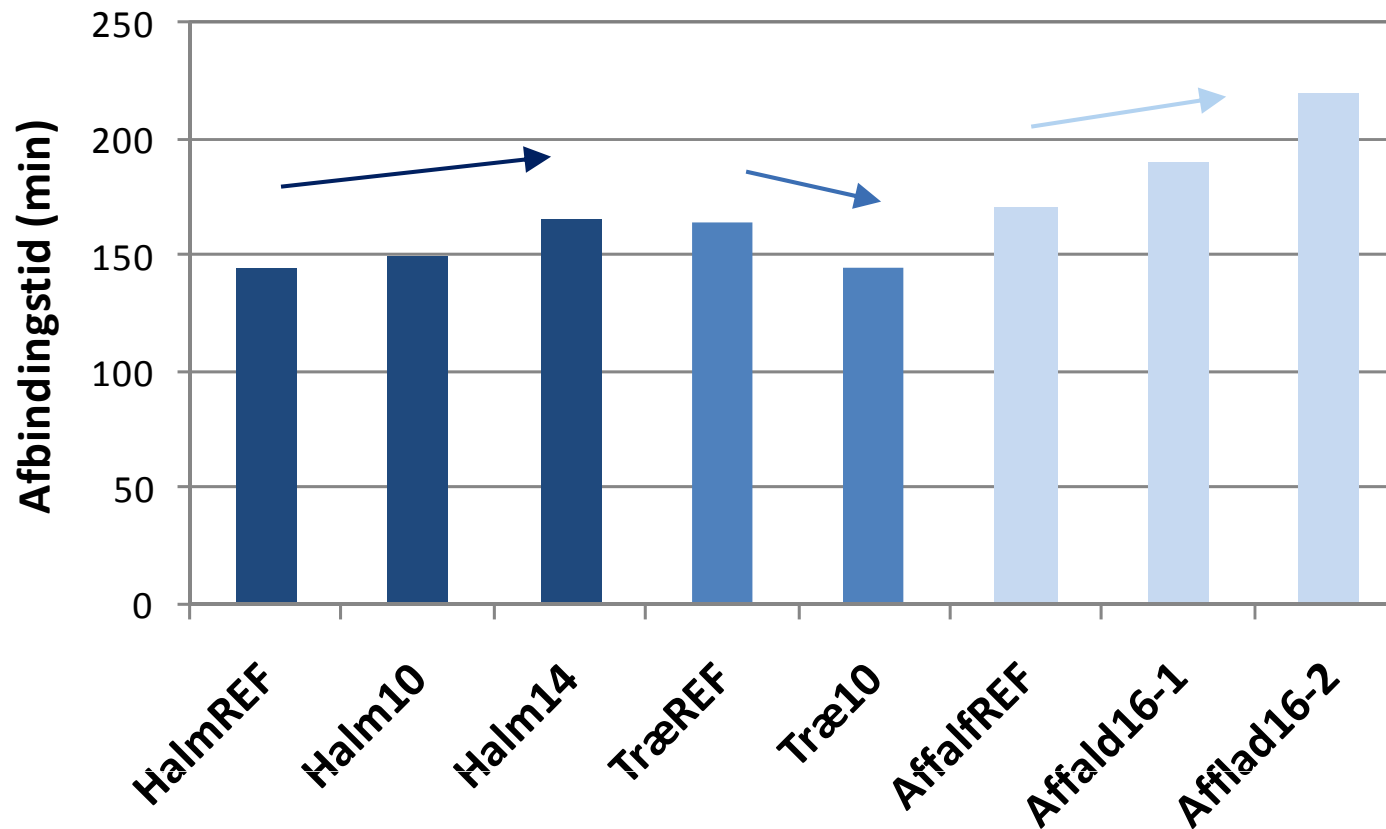


**Samfyring har ingen signifikant indflydelse på densiteten af flyveaske !**

# Afbindingstid – EN 450-1



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**Alle asker overholder EN 450-1 kravet på maksimalt 120 minutter forlængelse af afbindingstid i forhold til ren cementmørtel !**

# Betonrecepter



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

**Cement : Flyveaske < 2:1**

**Cement : Flyveaske = 5:1**

**Cement : Flyveaske = 4:1**

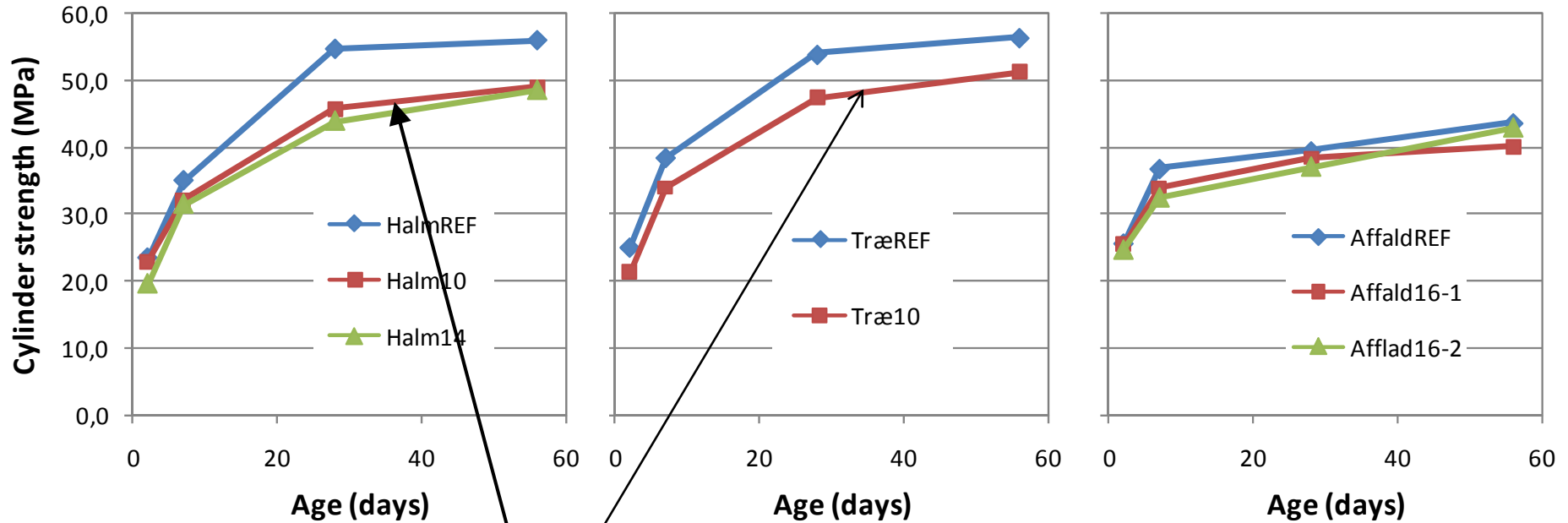
Betontype	Asketype	År	v/c	Rapidcement (kg/m <sup>3</sup> )	Flyveaske (kg/m <sup>3</sup> )	Mikrosilika (kg/m <sup>3</sup> )	Vand (kg/m <sup>3</sup> )	Tilslag 0/4 (kg/m <sup>3</sup> )	Tilslag 4/8 (kg/m <sup>3</sup> )	Tilslag 8/16 (kg/m <sup>3</sup> )
A35 (XF3)	Halm, Træpiller	2003 - 2007	0,41	279	52	17	138	696	331	769
A35 (XF3)	Affald	2008 - 2009	0,42	281	56	0	131	732	369	735
P20 (X0)	Halm, Træpiller	2003 - 2007	0,71	172	93	0	156	798	998	
P25 (X0)	Affald	2008 - 2009	0,66	195	49	0	144	767	386	770

**A-beton: Sætmål = 120mm, luft = 6,5%**

**P-beton: Sætmål = 120mm, luft = 4,5%**



# Styrkeudvikling - A35 beton



**Markant højere luftindhold !**

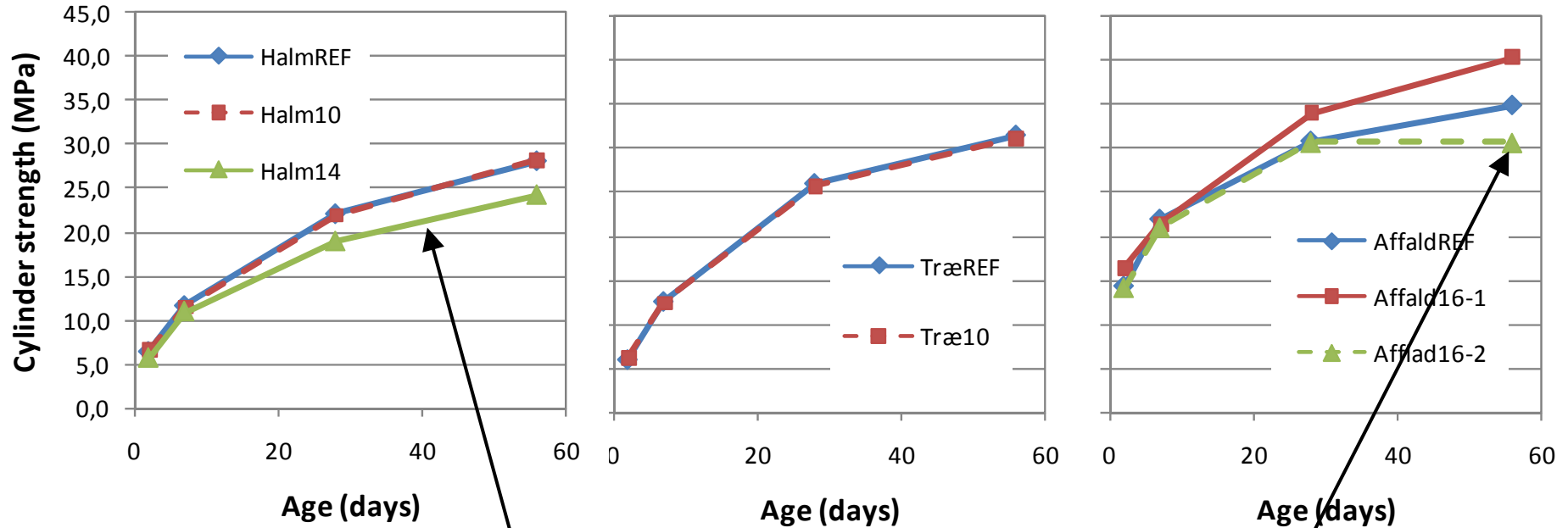




# Styrkeudvikling - P beton



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



Markant højere luftindhold !

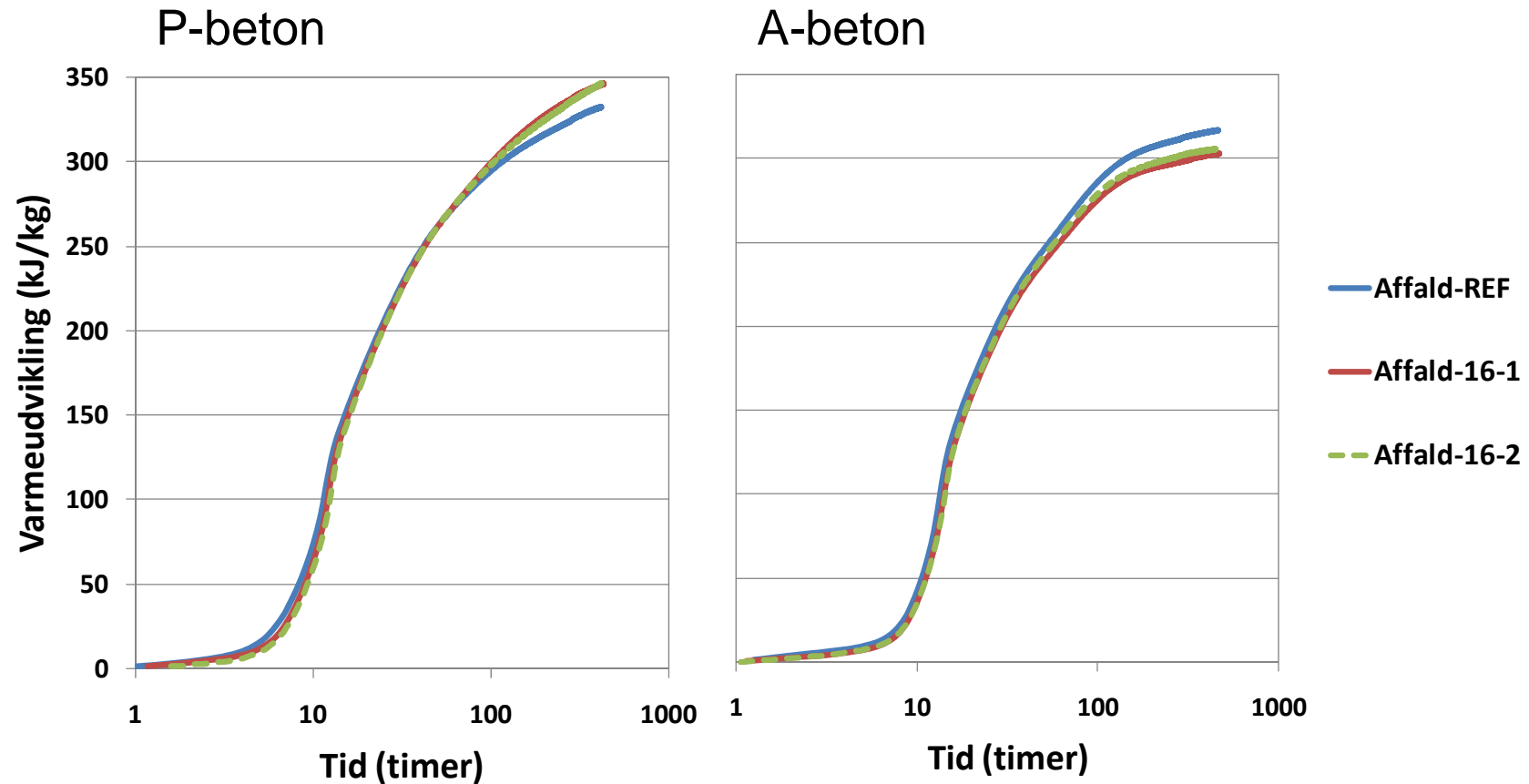
To målinger – én meget lav (25 MPa)!



# Varmeudvikling – NT BUILD 388



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**Anvendelse af samfyrringskasse har ingen signifikant indflydelse på varmeudvikling af beton !**

# Udvaskning – krav (EN 12457-3)



$\mu\text{g/l}$	Drikkevandskrav	Bek. 1480	Bek. 1480	Bek. 1480
		Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Ag	10	-	-	-
As	5	8	8	50
Ba	700	300	300	4000
Cd	2	2	2	40
Cr	20	10	10	500
Cu	100	45	45	2000
Hg	1	0,1	0,1	1
Mn	-	150	150	1000
Ni	20	10	10	70
Pb	5	10	10	100
Sb	2	-	-	-
Zn	100	100	100	1500

- Neddeling til < 4 mm
- 24t udrystning med vand
- L/S = 2:1

Hvis ikke disse værdier er overholdt kan genanvendelse være problematisk

# Udvaskning – ikke-karbonatiseret beton



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Parameter	AffaldREF	Affald16-1	Affald16-2	Uden flyveaske	AffaldREF	Affald16-1	Affald16-2	Uden flyveaske
	A	A	A	A	P	P	P	P
pH v. 24°C	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,6 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1
Antimon	<4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Arsen	<2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Barium	1800	2200	2900	2700	2400	2600	3200	2900
Bly	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cadmium	<1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Chrom	12	10	7,7	18	9,8	10	7,1	21
Kviksølv	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Kobber	8	17	16	14	8,5	21	16	17
Mangan	<2,0	<2,0	<2,0	< 2,0	<2,0	<2,0	<2,0	< 2,0
Nikkel	<2,5	7,5	5,9	4,9	<2,5	9,3	9,2	9,2
Sølv	<1,5	<1,5	<1,5	< 1,5	<1,5	<1,5	<1,5	< 1,5
Zink	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0

- Alle krav til kategori 3 materiale er overholdt
- Kun Barium-værdierne overholder ikke krav til kategori 1 og 2.
- Bly og Kviksølv er dog kun analyseret med en detektionsgrænse svarende til grænseværdien
- Udvaskningen fra flyveaskebeton og ren Portland cement beton er af samme størrelsesorden

# Udvaskning – karbonatiseret beton



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Parameter	AffaldREF	Affald16-1	Affald16-2	Uden flyveaske	AffaldREF	Affald16-1	Affald16-2	Uden flyveaske
	A	A	A	A	P	P	P	P
pH v. 24°C	8,3 ± 0,1	8,0 ± 0,1	8,2 ± 0,1	8,6 ± 0,1	8,1 ± 0,1	8,0 ± 0,1	8,0 ± 0,1	8,1 ± 0,1
Antimon	<4,0	6,7	6	<4,0	<4,0	6,6	5,7	<4,0
Arsen	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Barium	24	33	30	21	25	30	35	27
Bly	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cadmium	1,23±0,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Chrom	46±5	36 ± 5	46 ± 5	120±10	9,4±0,9	9,6±0,9	16 ± 5	110±10
Kviksølv	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Kobber	5,9 ± 2,5	8,6± 2,5	6,6 ± 2,5	6,0 ± 2,5	<5	8,4 ± 2,5	7,0 ± 2,5	6,9 ± 2,5
Mangan	5,5	12	7,5	2,9	15	18	17	9,9
Nikkel	3,2± 1,3	4,6 ±1,3	3,4 ±1,3	<2,5	2,8± 1,3	4,7± 1,3	4,6± 1,3	3,6 ± 1,3
Sølv	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
Zink	6,6± 2,5	6,7± 2,5	5,9± 2,5	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0

- Alle krav til kategori 3 materiale er overholdt
- Kun Chrom-værdierne overholder ikke krav til kategori 1 og 2.
- Bly og Kviksølv er dog kun analyseret med en detektionsgrænse på 1 henholdsvis 2 gange grænseværdien
- Udvaskningen fra flyveaskebeton og ren Portland cement beton er af samme størrelsesorden

# Fremtidens flyveaske

- fra samfyring af kul og biomasse/affald



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Konklusioner:

- Fysiske og kemiske egenskaber af testede samfyringsasker er stort set identiske med konventionelle flyveaske
- Egenskaberne af frisk og hærdnet beton med samfyringsaske er de samme som af beton med konventionel flyveaske
- Udvaskning af tungmetaller fra flyveaskebeton giver ikke problemer for genanvendelsen af beton