

Sterkte in relatie tot milieuklasse

Stufib/Stutech 30 oktober 2019

Stufib-notitie 30

van

Stufib commissie in-situ beton

Stufib

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib



STUTECH

Even voorstellen



Leo Molenbroek

Raadgevend Adviseur Constructies
Heijmans Infra

heijmans

Richard Giesen

R&D Manager Beton
Bruil



bruil[®]

Stufib

Sterkte in relatie tot milieuklasse



STUTECH

Stufib commissie in-situ beton

• Ton van Beek - SKG-IKOB

Rob van Berkel - BAMINFRA

Ab van den Bos - Diana FEA BV

• Leo Dekker - Mebin

Govert Dorrenboom - ABT

Richard Giesen - Bruil

Leo Molenbroek - Heijmans

Duraïd Shayout - VolkerWessels Infra Competence Centre

Peter de Vries - ENCI

Sterkte in relatie tot milieuklasse

Inleiding

Een hogere sterkte krijgen dan dat gevraagd is, dat klinkt op het eerste gezicht positief. De constructeur vraagt een betonklasse C20/25 vanuit de constructieve berekening en een milieuklasse XA3 omdat de constructie in een agressief chemisch milieu geplaatst wordt. De uitvoerder verstrekt de uitvoeringstechnische aspecten en geeft aan dat er snel ontkist moet worden. De betontechnoloog geeft vervolgens aan dat het betonmengsel de eigenschappen krijgt die overeenkomen met een betonsterkteklasse C45/55. In dit extreme voorbeeld is in het ontwerp is gerekend met een karakteristieke cilinderdruksterkte van 20 N/mm^2 (= 20 MPa) en later blijkt dat deze sterkte 45 N/mm^2 wordt.

Is deze toename in de sterkte een probleem? Of is de 'gratis' sterkte later een zegen omdat er extra sterktereserve in de constructie zit?

De vaste commissie in-situ beton van Stufib heeft zich in dit onderwerp verdiept met de volgende vraag: **Wat is de invloed van het krijgen van een hogere sterkteklasse dan gevraagd op de constructieve eigenschappen?**

Sterkte in relatie tot milieuklasse



Tabel D – Eisen aan de betonsamenstelling afhankelijk van de milieuklasse				
Milieuklasse	Maximaal toelaatbare water-cementfactor/ water-bindmiddelfactor	Minimaal vereist cement-/ bindmiddelgehalte kg/m³	Minimumluchtgehalte*	
			Grootste korrelafmeting D mm	Luchtgehalte % volume-percentage
1 Geen risico op corrosie of aantasting				
X0	0,70*	200*	-	-
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie				
XC1	0,65	260	-	-
XC2	0,60	280	-	-
XC3	0,55	280	-	-
XC4	0,50	300	-	-
3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater				
XD1	0,55	300	-	-
XD2	0,50	300	-	-
XD3*	0,45	300	-	-
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater				
XS1	0,50	300	-	-
XS2*	0,45	300	-	-
XS3*	0,45	320	-	-
5 Aantasting door vorst/dooiwisselingen met of zonder dooizouten				
XF1	0,55	300	-	-
XF2	0,55	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF3	0,45	300	-	-
			-	-
			-	-
XF4	0,50	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF4	0,45	320	-	-
6 Chemische aantasting				
XA1	0,55	300	-	-
XA2*	0,50	320	-	-
XA3*	0,45	340	-	-

* Het minimumluchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte.

* De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cement-/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwatrbeton in niet-agressief water. Voor ongevapend beton gelden geen grenswaarden.

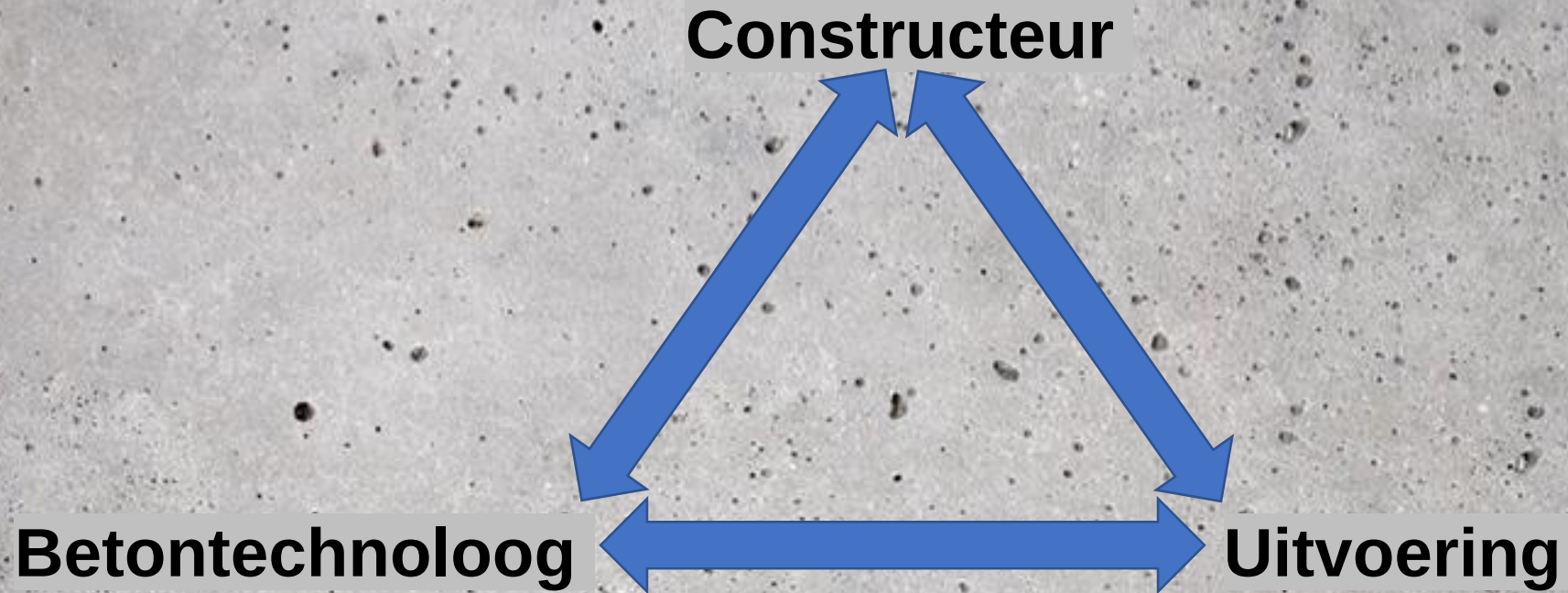
* Bij bouwdeelen die voldoen aan de definitie massabeton, zie opmerking 3 en tabel E met vervolgtekst

* Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO₄²⁻/l of aan grond met een gehalte aan sulfaten groter dan 3000 mg/kg wordt blootgesteld, behoort cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten te worden gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1, met uitzondering van CEM I-SR 5, puzzolaancement CEM IV/A-SR en CEM IV/B-SR.

Omschrijving fenomeen	verwijzing naar figuur	nadere aanduiding
sedimentatie / zetting	A	boven de wapening
	B	silowerking
	C	verandering van de doorsnede
	D	zetting van de bekisting
plastische krimp	E	meestal diagonaal
	F	willekeurig
thermische krimp in jong beton	G	boven de wapening
	H	uitwendige verandering van vervorming
	I	inwendige verandering van vervorming
uitdrogingskrimp craquelé	J	relatie met niet functionerende krimpvoeg
	K	tegen bekisting
wapeningscorrosie	L	monoliet afgewerkte vloeren
	M	carbonatatie, chloriden geïnitieerd

De vaste commissie in-situ beton van Stufib heeft zich in dit onderwerp verdiept met de volgende vraag:
Wat is de invloed van het krijgen van een hogere sterkteklasse dan gevraagd op de constructieve eigenschappen?

Driehoek

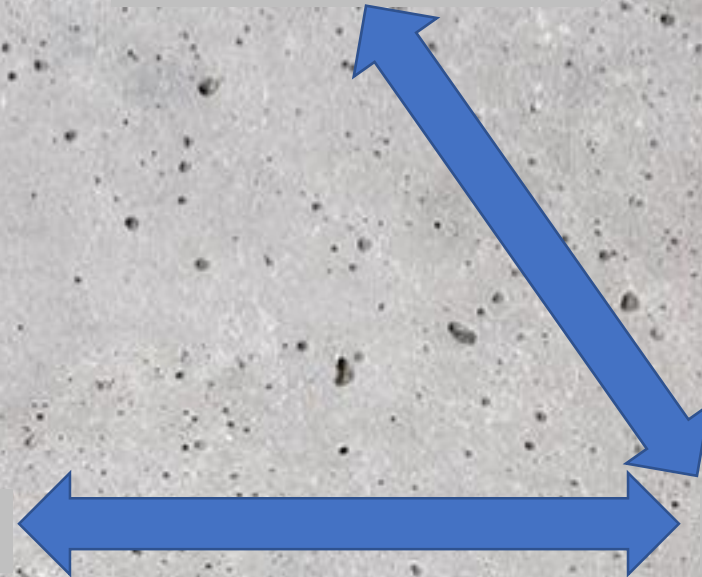


Praktijk

Constructeur

Betontechnoloog

Uitvoering



Constructief

Nr	Variant	Sterkte-klasse	Milieu-klasse
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4

Betontechnologisch

Tabel 1: Gekregen sterkte bij verschillende milieuklassen (op basis van data van betoncentrales)

Sterkte-klasse	Ontwerp op sterkte (f_{cn} / wcf)	Milieu-klasse	Minimum wcf (NEN 8005)	Gemeten sterkte op beton-centrale	Gekregen sterkte-klasse
C20/25	32 / 0,70	XC1	0,65	35	C25/30
C20/25	32 / 0,70	XC2	0,60	42	C30/37
C20/25	32 / 0,70	XC3	0,55	44	C30/37
C20/25	32 / 0,70	XC3	0,55	52 ²	C35/45
C20/25	32 / 0,70	XC4	0,50	47	C30/37
C20/25	32 / 0,70	XC4	0,50	56 ²	C40/50
C20/25	32 / 0,70	XA3	0,45	52	C35/45
C20/25	32 / 0,70	XA3	0,45	59 ²	C40/50

De bovenstaande sterkten zijn in N/mm² (MPa)

² Deze waarden liggen nog weer 15% hoger omdat een deel van het hoogovencement is vervangen door, het traditioneel genoemde “kwartje Portland”, een CEM I 52,5 R. Dit gebeurt meestal op verzoek van de aannemer omdat hij gezien de voortgang van het werk, met betrekking tot bijvoorbeeld het tijdstip van ontkisten of het tijdstip waarop de voorspanning kan worden aangebracht, de verharding van het beton wil versnellen.

Uitvoeringstechnisch

Nr	Variant	Sterkte-klasse	Milieu-klasse	Sterkte t.b.v. ontkisten
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1	
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4	
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4	
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4	
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4	
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3	
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3	
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4	

Geschatte werkelijke Sterkteklasse

Nr	Variant	Sterkte-klasse	Milieu-klasse	Sterkte t.b.v. ontkisten	Verh. verv.	Geschatte werkelijke sterkteklasse
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen		C35/45
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen	Ja	C35/45
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1		Ja	C30/37
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C40/50
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C40/50
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C35/45
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45

**Wat is de invloed van de hogere
sterkteklasse op het gedrag van de
constructie ?**

Bestaande rapporten

Betoniek 'B van Beton', april 2003:

- ❖ Scheurwijdte bij verhinderde vervorming 32% groter als B25 → B45

Stufib-rapport 20, "Betonsterkte vs. Duurzaamheid", maart 2012:

- ❖ Scheurwijdte groter en minimale wapening hoger bij hogere betonkwaliteit

ROK (Rijkswaterstaat)

- ❖ Rekenen met 2 sterkteklassen hoger

Invloed kwantificeren

Door middel van indicatieve berekeningen van vaak voorkomende situaties voor gewapend beton bij:

- ❖ Buiging (sterkte en scheurwijdte)
- ❖ Dwarskracht
- ❖ Minimale wapening i.v.m. voorkomen bros bezwijken, voor buiging en dwarskracht
- ❖ Scheurwijdte t.g.v. verhinderde vervorming

Niet in beschouwing genomen

- ❖ E-modulus
- ❖ Krimp en kruip

I.v.m. verwachte beperkte invloed

- ❖ Brandwerendheid
- Buiten scope van deze studie

Berekeningsmethodiek

- ❖ De voorbeelden zijn samengesteld op basis van ervaring, dus indicatief
- ❖ Het gaat om het *verschil* tussen de benodigde wapening bij de theoretische sterkte en bij de werkelijke sterkte
- ❖ Conform NEN-EN 1992-1-1, behalve verhinderde vervorming
- ❖ Verhinderde vervorming conform het Roze Boek, 2006/2013 (van Breugel)

Voorbeelden

Nr	Variant	Sterkte- klasse	Milieu-klasse	Sterkte t.b.v. ontkisten	Verh. verv.	Geschatte werkelijke sterkteklasse
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen		C35/45
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen	Ja	C35/45
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1		Ja	C30/37
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C40/50
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C40/50
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C35/45
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45

Werkelijk

Verandering treksterkte

C30/37 → C40/50

+20%

bv: Infra-constructies

C20/25 → C45/55

+70%

bv: koude gietbouw

Resultaten

Nr	Variant	Sterkte-klasse	Milieu-klasse	Sterkte t.b.v. ontkisten	Verh. verv.	Geschatte werkelijke sterkteklasse
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen		C35/45
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen	Ja	C35/45
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1		Ja	C30/37
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C40/50
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C40/50
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C35/45
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45

Resultaten

Nr	Variant	Sterkte-klasse	Milieu-klasse	Sterkte t.b.v. ontkisten	Verh. verv.	Geschatte werkelijke sterkteklasse	Toename wapenings-percentage
1	Vloer koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55	
2	Vloer koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55	
3	Vloer U-bouw	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen		C35/45	
4	Vloer U-bouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	25 N/mm ² , 3 dagen	Ja	C35/45	+ 10 a 15%
5	Vloer parkeerkelder	C30/37	XC3, XD1		Ja	C30/37	
6	Dek tunnel wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C40/50	
7	Dek tunnel, verdeelwapening, wintermengsel	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C40/50	+ 5 a 10%
8	Wand koude gietbouw	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55	
9	Wand koude gietbouw, verdeelwapening	C20/25	XC1	14 N/mm ² , 14 uur		C45/55	
10	Wand tunnel	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45	
11	Wand tunnel, verdeelwapening	C30/37	XC4, XD3, XF4		Ja	C35/45	+ 5 a 10%
12	Balk slank	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45	
13	Balk gedrongen	C30/37	XC4, XF1, XS3			C35/45	
14	Pijlerkolom	C30/37	XC4, XD3, XF4			C35/45	

→ Alleen situaties met meer wapening aangegeven

Discussie

- ❖ Minimale wapening is in de voorbeelden niet maatgevend
→ als dat wel het geval is, is de invloed groter!
- ❖ De verdeelwapening bij koude gietbouw is berekend als 20% van de hoofdwapening. Er is niet gekeken naar scheurvorming, verhinderde vervorming en minimale wapening
- ❖ Alle gevallen met toename wapening betreffen verhinderde vervorming (scheurwijdte)
- ❖ Bij verhinderde vervorming van de voorbeelden geldt: 7% meer wapening bij gelijkblijvende scheurwijdte of 10% grotere scheurwijdte bij gelijkblijvende wapening

NEN-EN 1992-1-1

Bijlage E, “Indicatieve sterkteklassen voor duurzaamheid”

→ informatief

→ Bij minimale wapening en scheurwijdte rekenen met de hogere sterkte

NEN-EN 1992-1-1

	Milieuklassen volgens tabel 4.1									
Corrosie										
	Corrosie ingeleid door carbonatatie				Corrosie ingeleid door chloriden *			Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indicatieve sterkteklasse	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Betonschade										
	Geen risico	Aantasting door vorst/dooi-wisselingen					Chemische aantasting			
	X0	XF1	XF2		XF3		XA1	XA2	XA3	
Indicatieve sterkteklasse	C12/15	C30/37	C25/30		C30/37		C30/37		C35/45	

NEN-EN 1992-1-1

Wellicht wordt bijlage E normatief?

Conclusie

- ❖ Hogere sterkteklasse te verwachten bij: milieuklasse met lage watercementfactor of snel ontkisten
- ❖ Grootste invloed bij minimale wapening t.b.v. voorkomen bros bezwijken
→ vaak niet maatgevend
- ❖ Bij minder dan 2 sterkteklassen hoger: tot 10% extra wapening noodzakelijk bij verhinderde vervorming
- ❖ Vooral invloed bij theoretische lage sterkte bv: C20/25
- ❖ Overige aspecten een kleine gunstige invloed
→ daar kunnen we echter niet mee rekenen, het is niet zeker dat de sterkteklasse hoger is

Vragen



A photograph of a sunset over a body of water. The sun is a bright yellow circle in the upper center, with its light reflecting as a shimmering path on the water's surface. The sky is a gradient of orange and yellow, and the water is dark with some lighter patches where the sun's reflection hits.

Dank voor de aandacht