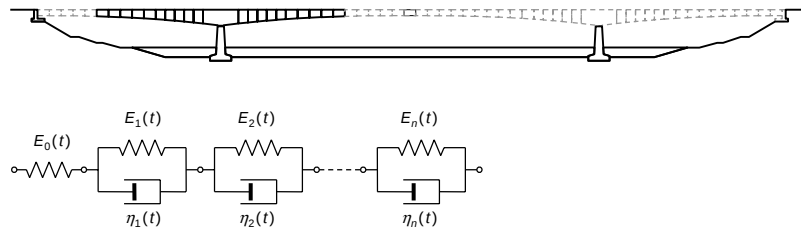


Realistische simulatie vervormingen uitbouwbruggen

Vergelijking Eurocode met huidige ontwerpeisen.



Afstudeervoordracht

F.G. Louman

31 mei 2005

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat

1

Faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen



Afstudeercommissie

- prof.dr.ir. J.C. Walraven - TU Delft, Betonconstructies (voorzitter)
- dr.ir. C. van der Veen - TU Delft, Betonconstructies (begeleider)
- dr. G.N. Wells - TU Delft, Constructiemechanica
- ir. A. de Boer - Bouwdienst Rijkswaterstaat, Bouwspeurwerk (begeleider)
- ir. L.J.M. Houben - TU Delft (afstudeercoördinator)

31 mei 2005

2



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Onderzoeksdoel

- Modelling tijdsafhankelijk materiaalgedrag t.b.v. een realistische simulatie van het vervormingsgedrag van een uitbouwbrug in hogesterktebeton.
(Voorheen: 28-daagse materiaaleigenschappen.)
(Invloed ontwikkeling ontwikkeling mat.eigenschappen in tijd.)
- Vergelijking analyseresultaten bij materiaaleigenschappen volgens verschillende ontwerpvoorschriften (huidige MC90 & nieuwe MdMC90 & EC2).
(Invloed keuze ontwerpvoorschrift op analyseresultaten.)
- Vergelijking van de analyseresultaten met daadwerkelijk gemeten vervormingen.
(Betrouwbaarheid EEM-model & vergelijking "prestaties" van de verschillende ontwerpvoorschriften.)

31 mei 2005

3

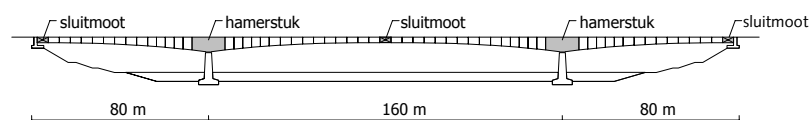


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Case: Tweede Stichtse brug (1997)

- Eerste uitbouwbrug in HSB in NL (+ monitoringprogramma)
- Tweecellige kokerligger over 3 velden, constructiehoogte:
 - 6,75 m (t.p.v. steunpunten)
 - 2,50 m (t.p.v. eindsteunpunten & midden)
- "Gereedschap": DIANA 9, DIANA 7.2 (Argonne non-lineaire kleinste kwadratenmethode voor ketenmodel), spreadsheet.



31 mei 2005

4



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



- hogere sterkte → slanker bouwen
- hogere stijfheid → geringere vervormingen
- grotere materiaaldichtheid → duurzamer, minder onderhoud
- lagere permeabiliteit → beter bestand tegen agressieve stoffen
- hogere vroege sterkte → hogere bouwsnelheid
- grotere overspanningen mogelijk → veiliger
- lager eigen gewicht → lichtere fundering
- lagere constructiehoogte → verlaging grondverzet & ruimtebeslag
- lage WCF → geringere uitdrogingskrimp, kruip & voorspanverliezen
- voor verschillende toepassingen economisch interessant
- (kantoren → groter netto verhuurbaar oppervlak)

5



E



Uitbouwproces

- Plaatsen pijlers
- Plaatsen hamerstuk (links)
- Plaatsen landhoofd (links)
- Uitbouwen moten
- Plaatsen sluitmoot landhoofd (links)
- Plaatsen hamerstuk (rechts)
- Plaatsen landhoofd (rechts)
- Uitbouwen moten
- Plaatsen sluitmoot landhoofd (rechts)
- Plaatsen sluitmoot midden



31 mei 2005

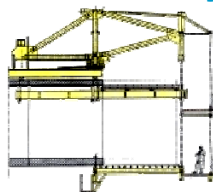
7



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

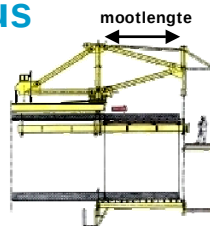
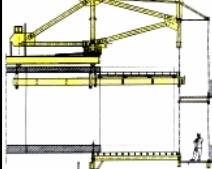


Uitbouwcyclus

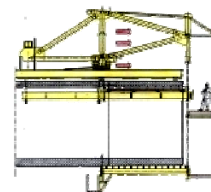


Stellen bekisting
Vlechten wapeningsstaal
& stellen
voerspankanalen

Storten beton



Voorspannen en
ontkisten
Verlengen rails
uitbouwwagen



Verrijden uitbouwwagen

31 mei 2005

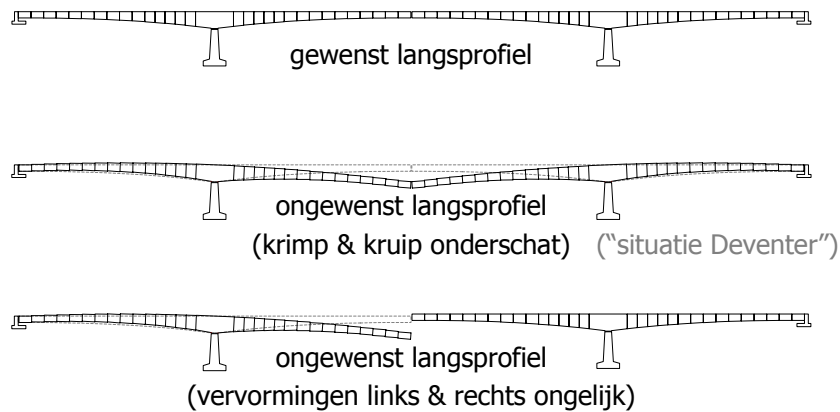
8



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Gewenst langsprofiel



31 mei 2005

9



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Invloed kruip & krimp

- Doorgaande vervorming
 - tijdens het bouwproces
 - ongelijke vervorming kraagarmen door tijdverschil gereedkomen
 - zakking blijft doorgaan in de tijd (bijvoorbeeld midden hoofdoverspanning)
- Systeemverandering (statisch bepaald → statisch onbepaald), herverdeling van krachten (a.g.v. doorgaande vervorming)

31 mei 2005

10



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Systeemverandering

- Tot het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch bepaalde uitkragende kokerligger"
(Afhankelijk van (hulp)steunpunten.)
- Op het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch onbepaalde doorgaande ligger"
- In de loop van de tijd
"statisch onbepaalde doorgaande ligger" → herverdeling



31 mei 2005

11



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Systeemverandering

- Tot het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch bepaalde uitkragende kokerligger"
- Op het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch onbepaalde doorgaande ligger"
- In de loop van de tijd
"statisch onbepaalde doorgaande ligger" → herverdeling



31 mei 2005

12

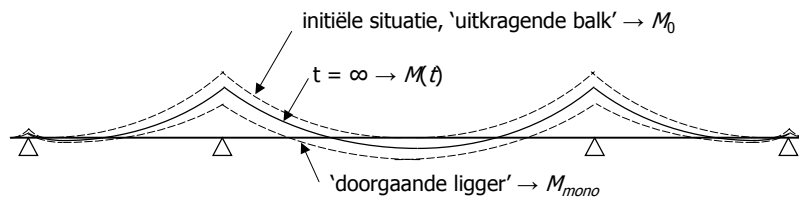


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Systeemverandering

- Tot het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch bepaalde uitkragende kokerligger"
- Op het moment van plaatsen sluitmoot
"statisch onbepaalde doorgaande ligger"
- In de loop van de tijd
"statisch onbepaalde doorgaande ligger" → herverdeling



31 mei 2005

13



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Tijdsafhankelijk materiaalgedrag

- krimp (spanningsonafhankelijk)
- kruip (spanningsafhankelijk); verandering momentenverdeling → verandering spanningsverdeling
- temperatuurseffecten
 - constante temperatuur 10°C aangehouden
 - temp.variatie (tijd & doorsnede) niet meegenomen (zie: afstudeerwerk C. van der Vliet)

31 mei 2005

14



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Krimp

- plastische krimp (relatief eenvoudig te voorkomen)
- verhardingskrimp
 - chemische krimp (geen invloed op uitw. afmetingen)
 - autogene krimp
- uitdrogingskrimp
- carbonatatiekrimp (effecten beperkt tot buitenste zone)
- thermische krimp (beheersing temperatuurverloop hydratatiereactie, temperatuurvariatie buiten beschouwing)

31 mei 2005

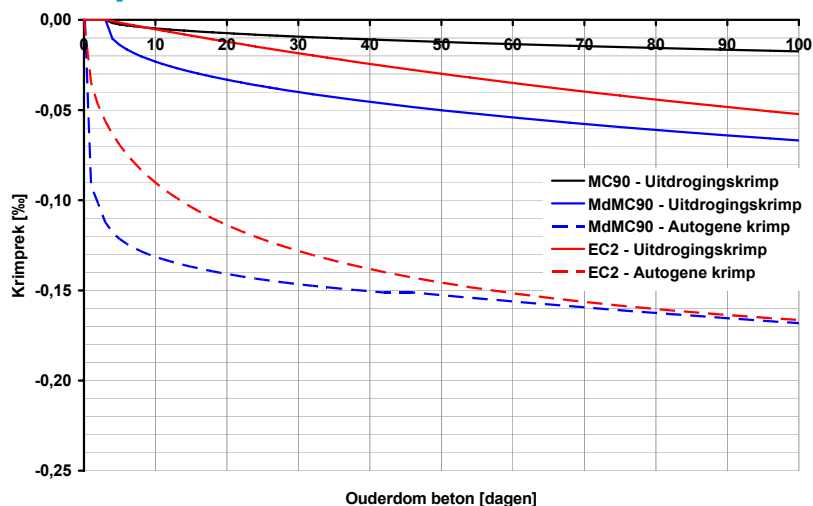
15



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Krimpfuncties (korte tijdsduur, 100 dagen)



31 mei 2005

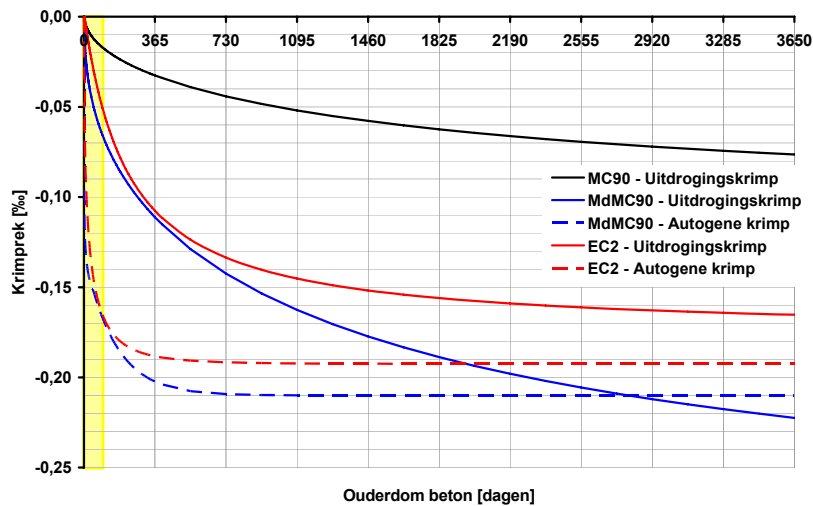
16



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Krimpfuncties (lange tijdsduur, 10 jaar)



31 mei 2005

17



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Krimp in DIANA

Beschrijving krimpgedrag in DIANA

- directe invoer via parameters ontwerpvoorschriften
 - CEB-FIB Model Code 1990
 - ACI Code 209
 - NEN 6720

- **discrete krimpfunctie**

31 mei 2005

18

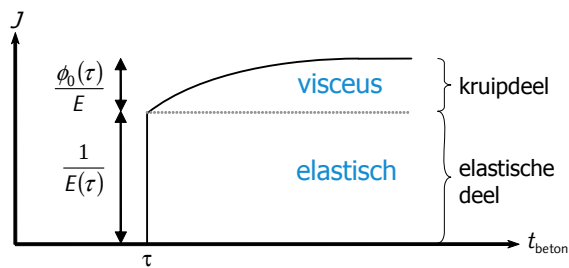


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Kruip / visco-elasticiteit beton

Kruip: toename van de vervorming in de tijd onder constante belasting.



Lineaire kruip: $\sigma < 0,4 f_c$; (lineaire σ - ϵ_σ -lijnen in gebruiksgedebied)

31 mei 2005

19

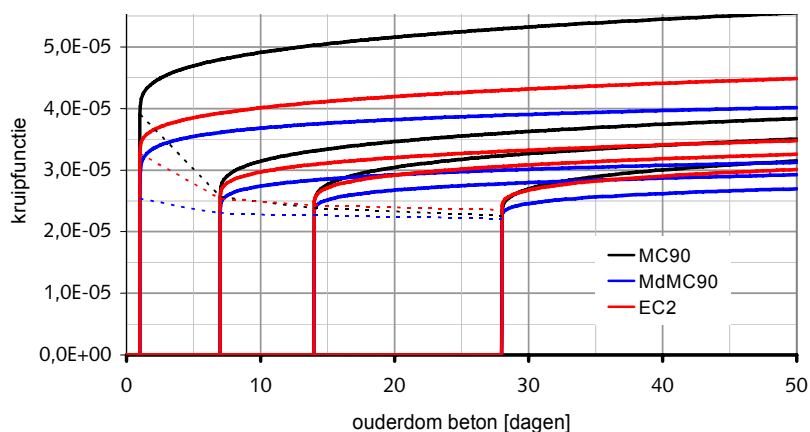


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Tijdsafhankelijke kruipfuncties

Kruipfunctie: vervorming bij eenheidsbelasting (1,0 N/mm²)



31 mei 2005

20



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Kruip in DIANA

Beschrijving kruip-/visco-elastisch gedrag in DIANA

- directe invoer via parameters ontwerpvoorschriften
 - CEB-FIB Model Code 1990
 - ACI Code 209
 - NEN 6720
- discrete kruipfunctie
- Double Power Law
- rheologisch model
 - Maxwell-ketenmodel
 - **Kelvin-ketenmodel**

31 mei 2005

21

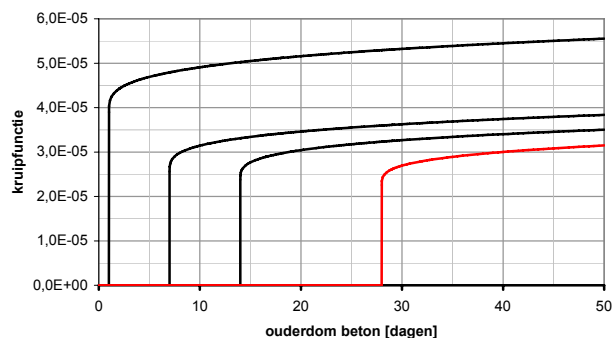
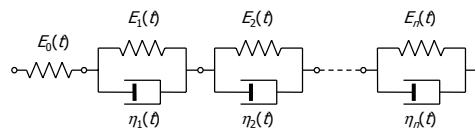


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rheologisch Kelvin-ketenmodel

Benaderen van het visco-elastische gedrag in de tijd met beperkt aantal parameters (E_n & η_n).



31 mei 2005

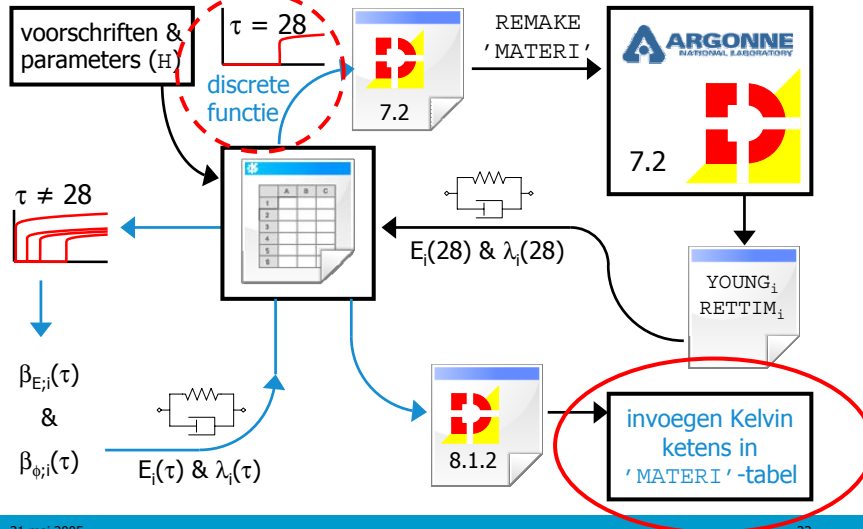
22



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Opstellen Kelvin-ketenmodel



31 mei 2005

23

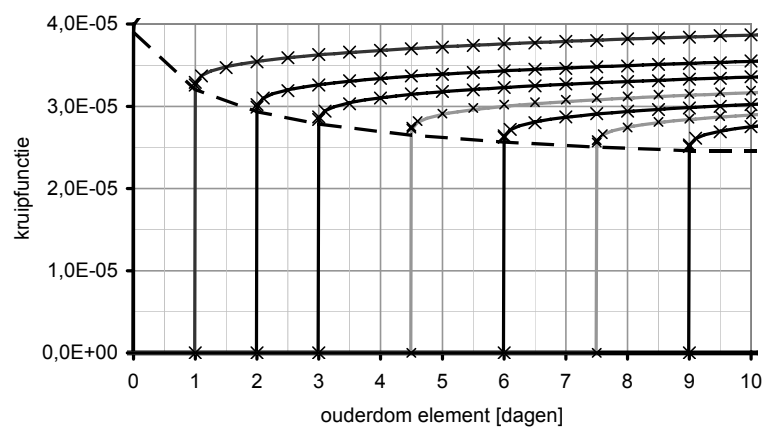


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Kelvin-ketenmodel in DIANA

CEB-FIP Model Code 1990, MC90



31 mei 2005

24

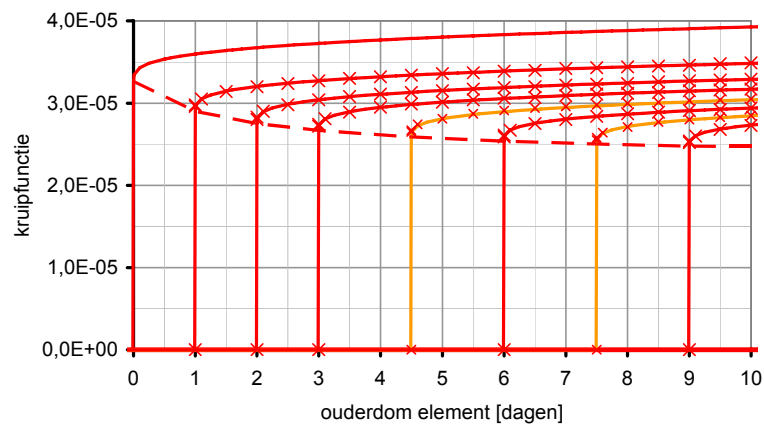


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Kelvin-ketenmodel in DIANA

EuroCode 2, EC2



31 mei 2005

25

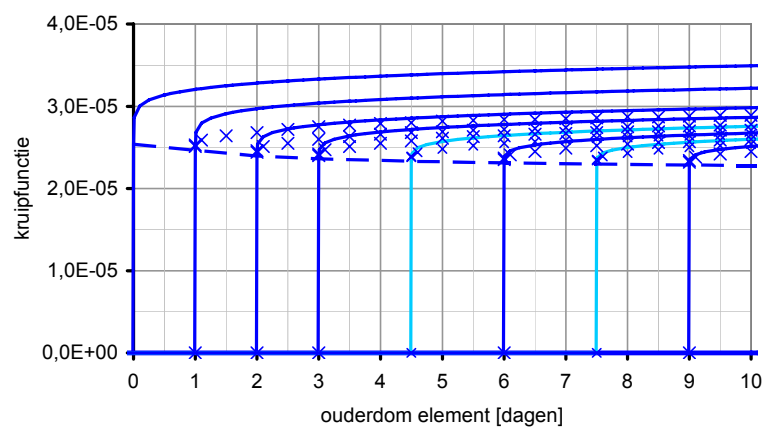


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Kelvin-ketenmodel in DIANA

Gemodificeerde Model Code 1990 (Han), MdMC90



31 mei 2005

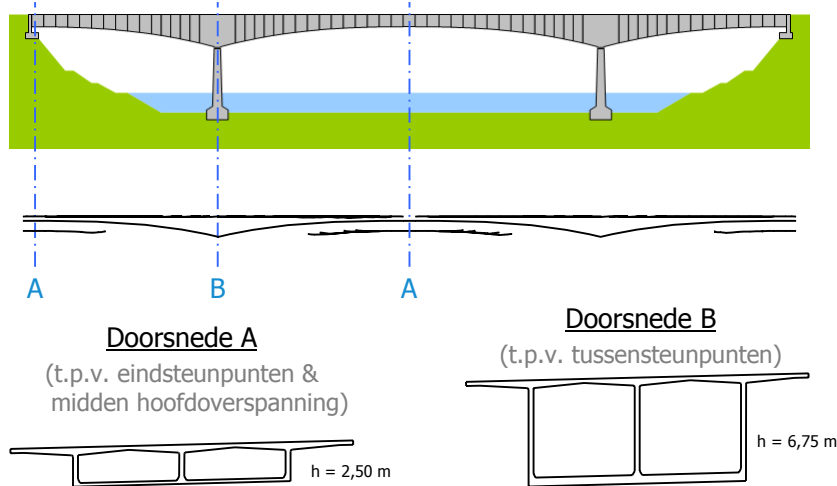
26



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Brugmodel



31 mei 2005

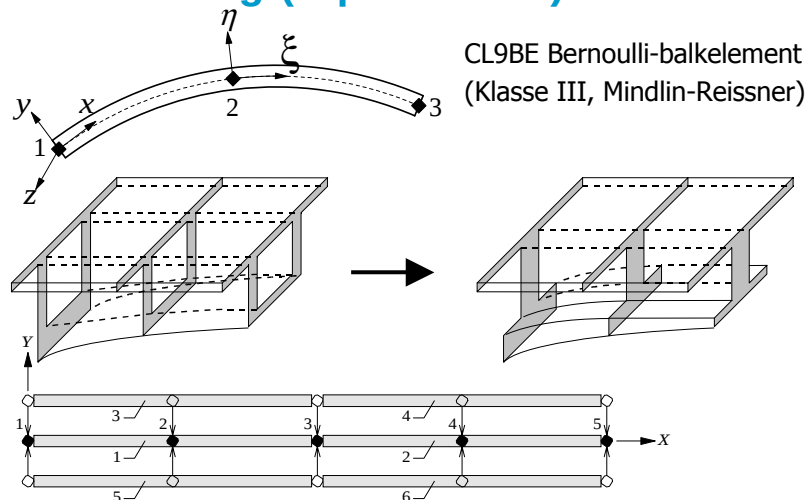
29



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Modellering (equivalente) doorsnede



31 mei 2005

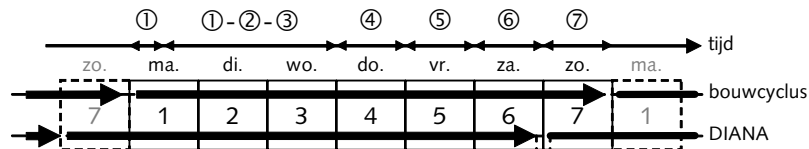
30



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Fasering bouwfases werkelijkheid ↔ DIANA-model



- ① : verrijden uitbouwwagens
- ①②③ : stellen bekisting & vlechten wapeningsstaal
- ④ : storten linkermoot & stortklaar maken rechtermoot
- ⑤ : storten rechtermoot
- ⑥ : voorspannen & ontkisten linkermoot, voorspannen & ontkisten rechtermoot
- ⑦ : verder verharderen

31 mei 2005

31



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Beschouwde analyses

- ongefaseerd
 - MC90 (met en zonder krimp)
 - MdMC90 (met en zonder krimp)
 - EC2 (met en zonder krimp)
- volledig gefaseerd
 - materiaaleigenschappen behorend bij 28-daagse ouderdom ("gebruikelijke wijze")
 - MC90 (met en zonder krimp)
 - MdMC90 (met en zonder krimp)
 - EC2 (met en zonder krimp)
 - ouderdomsafhankelijke materiaaleigenschappen ("realistische simulatie")
 - MC90 (met en zonder krimp)
 - MdMC90 (met en zonder krimp)
 - EC2 (met en zonder krimp)

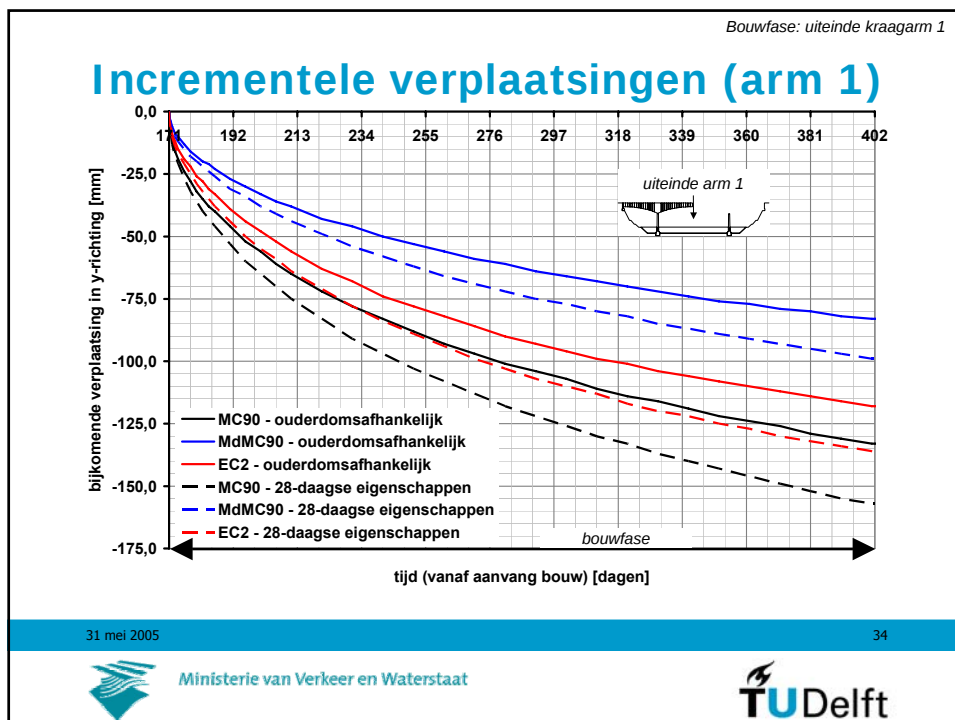
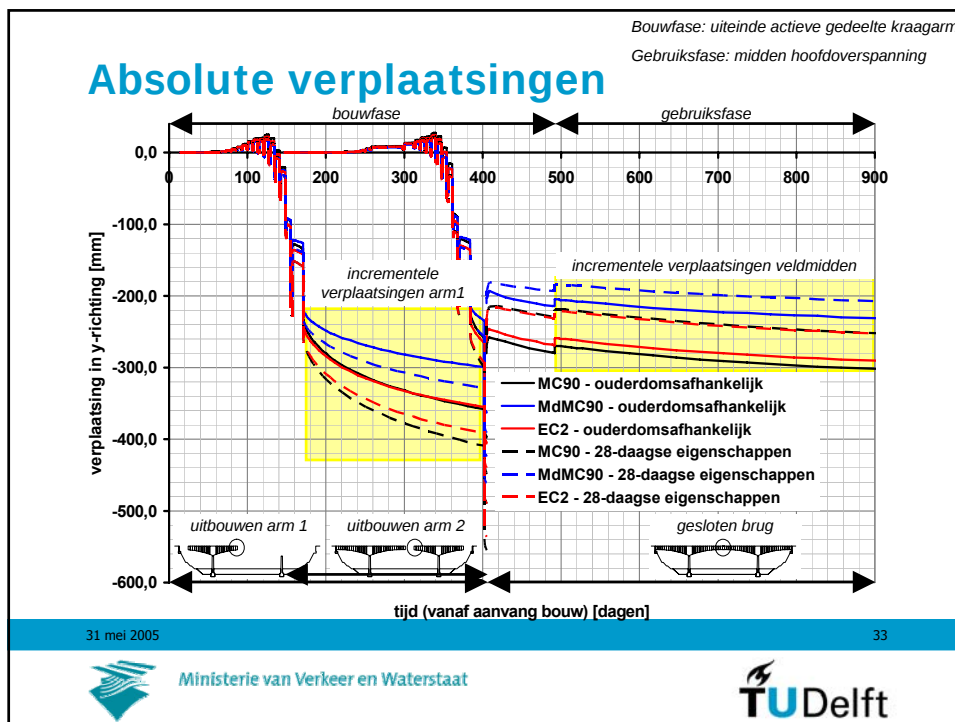
31 mei 2005

32

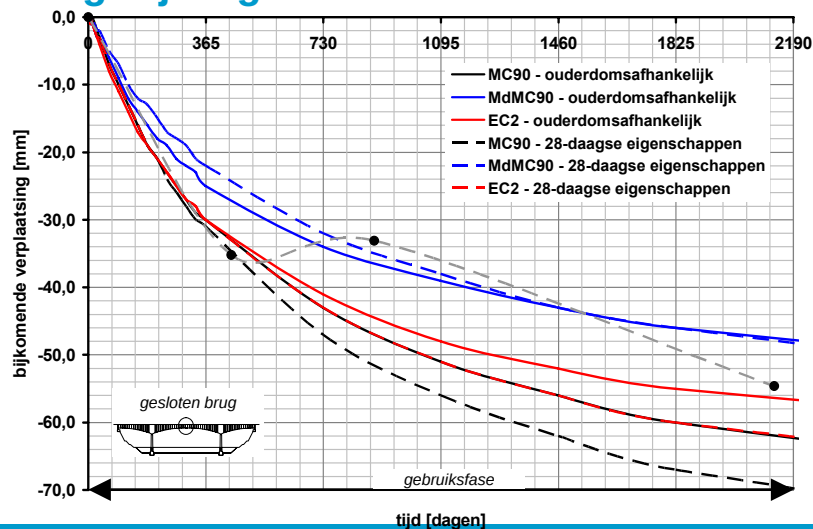


Ministerie van Verkeer en Waterstaat





Vergelijking met meetresultaten



31 mei 2005

35



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Conclusies

- **Tijdsafhankelijke materiaaleigenschappen.**
Significante verschillen ouderdomsafhankelijk materiaalgedrag t.o.v. 28-daags materiaalgedrag; grootste verschillen in bouwphase. (Tot zo'n 16% of 66 mm.)
- **Verschillend materiaalgedrag ontwerpvoorschriften.**
MC90 → grootste vervormingen ("minst stijf")
MdMC90 → kleinste vervormingen ("stijfst")
EC2 → "middenweg tussen MC90 en MdMC90"
- **Resultaten verschillende analyses.**
 - Bouwphase: verschillen in tijdsafh. vervormingen het grootst, "realistische simulatie" presteert het best. (& kleinere spreiding)
 - Gebruiksfase: tijdsafh. verv. ontlopen elkaar niet veel

31 mei 2005

36



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Aanbevelingen

- Betrekken ontwikkeling materiaaleigenschappen in de tijd (in analyses waarbij het tijdsafhankelijke vervormingsgedrag op realistische wijze gesimuleerd dient te worden; vooral tijdens bouwproces).
- Werkelijke (ontwikkeling) elasticiteitsmodulus i.p.v. in ontwerpvoorschrift uit f_{cm} volgende waarden (bestaande metingen van de elasticiteitsmodulus gebruiken om uit ontwerpvoorschriften berekende elasticiteitsmodulus te verifiëren)

31 mei 2005

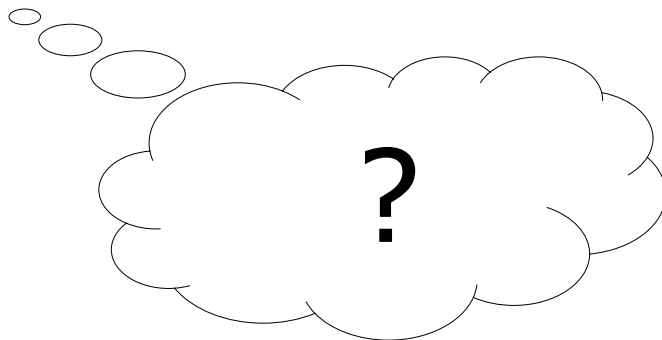
37



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Vragen



31 mei 2005

38



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

