Definitief
Versie 2.10
213 april 2010

Gemeente Amsterdam
**Ingenieursbureau**

Constructies grote projecten

# Betonberekening
# Johan Huizingalaan

**Controleberekening betonnen dek en fundering**

**Auteur**
[redacted]

**Opdrachtgever**
DIVV

**Projectnummer**
25142

| Documentnummer: - | | | |
|---|---|---|---|
| autorisatie | naam | paraaf | datum |
| opstelling | [redacted] | | |
| controle | [redacted] | | |
| vrijgave | [redacted] | | |

Definitief
Versie 2.~~01~~
~~13~~ 23 april 2010

Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau

Betonberekening Johan Huizingalaan - Controleberekening betonnen dek en fundering

Inhoudsopgave


**1 Inleiding ..... 2**

**2 Uitgangspunten ..... 4**

2.1. Normen en richtlijnen ..... 4

2.2. Documenten ..... 4

2.3. Tekeningen ..... 4

2.4. Software ..... 4

2.5. Beton en staalkwaliteit ..... 4

2.6. Belastingen ..... 4

**3 Dekberekeningcontrole op basis van normen voor nieuwe kunstwerken ..... 6**

3.1. Archief onderzoek ..... 6

3.2. Stap 1: Modelvereenvoudiging ..... 6

3.3. Stap 2: Eigen gewicht dek + rustende belasting + variable belasting invoeren .9

3.4. Stap 3: Toetsen dekconstructie ..... 9

**4 Dekberekeningcontrole op basis van normen voor bestaande kunstwerken ..... 20**

4.1. Toepassing NPR richtlijnen in combinatie met NEN 8700: ..... 20

4.2. Variant 1: Rijbaanindeling 2x2 rijstroken - Referentielevensduur: 15 jaar: ..... 23

4.3. Variant 2: Rijbaanindeling 2x1 rijstrook - Referentielevensduur:100 jaar: ..... 24

4.4. Variant 2.2: Rijbaanindeling 2x1 rijstrook - Referentielevensduur:100 jaar met koolstofwapening aanbrengen eindvelden: ..... 27

**5 Fundering: tussenpijlers en landhoofden: ..... 29**

5.1. Tussenpijlers: ..... 29

5.2. Landhoofden: ..... 29

**6 Conclusie en aanbevelingen: ..... 30**


**Bijlagen**

| | |
|---|---|
| A | Tekeningen constructies bestaand |
| B1 | Originele berekening inclusief opmerkingen |
| B2 | Betononderzoek |
| C1 | Belastingen bepalen |
| C2 | ESA-Engineer Dekberekening: constructie en belastinggevallen (deels) |
| C3 | ESA-Engineer Dekberekening: combinaties en resultante krachten |
| D | Toetsingen bestaande dekconstructie |
| E | Prikberekening tussenpijlers en landhoofden |

# 1 Inleiding

Eind 2008 waren de plannen voor het aanpassen van de constructie van het viaduct 705, in de Cornelis Lelylaan over de Johan Huizingalaan, vrijwel uitvoeringsgereed. De genoemde aanpassing bestaat uit het voornemen de tramhalte Johan Huizingalaan op het viaduct in de Cornelis Lelylaan te situeren. De toegang tot de tramhalte zal daarbij op het maaiveld op de Johan Huizingalaan komen te liggen. Daarom is op 4 plaatsen het maken van een opening in het brugdek voorzien. Op initiatief van de welstandcommissie van het stadsdeel is het bestaande technisch ontwerp door van Heeswijk architecten ingrijpend veranderd.

Bij het Ingenieursbureau Amsterdam (IBA) ontstond daarop het vermoeden dat de voorgestelde ingreep constructietechnisch riskant zou zijn. Daarop is door Grontmij een eerste verkennend onderzoek gedaan, waarin het hiervoor genoemde vermoeden bevestigd werd. De ingreep zoals voorgestaan door van Heeswijk Architecten is niet veilig zonder aanvullende maatregelen. Bovendien riep de studie van Grontmij vragen op over de veiligheid van het bestaande viaduct 705.

Dit rapport behandelt de veiligheidsvraag van het bestaande viaduct 705. De gestelde vraag valt in 2 delen uiteen:

1. Is het veilig en verantwoord het bestaande gebruik van het verkeer over viaduct 705 te handhaven, en
2. welke aanvullende maatregelen dienen getroffen te worden voor een veilig gebruik als het antwoord op het eerste vraag ontkennend is.

Bij aanvang van deze studie is gewerkt volgens de nieuwe voorschriften, de *NEN 6706*. Al snel bleek aanpassing van de bestaande situatie aan deze nieuwe voorschriften niet redelijk te zijn; een stadsautoweg is géén autosnelweg. In de loop van de tijd kwam ook de lopende discussie over de te hanteren normen bij de veiligheid van bestaande kunstwerken in beeld. Hoewel nog niet vastgelegd in wetgeving, is er wel consensus over het rekenen aan bestaande kunstwerken, waarbij anders gerekend wordt dan bij nieuwe kunstwerken; *de NPR bestaande kunstwerken*. Uiteindelijk is viaduct 705 volgens beide normen doorgerekend.
Bij het beschouwen van het viaduct heeft de nadruk op het brugdek gelegen; de landhoofden en de pijlers zijn globaal gecontroleerd, vanuit de veronderstelde beperkte invloed van de nieuwe normen en hoge veiligheid vanuit het ontwerp op deze onderdelen bleken de landhoofden en pijlers te voldoen (zie conclusies).

Daarnaast is viaduct 705 voor de volledigheid ook doorgerekend met de normen die de afgelopen periode (vóór NEN 6706) van kracht was de *VBB voor klasse 45*. Ook is gerekend aan het bereiken van een veilige situatie van het bestaande viaduct, door middel van aslast beperking. Tot slot is gekeken naar de maximaal toelaatbare *aslast* van een *bijzonder voertuig*.

Het bepalen van de veiligheid van een bestaand kunstwerk is geen routine. De oplossing van het vraagstuk staat nog volop ter discussie.

Uiteindelijk is gebleken dat veilig gebruik van viaduct 705 niet zonder aanvullende maatregelen mogelijk is.
Het resultaat is daarmee een belangrijke bijdrage aan de veiligheid van de weggebruikers en daarmee de getrooste inspanningen meer dan waard.

# 2 Uitgangspunten

## 2.1. Normen en richtlijnen

Voor de berekening van het viaduct zijn de volgende normen gehanteerd:

- NEN 6702 Belastingen en vervormingen 1991
- NEN 6706 Verkeersbelastingen op bruggen
- NEN 6720 Voorschriften beton TGB 1995
- NEN 6723 Voorschrift betonnen bruggen 1995
- RBBK Richtlijn Beoordelen Bestaande Kunstwerken
- NEN 8700 Grondslagen beoordelen bestaande kunstwerken
- NPR Nederlandse Praktijk Richtlijn beoordelen bestaande kunstwerken

## 2.2. Documenten

Voor het maken van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Betononderzoek van Nebest 27-10-2009
- Originele handmatige berekeningen van het viaduct (vermoedelijk 1957)

## 2.3. Tekeningen

Voor het maken van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende tekeningen:

- Oude wapeningstekeningen dek viaduct (1958)

## 2.4. Software

Voor het maken van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende software:

- ESA Engineer 2008: raamwerkprogramma controle betondimensies
- Excel

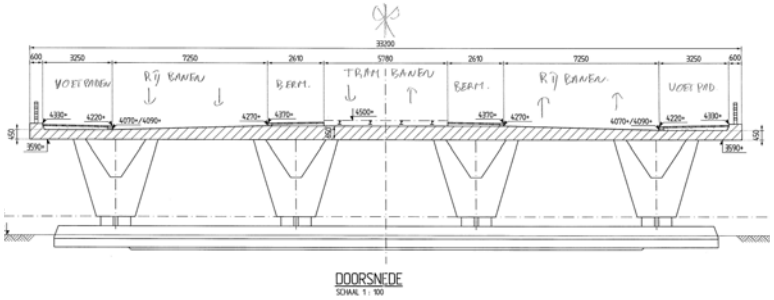
## 2.5. Beton en staalkwaliteit

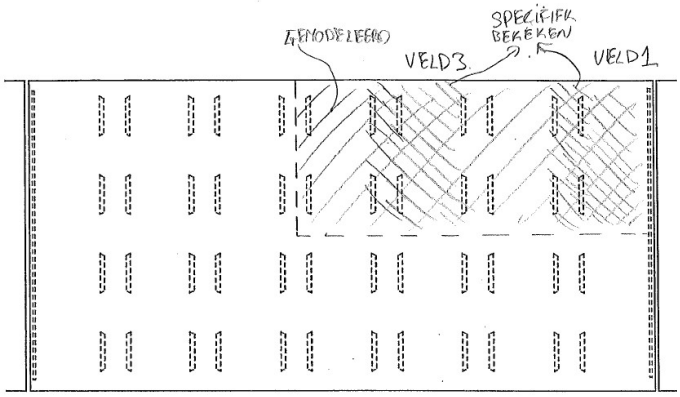
- Betonkwaliteit: bestaande betonnen dek blijkt uit betononderzoek C45/55
- Staalkwaliteit: wapening QR 24 (maximale spanning 240 N/mm2).

## 2.6. Belastingen

De belastinggevallen en combinaties zijn bepaald aan de hand van de NEN 6706 en de door IBA en DIVV in overleg vastgestelde uitgangspunten:

- Het viaduct moet doorgerekend worden met de nieuwe belastingennorm NEN 6706 met een reductiefactor 0,85 (2000 zware voertuigen per rijstrook per jaar).
- De huidige rijbaanindeling hoeft alleen doorgerekend te worden dus het viaduct hoeft niet volledig ingedeeld te worden met rijstroken. Dit betekend 2 rijstroken per rijrichting op de huidige plaats
- de tramlasten (normale tram (75 kN lasten) en de combino (90 kN lasten, maatgevend))
- 220 tons autokraan Mammoet en de ADBAN 96.
- In afwijking op de eisen uit NEN 6706 is er niet gerekend met een vrije indeling van het viaduct.
  Het huidige viaduct is niet geschikt voor vrije indelingen. Iedere keer dat er een nieuwe indeling gemaakt wordt op dit viaduct moet er opnieuw getoetst worden of dit mogelijk is. Deze berekening toetst de huidige aanwezige constructie. Tevens is er gekeken naar het reduceren van het aantal rijstroken.



# 3 Dekberekeningcontrole op basis van normen voor nieuwe kunstwerken

## 3.1. Archief onderzoek

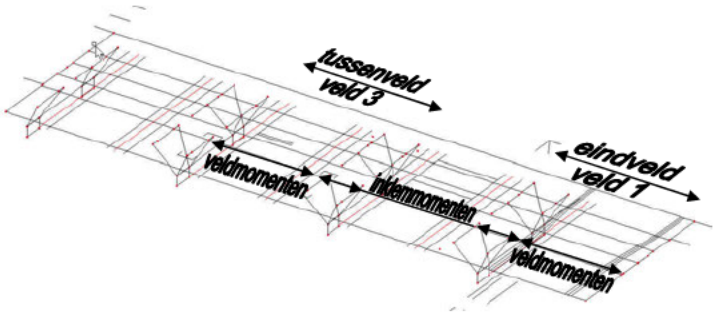
Aanleiding van het archiefonderzoek is dat op tekening staat aangegeven "verdeelwapening" in de dwarsrichting van de overspanningen, ook ter plaatse van de tussenpijlers. Bij het handmatig schematiseren lijkt het logisch om hier voor een duidelijke belastingafdracht te gaan. Het zou opmerkelijk zijn als dit deel van de constructie niet of onvolledig geschematiseerd zou zijn.

Voor het archiefonderzoek is er gezocht of er berekeningen te vinden waren bij DIVV, IBA, Waternet en het CTA (Centraal Tekeningen Archief (Amsterdam)).
Op de laatste plek zijn de berekeningen en meer wapeningstekeningen gevonden (film 72).
De berekening die terug te vinden is behelst slechts 80 pagina's terwijl dit rapport een veelvoud daarvan is/zou kunnen zijn. Mogelijk zijn niet alle berekeningen bewaard gebleven.
Gelukkig zijn de schematisaties rondom de tussenpijler wel beschikbaar.
Het is duidelijk dat er enerzijds met een enveloppe methode is gewerkt, maar vervolgens niets specifieks is gedaan met de belasting tussen de tussenpijlers (zie bijlage B, 2e blz. 26)

Ook interessant om te zien is de betonkwaliteit die gehanteerd was in de berekening. Deze K250 is gelijkwaardig aan een huidige ca B16,5 (Ca. C13/16,5)

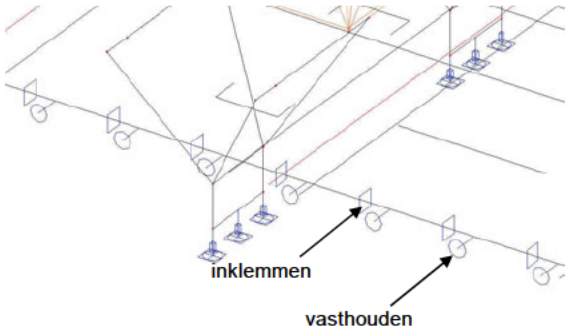
## 3.2. Stap 1: Modelvereenvoudiging

Het volledige dek modeleren in de computer geeft zeer lange rekentijd per handeling en het levert niet meer duidelijkheid op.
Er is gekozen om het model te verkleinen tot een kwart van het viaduct. Het viaduct is twee keer spiegelsymmetrisch, waardoor alle kwarten gelijk zijn.




De belastingen zijn alleen gegenereerd in veld 1 en veld 3.

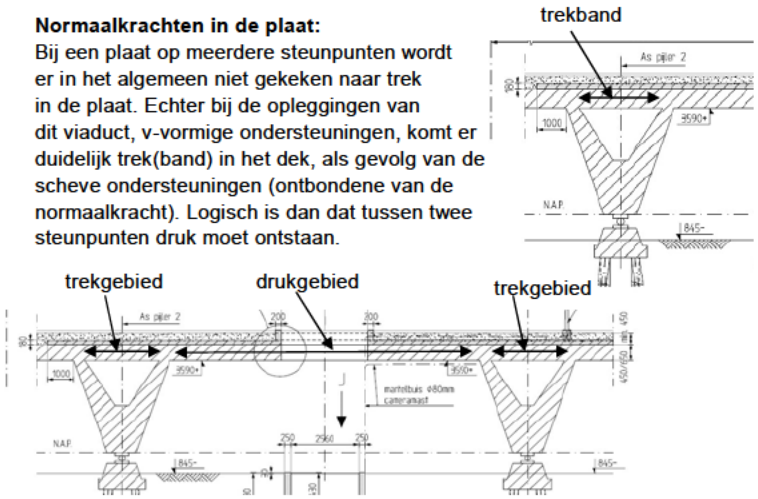
De randen van het model kunnen vertikaal vrij vervormen, horizontaal worden de randen alleen vastgehouden in de richting van de plaat en de randen zijn ingeklemd in de lengte van de rand (rib) (symmetrievoorwaarde).




Omdat de wapening in het dek in de dwars- en de langsrichting sterk verschillend is en daardoor de sterkte van het dek niet in beide richtingen gelijk is, is het dek niet isotroop (stijfheid gelijk in beide richtingen) maar orthotroop (gescheurde stijfheid ongelijk in hoofd- en dwarsrichting) ingevoerd.
Lastig bijkomend probleem is dat bij het invoeren van orthotropie de dikte over een dat deel van de constructie niet verlopend kan worden ingevoerd. Hierdoor is het scheve deel van het dek (van 650 naar 450 mm) in sprongen van 50 mm getrapt ingevoerd, steeds met invoering van een nieuwe orthotropie per plaatdeel.

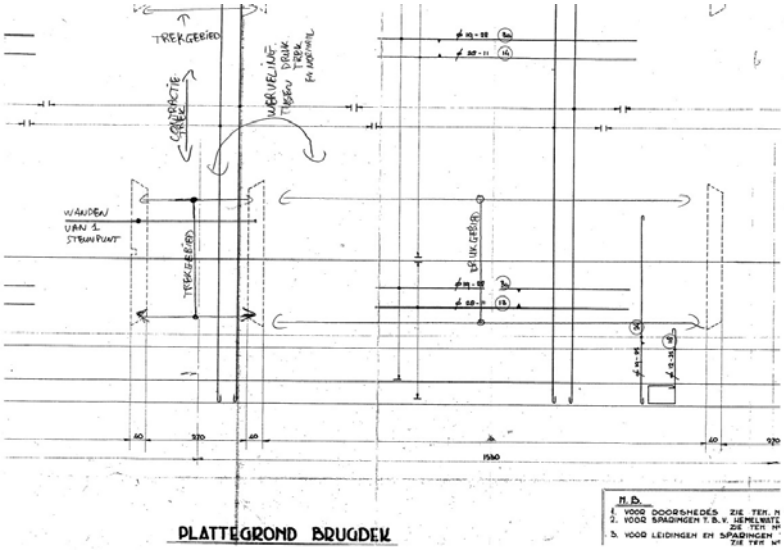
Om de computer nog minder te belasten is 1 rekenmodel gebruikt, maar zijn er meerdere rapporten gegenereerd voor hetzelfde model. Hierdoor is het genereren van 1 rapport minder tijdrovend. Bijlage C is dus 1 model met meerdere rapporten.

**Normaalkrachten in de plaat:**
Bij een plaat op meerdere steunpunten wordt er in het algemeen niet gekeken naar trek in de plaat. Echter bij de opleggingen van dit viaduct, v-vormige ondersteuningen, komt er duidelijk trek(band) in het dek, als gevolg van de scheve ondersteuningen (ontbondene van de normaalkracht). Logisch is dan dat tussen twee steunpunten druk moet ontstaan.



In het bovenaanzicht zal er tussen de tussenpijlers gebieden een werveling van trek- en drukkrachten ontstaan.

Trek in langsrichting veroorzaakt door dwarscontractie ook trek in de dwarsrichting.




Toch is het de vraag of dit echt allemaal zo optreed omdat de stijfheden van gedrukt beton veel groter is dan de stijfheid van getrokken gescheurd beton. Mogelijk ontstaat er dus niet zo zeer een trekband tussen de oplegwanden, maar eerder een druk tussen de opleggingen.

De toetsingen van het dek zijn uitgevoerd zonder trek- of drukkrachten.

### 3.3. Stap 2: Eigen gewicht dek + rustende belasting + variable belasting invoeren

In veld 1 en veld 3 zijn de belastingen gegenereerd. Er is gewerkt met lastgroepen, zodat het aantal combinaties beperkt is en de computer zelf per positie bepaalt welke combinatie maatgevend is voor een lastgroep.

Zo zijn alle combinotramlasten hart op hart een halve meter over veld 1 en veld 3 “gereden” en vervolgens zijn al deze lasten in de lastgroep Combino gezet, en de belastingen vanuit de vrachtwagens zijn in lastgroep rijb 1 en rijb 2 gezet.
Ter plaatse van de tussensteunpunten was het erg lastig om de belasting alleen op het dek te laten aangrijpen en niet ook op de platen eronder. Bij de rijbaan 1 belastingen is dit gecorrigeerd, bij rijbaan 2 en de combinotram is dit niet gecorrigeerd, omdat de laststelsels maar een heel klein puntje meepakken van de ondersteuningen. Hierdoor is het gevolg van deze fout heel beperkt.

1 x wordt rijbaan 1 maximaal belast en 1 x wordt rijbaan 2 maximaal belast. Dit is steeds gelijk met de trambaan momentaan belast is. Vervolgens is ook de trambelasting maximaal belast met rijbaan 2 momentaal maximaal belast.

### 3.4. Stap 3: Toetsen dekconstructie

De constructie is als volgt getoetst:
Uit de resultante omhullende plaatjes worden de krachten bepaald.
Dit wordt globaal gedaan. De lijnen worden geïnterpreteerd en aangegeven welke maximale belasting per dikte van de constructie aanwezig is (bijlage C3).
Door dit te schatten worden pieken in de waarde  afgevlakt, omdat er naar een gebiedje wordt gekeken en niet naar 1 klein element (ca. 0,5 x 0,5 meter).

Eerst wordt de langswapening getoetst of de capaciteit groter is dan de belasting. Deze moeten voldoende zijn omdat dit de hoofddraagrichting is.
Vervolgens de momentwapening in de dwarsrichting. Natuurlijk is het hier ook wenselijk dat de capaciteit groter is dan de belasting, echter bij wat verminderde capaciteit zal er dan wat meer belasting komen in de werkelijkheid dan berekend op de hoofddraagkrachtrichting.
Echter tussen de pijlers is de moment wapening in dwarsrichting van het viaduct juist ook de hoofdwapening.

Voor de dwarskracht is in eerste instantie getoetst met $q_{max}$, omdat dit een combinatie dwarskrachten is ($q_x$ en $q_y$). Echter er mag ook gekeken worden naar enkel $q_x$ of $q_y$.
Bij de landhoofden werd er gevreesd voor onvoldoende dwarskracht capaciteit echter dit valt bijzonder mee als gevolg van de hogere betonkwaliteit die bepaald is in het aanvullende betononderzoek van Nebest.

De verwachting was dat tussen de tussensteunpunten onvoldoende wapening lag, echter de plaatwerking blijkt hiervoor gunstiger te werken dan de handmatige

schematisatie. De modellering/toegepaste wapening van weleer blijkt hier voldoende te zijn.
Echter als gevolg van de plaatwerking is rondom de wiellasten in het veld onvoldoende dwarsmomentcapaciteit aangebracht. (toegepast FeB 220 rond 19-250, equivalent huidige wapening ca. FeB 500 12-250)

In de hiernavolgende “tabellen” worden de verschillende punten getoetst. Als in de kolom “Conclusie” staat dat het onvoldoende is dan staat er ook een opmerking en het percentage overschreiding achter.

## NEN 6706 met 2 x 2 rijstroken

Toetsing belastingen

| LANGS MOMENTEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Veld 1 | Veldmoment | | mxD- | | | |
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 430 | ONVoldoende | Acceptabel | 0% |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 530 | ONVoldoende | Ruim ca 40 kNm | 9% |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 600 | ONVoldoende | Ruim ca 50 kNm | 10% |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 670 | ONVoldoende | Ruim ca 60 kNm | 11% |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 680 | ONVoldoende | Acceptabel | 3% |

| Veld 3 | Veldmoment | | mxD- | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking |
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 320 | Voldoende | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 410 | Voldoende | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 470 | Voldoende | |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 500 | Voldoende | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 500 | Voldoende | |

| Veld 1 | Inklemmoment | | mxD+ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking |
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 320 | Voldoende | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 320 | Voldoende | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 300 | Voldoende | |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 350 | Voldoende | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 400 | Voldoende | |

| Veld 3 | Inklemmoment | | mxD+ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking |
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 300 | Voldoende | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 360 | Voldoende | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 300 | Voldoende | |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 270 | Voldoende | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 480 | Voldoende | |

## 40 tons belasting

### LANGSMOMENTEN

| Veld 1 | Veldmoment | | mxD- | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 380 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 460 | Voldoende | | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 595 | Onvoldoende | ca 30 kNm | 7% |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 665 | Onvoldoende | ca 50 kNm | 10% |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 690 | Onvoldoende | Acceptabel | 4% |

### DWARSMOMENTEN

| Veld 1 | Veldmoment | | myD- | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
| 550 mm | rond 19-2 | 115 | 180 | Onvoldoende | | 57% |
| 550 mm | rond 19-1 | 169 | 120 | Voldoende | | |

| Veld 3 | Veldmoment | | myD- | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dikte constructie | Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
| 550 mm | rond 19-2 | 115 | 160 | Onvoldoende | | 39% |
| 550 mm | rond 19-1 | 169 | 130 | Voldoende | | |

Toetsing belastingen

**DWARS MOMENTEN**

| **Veld 1** | **Veldmoment** | | **myD-** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dikte constructie** | **Aanwezige wap** | **Capaciteit in kNm** | **Optredend moment** | **Conclusie:** | **Opmerking** | % over-schreiding |
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 180 | ONVoldoende | Ruim 60 kNm | 57% |
| 550 mm tussen | rond 19-170 | 169 | 120 | Voldoende | | |

| **Veld 3** | **Veldmoment** | | **myD-** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dikte constructie** | **Aanwezige wap** | **Capaciteit in kNm** | **Optredend moment** | **Conclusie:** | **Opmerking** | % over-schreiding |
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 165 | ONVoldoende | Ca. 50 kNm | 43% |
| 550 mm tussen | rond 19-170 | 169 | 120 | Voldoende | | |

**DWARS MOMENTEN**

| **Veld 1** | **Inklemmoment** | | **myD+** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dikte constructie** | **Aanwezige wap** | **Capaciteit in kNm** | **Optredend moment** | **Conclusie:** | **Opmerking** |
| 550 mm tussen | rond 19-250 | 115 | 100 | Voldoende | |

| **Veld 3** | **Inklemmoment** | | **myD+** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dikte constructie** | **Aanwezige wap** | **Capaciteit in kNm** | **Optredend moment** | **Conclusie:** | **Opmerking** |
| 550 mm tussen | rond 19-250 | 115 | 90 | Voldoende | |

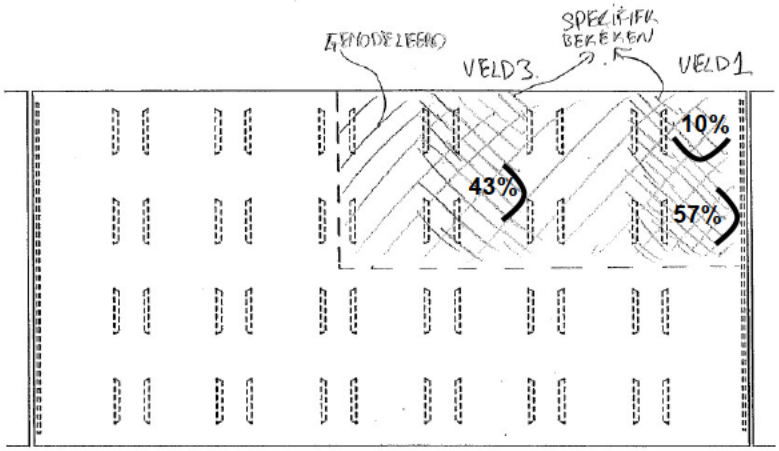
## Klasse 45 (VBB)

### LANGSMOMENTEN

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | mxD-Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | %overschrijding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 380 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 465 | Voldoende | | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 550 | Onvoldoende | Acceptabel | 1% |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 590 | Voldoende | | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 630 | Voldoende | | |

### DWARSMOMENTEN

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD-Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | %overschrijding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 170 | Onvoldoende | ca 55 kNm | 48% |
| 550 mm tuss | rond 19-170 | 169 | 120 | Voldoende | | |



Toetsing belastingen

**DWARSKRACHT**

| Veld 1 Dikte constructie | Bij landhoofd Aanwezige wap | Capaciteit in kN | qmax Optredende dwarskracht | Conclusie: | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | | 293 | 160 | Voldoende | |
| 500 mm | | 331 | 240 | Voldoende | |
| 550 mm | | 373 | 280 | Voldoende | |
| 600 mm | | 407 | 300 | Voldoende | |
| 650 mm | | 445 | 320 | Voldoende | |

| Veld 1 Dikte constructie | Bij tussensteunpunt Aanwezige wap * | Capaciteit in kN | qmax Optredende dwarskracht | Conclusie: | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | wap aanw. | 462 | 340 | Voldoende | |
| 500 mm | wap aanw. | 522 | 400 | Voldoende | |
| 550 mm | wap aanw. | 582 | 280 | Voldoende | |
| 600 mm | wap aanw. | 642 | 500 | Voldoende | |
| 650 mm | wap aanw. | 702 | 500 | Voldoende | |

| Veld 3 Dikte constructie | Bij tussensteunpunt Aanwezige wap * | Capaciteit in kN | qmax Optredende dwarskracht | Conclusie: | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | wap aanw. | 462 | 280 | Voldoende | |
| 500 mm | wap aanw. | 522 | 360 | Voldoende | |
| 550 mm | wap aanw. | 582 | 240 | Voldoende | |
| 600 mm | wap aanw. | 642 | 360 | Voldoende | |
| 650 mm | wap aanw. | 702 | 400 | Voldoende | |

* wapening in de vorm van opgebogen staven

**Conclusies uit de toetsingen volgens de NEN 6706:**

Moment:

Het moment voldoet op een aantal plaatsen niet.

1. In de hoofdrichting voldoet alleen het eindveld richting het landhoofd niet. Hier is tot ca 10% overschrijding van de capaciteit.
2. In de dwarsrichting voldoet de veldwapening niet, met zo'n 50% in zowel het eindveld als de tussenvelden.

De combinatie van 1 (langs) en 2 (dwars) in de eindvelden is niet acceptabel.

Dwarskracht:

Als gevolg van de hogere betonkwaliteit voldoet de dwarskracht belasting aan de capaciteit. Voor de betonkwaliteit was eerst uitgegaan van B16,5 echter als gevolg van het Nebest betononderzoek kan er nu gerekend worden met B55.

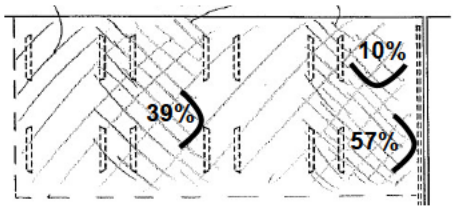
## Tonnage verlaging viaduct:

In de volgende twee stappen worden de belastingen verlaagd van de NEN 6706 met factor 0,85 (lees: 51 ton (60 * 0,85)) naar 40 ton en naar 30 ton aangepast.
Buiten de zwaarste aslasten worden ook de andere belastingen op de autorijstroken evenredig met de hoofdbelasting beperkt.

### 40 tons belasting:

Er worden alleen toetsingen gedaan op de onderdelen die nog niet voldeden.

Het gebied van de overschrijding van de hoofdmomenten neemt af, in dwarsrichting is de afname niet waarneembaar.



## 30 tons belasting:

### 30 tons belasting

**LANGSMOMENTEN**

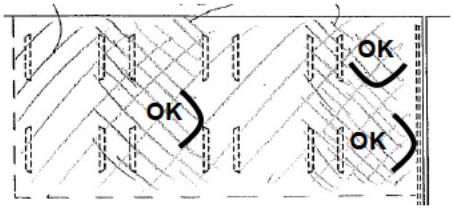
| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | mxD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 330 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 390 | Voldoende | | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 465 | Voldoende | | |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 500 | Voldoende | | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 530 | Voldoende | | |

**DWARSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 110 | Voldoende | | |
| 550 mm tusser | rond 19-170 | 169 | 90 | Voldoende | | |

| Veld 3 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 100 | Voldoende | | |
| 550 mm tusser | rond 19-170 | 169 | 75 | Voldoende | | |

Zowel de langs- als de dwarsmomenten voldoen aan de capaciteit van het viaduct.




Het bijzondere is dat de wiellasten uit de nieuwe norm niet lijken op de werkelijk passerende voertuigen. Toch heeft de nieuwe norm voor deze modellering gekozen. Bij een voertuig van 30 ton voldoet het viaduct.

## Reken volgens de oude belasting norm VBB (NEN 6723):

Omdat er door de jaren lange ervaring er toch meer gevoel is bij een klasse 45 belasting volgens de oude norm, is het eindveld ook een keer doorgerekend met een klasse 45 belasting.

### Klasse 45 (VBB)

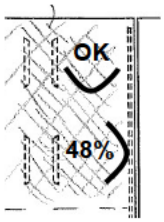
**LANGSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | mxD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 380 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 465 | Voldoende | | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 550 | Onvoldoende | Acceptabel | 1% |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 590 | Voldoende | | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 630 | Voldoende | | |

**DWARSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 170 | Onvoldoende | ca 55 kNm | 48% |
| 550 mm tussı | rond 19-170 | 169 | 120 | Voldoende | | |

Ook bij klasse 45 voldoet de dwarsmomentcapaciteit niet. Er is nu alleen gekeken naar het eindveld, vermoedelijk geldt dit ook voor de tussenvelden.
De overschrijding van 1% op de langsmomentwapening is te verwaarlozen.



## NEN 6706 echter met 2 x 1 rijstrook ipv 2x2 rijstroken:

Aangezien het viaduct nog maar beperkte tijd met 2 rijstroken wordt belast, is ook 1 keer de situatie bekeken met 1 rijstrook NEN 6706 met 0,85 reductie. Dit leid tot nog steeds een aanzienlijke overschrijding van de veldmomenten in dwarsrichting. Dit is het gevolg van het feit dat de (gespreide) puntlasten vlak rondom de last in eerste instantie niet meteen alleen in de hoofdrichting afdragen.

### 1 rijstrook

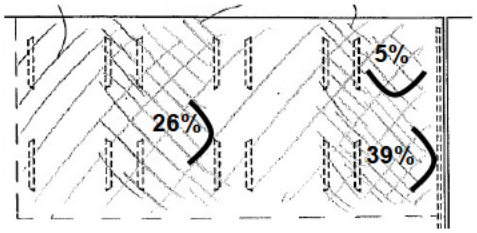
**LANGSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | mxD- Concusie: | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 400 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 510 | Onvoldoende | Acceptabel | 5% |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 550 | Onvoldoende | Acceptabel | 1% |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 540 | Voldoende | | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 550 | Voldoende | | |

**DWARSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | myD- Voldoende? | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 160 | Onvoldoende | | 39% |
| 550 mm tussı | rond 19-170 | 169 | 110 | Voldoende | | |

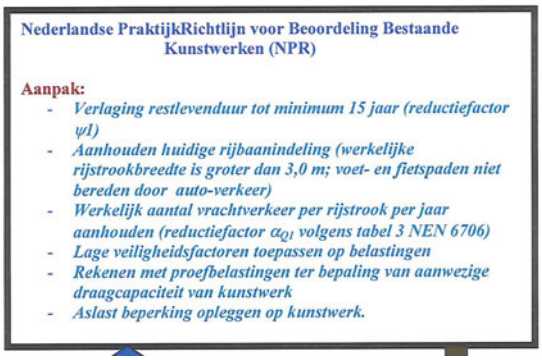
| Veld 3 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | Optredend moment | myD- Voldoende? | Opmerking | % overschreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 145 | Onvoldoende | Ca 30 kNm | 26% |
| 550 mm tussı | rond 19-170 | 169 | 100 | Voldoende | | |



# 4 Dekberekeningcontrole op basis van normen voor bestaande kunstwerken

## 4.1. Toepassing NPR richtlijnen in combinatie met NEN 8700:

Landelijk is er veel discussie over het toetsen van bestaande kunstwerken aan de nieuwe belastingen norm NEN 6706.
De NPR en de NEN 8700 maken gebruik van de NEN 6706, maar passen deze norm op onderdelen aan.
De NPR is nog niet vastgesteld, toch zijn er al veel van de adviezen van de NPR (Nederlandse Praktijk Richtlijn) meegenomen in dit rapport:



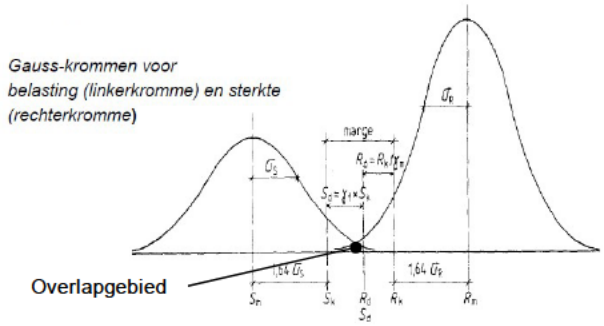

Verlaging restlevensduur tot minimum 15 jaar:

- Dit levert een beperking op van de dominante variabele belasting met ca 7,5%
- Aanhouden huidige rijbaanindeling, was al in alle NEN 6706 berekeningen al meegenomen
- Werkelijk aantal vrachtwagens per rijstrook is aangehouden op 2000 zware voertuigen per jaar. (Ca 5 a 6 rijtuigen per dag)
- De invloed van lage veiligheidsfactoren wordt hierna beschouwd.
- Proefbelastingen zijn niet uitgevoerd, dit is nog in ontwikkeling.
- Aslastbeperking wordt afgeraden, is wel berekend, bij maximaal 30 tons voertuigen voldoet de capaciteit van de constructie.

Belastingfactoren volgens de NPR (let op nog niet vastgesteld)

| | NEW | | EXISTING | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | permanent unfavourable | variable | permanent unfavourable | wind | others |
| STR/GEO (6.10a) | | | | | |
| CC 1 | 1,20 | 1,35 Ψo | 1,10 | 1.10 Ψo | 1,00 Ψo |
| CC 2 | 1,35 | 1,50 Ψo | 1,20 | 1.30 Ψo | 1,15 Ψo |
| CC 3 | 1,50 | 1,65 Ψo | 1,30 | 1,50 Ψo | 1,30 Ψo |
| STR/GEO (6.10b) | | | | | |
| CC 1 | 1,10 | 1,35* | 1,00 | 1.10* | 1,00* |
| CC 2 | 1,20 | 1,50* | 1,10 | 1.30* | 1,15* |
| CC 3 | 1,30 | 1,65* | 1,20 | 1,50* | 1,30* |
| * = if not dominant, multiply with Ψo | | | | | |

De gedachtegang achter de NPR in combinatie met de NEN 8700 is dat de betrouwbaarheidsindex terug gaat van Beta 3,6 naar Beta 2,6.




De mate van overlap van de Gauss-krommen geeft de faalkans per jaar weer. Door de Bèta te verlagen wordt het overlapgebied van de twee Gauss-krommen groter.

Dit is acceptabel omdat de referentieperiode op slechts 1 jaar is gesteld.
Belastingen worden ontleend aan de referentielevensduur, deze is bijvoorbeeld 15 jaar. Als de referentielevensduur langer is dan 1 jaar (bijvoorbeeld 15 jaar), is ieder jaar een grondige inspectie van het viaduct vereist.
Wat een grondige inspectie precies is geeft de norm niet duidelijk aan. Het zou erg onhandig zijn als er ieder jaar aan de bovenkant van het dek grondig geïnspecteerd zou moeten worden. Gelukkig is dit niet het geval. De bovenkant van het dek is al geschikt voor de NEN 6706 (belastingen) en NEN 6720 (materialen), dus hiervoor zou de NPR en NEN 8700 niet gehanteerd hoeven te worden.
Als er gebruik gemaakt wordt van de NPR (lees: normen voor bestaande bruggen) moet er ieder jaar een inspectie worden gedaan, in dit geval alleen van de eind- en tussenvelden aan de onderkant.

Als een jaarlijkse inspectie word uitgevoerd mag er met de normen voor bestaande bruggen gerekend worden, voor een beperkte tijd (de referentielevensduur max 15-100 jaar). Daarna mag er niet opnieuw met de normen voor bestaande bruggen gerekend worden, maar moet met de vigerende normen gerekend worden, op dit moment is dit de NEN 6706 (die voorbereid is op de Eurocode normen).

### 2 rijstroken volgens NPR referentielevensduur 15 jaar

**LANGSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | mxD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 450 mm | rond 28-110 | 429 | 320 | Voldoende | | |
| 500 mm | rond 28-110 | 488 | 420 | Voldoende | | |
| 550 mm | rond 28-110 | 546 | 500 | Voldoende | | |
| 600 mm | rond 28-110 | 605 | 510 | Voldoende | | |
| 650 mm | rond 28-110 | 663 | 510 | Voldoende | | |

**DWARSMOMENTEN**

| Veld 1 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 125 | Onvoldoende | Ca 10 KNm | 9% |
| 550 mm tuss | rond 19-170 | 169 | 90 | Voldoende | | |

| Veld 3 Dikte constructie | Veldmoment Aanwezige wap | Capaciteit in kNm | myD- Optredend moment | Conclusie: | Opmerking | % over-schreiding |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 550 mm veld | rond 19-250 | 115 | 105 | Voldoende | | |
| 550 mm tuss | rond 19-170 | 169 | 65 | Voldoende | | |

Strikt genomen voldoet het viaduct niet aan de normen voor bestaande kunstwerken.
Er zijn twee mogelijkheden om hier wel aan te gaan voldoen.

- Het viaduct versterken, zoals in variant 1 wordt uitgewerkt.
- De belasting verlagen, zoals in variant 2 wordt uitgewerkt.

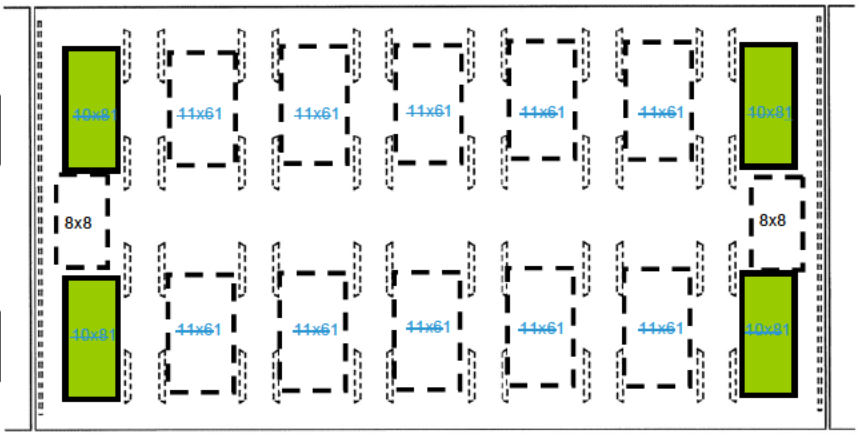
Deze aanpassingen mogen volgens de normen voor bestaande kunstwerken berekend worden, zowel aan de belastingreductiekant als aan de versterkingskant.

Let op:
Bij variant 1 is de referentielevensduur 15 jaar. Bij deze variant moest er optimaal gebruik gemaakt worden van de reductie mogelijkheden die mogelijk zijn in de normen voor bestaande kunstwerken.
Bij variant 2 is de beperking van de belasting naar 1 rijstrook zo maatgevend dat de reductie voor 15 jaar niet noodzakelijk was, daarom is bij variant 2 de referentielevensduur 100 jaar.

### 4.2. Variant 1: Rijbaanindeling 2x2 rijstroken - Referentielevensduur: 15 jaar:

Als de huidige situatie (2 x 2 rijstroken) de komende 15 jaar wordt gehandhaafd dan moet er qua momenten het volgende gebeuren: in de eindvelden moet er over 8x10 10x9 meter koolstofwapening geplakt worden. Dit moet 4 keer gebeuren, dus totaal 4 x 80 90 m² = 320 360 m².
Deze plekken voldoen aan de NEN 6706 en NEN 6720 (beta 3,6).
De rest van de velden moet aan de onderkant jaarlijks grondig geïnspecteerd worden, ter plaatse van de rijbanen aan de onderkant van het viaduct.
Na deze 15 jaar zullen de NPR en de NEN 8700 niet meer gebruikt mogen worden en moet de rest van de constructie geschikt gemaakt worden voor de NEN 6706 en NEN 6720 of de dan geldende normen.
Dit betekend dat bij de trambaan eindvelden aan de onderkant versterkt moeten worden. Ca 8 x8 = 64 m² per stuk. Dit twee keer herhalen is ca 130 m²
De tussenvelden aan de onderkant ter plaatse van de rijbaan 6x 11x 911 = 66 99 m² per tussenveld per rijbaan. 2 rijbanen x 5 tussenvelden, dus 10 keer 66 99 m2 = 660 990 m²

Plattegrond variant 1:

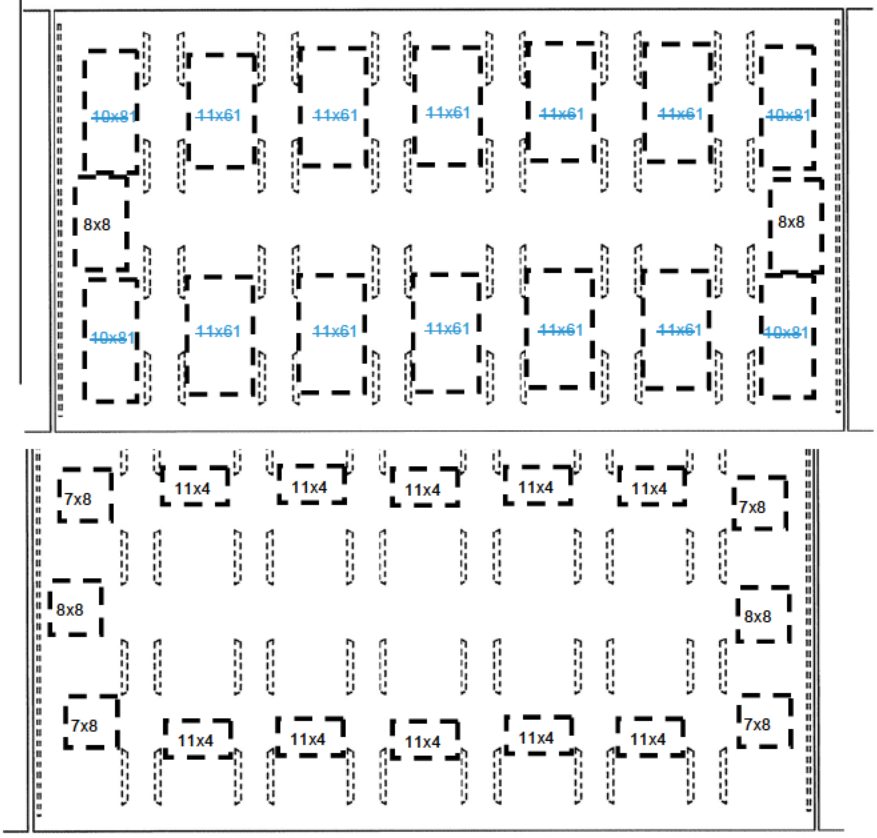


### 4.3. Variant 2: Rijbaanindeling 2x1 rijstrook - eferentielevensduur:100 jaar:

Als de situatie wordt gewijzigd naar 1 rijstrook per rijrichting, dan is er net voldoende dwarsveldwapening aanwezig in de eindvelden om aan de normen voor bestaande kunstwerken te voldoen.
De tussenvelden onder de rijbaan voldoen.

Na 100 jaar zullen dan praktisch alle maatregelen zoals na 15 jaar bij 2x2 rijbanen beschreven moeten gebeuren. Echter onder de rijbanen zal de breedte van het te plakken vlakken niet smaller zijn dan bij 2x2 rijstroken. ~~Globaal geschatte reductie van de breedte van ca 2/3.~~ Omdat koolstof moet worden doorgeplakt worden tot waar de beton ongescheurd is.
Dus eindvelden rijbaan: ~~7~~ 10 x 98 = ~~56~~ 90 m² per eindveld. Dus x4 is ~~225~~ 360 m² eindvelden rijbaan
Tussenvelden rijbaan: ~~4~~ 11 x ~~911~~ = 9944 m² per tussenveld. Dus x10 tussenvelden = ~~440~~ 990 m² tussenvelden.
Trambaan is ongewijzigd: eindvelden 8 x 8 = 64 m² per stuk x 2 = ca 130 m² totaal voor trambanen.

Plattegrond variant ~~1~~2:



**Kosten:**

Voor de prijsbepaling van de koolstofwapening is uitgegaan van een verhouding materiaalkosten 6050% en aanbrengkosten 4050%. Met een bandbreedte van de prijs van + en – 30% zijn de aanneemkosten ca 1300 1500 euro/m² en de investeringskosten zijn ca 1500 1800 euro/m². Dit bedrag berust op de aanname van een koolstofbedekkingsgraad van 100100%. Er is geschat dat de bedekkingsgraad geen 100% in de orde van grootte van is maar 25% ligt. Dus de investeringskosten per m² is daardoor ca 450 euro/m² Welke bedekkingsgraad aan de orde is moet nog nader bepaald worden.

Deze prijzen zijn bepaald met bemiddel van de SSK systematiek. De scope van 100 jaar wordt echter door de beheerder als niet relevant beschouwd, daarom is dit niet verder meegenomen in de onderstaande tabellen.

| Variant 1 | Nu | Over 15 jaar NEN 6706 | Type kosten |
|---|---|---|---|
| 2x 2 rijbanen NPR | 360 m2 € 162.000 | 1120 m2 €505.000 | Investeringskosten |
| | | | |
| Variant 2 | Nu | | |
| 2 x 1 rijbanen NPR | 0 m2 | | |

Met opmaak: Lettertype: Vet

Met opmaak: Superscript

Met opmaak: Superscript

Tabel met opmaak

Met opmaak: Regelafstand: 1,5 regel

Tabel met opmaak

Buiten de bovenstaande investeringskosten zijn er twee ander kostenposten: Aanbrengen waterdichte laag aan de bovenkant aan het dek, als gevolg dat dooizouten al ver in de beton zijn ingedrongen. Jaarlijkse grondige inspectie als er volgens de NPR gerekend wordt.

### 4.4. Variant 2.2: Rijbaanindeling 2x1 rijstrook - Referentielevensduur:100 jaar met koolstofwapening aanbrengen eindvelden:

Aandachtspunt blijft dat de eindvelden het meest kritisch zijn van dit viaduct. De huidige berekening benut alle rekenkundige mogelijkheden om te komen tot het resultaat dat bij het reduceren naar 1 rijstrook per rijrichting de constructie rekenkundig net voldoet aan een verlaagd betrouwbaarheidsindex (bèta 2,6).
Zonder dat er nu volgens de normen voor bestaande kunstwerken rekenkundige reden is om maatregelen te nemen, blijft het meest kritische onderdeel de beperkte overcapaciteit van de veldwapening in de dwarsrichting.
Om weer wat meer marge te krijgen op deze "achilleshiel" van de constructie is er ook een extra variant in dit rapport opgenomen.
Bij mogelijke beperkte wijzigingen bij het definitief vaststellen van de NPR zou deze variant al een vereiste kunnen zijn.

Plattegrond variant 12.2:




Met opmaak: Lettertype: 13 pt

Tabel met opmaak

Het voordeel is dat er nu geen rekenkundige noodzaak is om dit meteen uit te voeren. De beperkte investering zou ook over een paar jaar uitgevoerd mogen worden.

Betonlaag aan de bovenkant van het dek in plaats van koolstofwapening aan de onderkant:
Het toepassen van een betonlaag aan de bovenkant, onder de rijbaan, geeft weinig voordeel op de dwarsveldmomenten. Bij een dunne laag is de werking marginaal. Bij een dikke laag beton ter plaatse van de rijbanen word het gehele dek dikker en zal de fundering van de tussenpijlers die al niet helemaal voldoet aan de rekenkundige veiligheid (wat nog acceptabel is) verder overschreden worden. Mocht de koolstofwapening oplossing problemen geven bij de welstand dan zou het opdikken aan de bovenkant verder onderzocht moeten worden.

# 5 Fundering: tussenpijlers en landhoofden:

## 5.1. Tussenpijlers:

Voor de toetsing van de tussenpijlers zijn de wanden van de pijlers globaal getoetst, tevens zijn de paalbelastingen getoetst op de maximale draagkracht van de palen. Hierbij is ook gekeken naar de oude berekening.
In bijlage E is een notitie opgenomen waar de paalfundering van de tussenpijlers zijn getoetst.
De fundering van de tussenpijlers lijkt iets te licht om volledig te voldoen aan de nieuwe belastingennorm. Echter de overschrijding van de norm is beperkt waardoor we niet adviseren om dit aan te pakken. Dit advies is mede ingegeven doordat we relatief weinig grondonderzoek hadden en de rekenveiligheid op de fundering groot is.

## 5.2. Landhoofden:

Bij de landhoofden zijn 2 onderdelen getoetst. De balk boven de sparingen en grof de paalbelastingen op de paaldraagvermogens.
In dezelfde notitie in bijlage E van de tussenpijlers zijn ook de landhoofden getoetst. De landhoofden voldoen.

# 6 Conclusie en aanbevelingen:

De conclusie en aanbevelingen voor de krachten van het dek valt in een aantal aspecten uiteen:

1. De resultaten van de toetsing volgens normen voor nieuwe kunstwerken ~~en~~ (de NEN 6706) ~~en in samenhang daarmee een berekening volgens de ontwerpnormen;~~
2. de resultaten van de toetsing volgens normen voor bestaande kunstwerken (de NPR in combinatie met de NEN 8700)~~;~~
3. overige zaken.

## 6.1 Toetsing krachten in dek volgens normen voor nieuwe kunstwerken:

Bij beschouwing van het dek volgens de NEN 6706 aangepast aan de actuele situatie blijkt de huidige constructie ***niet te voldoen aan de normen*** voor nieuwe kunstwerken.
De constructie voldoet niet qua momentcapaciteit. In de eindvelden voldoet zowel de langs- (tekort 10%) als de dwarsmomentcapaciteit (tekort 60%) niet, in de andere velden voldoet alleen de dwarsmomentcapaciteit (tekort 40%) niet.

Dwarskracht:
Als gevolg van nieuw betononderzoek voldoet het viaduct wel op dwarskracht op alle punten aan de norm (~~en~~ voor nieuwe kunstwerken).

**Mogelijke oplossingen voor overschrijdingen:**

Voertuigtonnagebeperking:
De overschrijding van de momentcapaciteit in de dwarsrichting in het eindveld is zo groot, ca 60% overschrijding, dat ***maximaal*** slechts een ***30 tons voertuig*** kan worden toegestaan.
De vraag is of het invoeren van een 30 tons regime voor een kunstwerk handhaafbaar en functioneel is, in relatie tot het overige wegennet.

Koolstofwapening aanbrengen:
De beperkte veldmomentcapaciteit in de dwarsrichting kan heel goed worden aangepakt met koolstofwapening. Het is een goedkopere manier dan het storten van een laag gewapend hogesterktebeton, aan de bovenzijde van het viaduct, om de capaciteit te verhogen~~.~~

Reken volgens oude norm met klasse 45:
Om discussie over de vorige (VBB klasse 45) en de nieuwe norm (NEN 6706) te vermijden is het eindveld (maatgevende veld) ook gecontroleerd met een klasse 45 belasting. De momentcapaciteit in de langsrichting voldoet net aan de belasting, echter de momentbelasting in de dwarsrichting heeft een overschrijding van ca. 50% ten opzichte van de huidige capaciteit. **Het huidige viaduct voldoet dus ook niet** aan de vorige norm (klasse 45).

Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet

## 6.2 Toetsing krachten in dek volgens normen voor bestaande kunstwerken:

De huidige situatie voldoet ook niet aan de normen voor bestaande kunstwerken
Echter de overschrijdingen zijn beperkt tot de dwarsmomenten in de eindvelden.

~~Mogelijke oplossingen voor de overschrijding:~~
De overschrijding kan door een keuze uit één ~~een ()een~~ van de onderstaande onderstaande opties ~~Op twee manieren kan de overschrijding~~ opgelost worden. De variant van het beperken van de belasting is hierbij niet meer in de beschouwing meegenomen, vanwege de weinig praktische uitvoerbaarheid van deze variant zoals onder 6.1 reeds aangegeven..
~~:~~

Variant 1: ~~A.~~ De constructie op een beperkt aantal punten **versterken met koolstofwapening** (variant 1 (2x2 rijstroken)). De restlevensduur is daarbij 15 jaar. ~~—~~ De kosten van deze oplossing liggen in de orde van grootte van ca € 175.000 (+/- 30%)~~.....~~. Na deze 15 jaar moet het kunstwerk alsnog NEN 6706 proof ~~g~~gemaakt worden (ca € 500.000) (+/- 30%)

Variant 2: ~~DB.~~ De **belasting verlagen** middels het beperken van de belastingen via het veranderen van 2 rijstroken per rijrichting naar 1 rijstrook per rijrichting (variant 2 (2x1 rijstroken)). Hierbij mag en rest-levenduur van 100 jaar aangehouden worden.

Variant 2.2: ~~Reden hiervoor is het effect van de belastingsbeperking ten gevolge van de rijstrook reductie.~~ Vanwege de uiterst~~erst~~ nauwe marges in de rekenkundige veiligheid, is het aan te bevelen de aanpak van **variant 2** te **combineren** met het aanbrengen van een ~~gelimiteerde~~~~beperkte hoeveelheid~~ **koolstofwapening**~~ing~~ ~~jaar~~ aan te brengen~~gehouden worden. . .~~. De kosten van deze versterking liggen in de orde van grootte van €~~...~~175.000 (+/- 30%). Bij deze aanpak mag met een restlevensduur van 100 gerekend worden.

In ~~beide~~ alle opties ~~gevallen~~ zal ~~ullen voor de delen waar maar volgens de NPR bestaande kunstwerken is gerekend,~~ **jaarlijkse** een grondige~~specifieke~~ **inspectie**~~s~~ moeten worden uitgevoerd.

Hogesterktebeton
Het toepassen van een hogesterktebetonlaag aan de bovenkant, onder de rijbaan, geeft weinig voordeel op de dwarsveldmomenten. Bij een dunne laag is de werking marginaal. Bij een dikke laag (200MM) hogesterktebeton zal de fundering van de tussenpijlers -die nu marginaal maar acceptabel voldoen verder overschreden worden.

Mocht de koolstofwapeningoplossing problemen geven bij de welstand dan zou het opdikken aan de bovenkant verder onderzocht moeten worden.

Met opmaak: Onderstrepen
Met opmaak: Markeren
Met opmaak: Markeren
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Inspringing: Links: 0 cm, Verkeerd-om: 2,5 cm
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Markeren
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet
Met opmaak: Lettertype: Vet

### 6.3 Overige zaken:

**Fundering:**
De toetsing van de fundering van de tussenpijlers en de landhoofden heeft het volgende opgeleverd:

- de fundering van het landhoofd voldoet aan de nieuwe belastingnorm.
- de fundering van de tussenpijlers voldoen marginaal. Echter de overschrijding van de norm is beperkt waardoor we niet adviseren om dit aan te pakken. Dit advies is mede ingegeven omdat de rekenveiligheid op de fundering in het algemeen groot is.

**Waterafsluitende laag:**
Als bijproduct van het betononderzoek kwam aan de orde dat er op alarmerende wijze sprake is van indringing van dooizouten in de bovenkant van het dek. Mocht er op redelijk korte termijn doorgegaan worden met de herprofilering van het dek, dan kan in deze herprofilering meteen een waterafsluitende laag worden meegenomen. Laat de herprofilering lang op zich wachten dan is het niet verstandig om niets te doen en moet er als separate actie de indringing van zouten tegengegaan worden, om carbonatatie van het beton (betonrot) tegen te gaan.

**Scheurvorming**
Ten tijde van het betononderzoek door Nebest is scheurvorming op beperkte schaal waargenomen, en is besloten tot een nadere inspectie door Nebest. Ons advies is aan Nebest de opdracht te geven tot een inspectie van de onderzijde van het viaduct in de geest van een inspectie volgens de normen voor bestaande kunstwerken, en deze als nulmeting en eerste inspectie in het kader van de normen voor bestaande kunstwerken te beschouwen.

**Bijzondere voertuigen**
In de loop van het onderzoek rees de vraag of bijzondere voertuigen geweerd zouden moeten worden van dit viaduct.
Er is daarom een toets gedaan met een *representatief bijzonder voertuig* (6 aslasten 120 kN en asafstanden 1,4 meter).

Als er gerekend wordt met de normen voor *bestaande kunstwerken* dan voldoet de capaciteit van de constructie ***wel.***
Het is natuurlijk altijd aan te bevelen om de specifieke voertuigen per geval te laten beschouwen.

**Kosten:**
De kosten van koolstofwapening zijn benaderd op een nauwkeurigheidsniveau die een redelijke mate van budgetvorming mogelijk maakt. Voor deze prijsbepaling van de koolstofwapening is uitgegaan van een verhouding materiaalkosten 60% en aanbrengkosten 40%. De kosten zijn mede afhankelijk van de bedekkingsgraad van de koolstofwapening. Afhankelijk van de ernst van het probleem en de gewenste bedekkingsgraad, varieren de kosten van € 450-2000,-/m2.

**Met opmaak:** Lettertype: 12 pt, Vet
**Met opmaak:** Lettertype: 12 pt, Vet, Niet onderstrepen
**Met opmaak:** Lettertype: Vet, Niet onderstrepen
**Met opmaak:** Lettertype: Vet
**Met opmaak:** Lettertype: 12 pt, Vet, Niet onderstrepen
**Met opmaak:** Lettertype: Vet
**Met opmaak:** Lettertype: Vet, Niet onderstrepen, Markeren
**Met opmaak:** Lettertype: Vet, Markeren
**Met opmaak:** Markeren
**Met opmaak:** Markeren

In het geval van de Johan Huizinga laan is gerekend met een bedrag van € 450,-/M2.

## Wat verder ter tafel is gekomen:

Risico's van momentcapaciteitsproblemen versus dwarskrachtcapaciteitsproblemen
Na de berekening van Grontmij was er een alarmerend beeld ontstaan dat als gevolg van dwarskrachtcapaciteit tekort de constructie bros zou kunnen bezwijken. Bij deze herberekening is het erg handig geweest dat er nieuwe betononderzoekresultaten bekend waren. Hieruit bleek de dwarskrachtcapaciteit voldoende.
Bezwijken op moment is een plastisch bezwijkmechanisme. In andere woorden, dit bezwijkingsmoment alarmeert voordat het bezwijkt. De maatgevende wapening ligt aan de onderzijde van het viaduct. Er zullen dus scheuren te zien zijn, voordat het viaduct bezwijkt.

Dit is goed aan te pakken door koolstofwapening aanbrengen aan de onderzijde van het dek. Wij adviseren het dek op te waarderen met koolstofwapening tot en met de nieuwe norm met de reductiefactor 0,85.

Staalkwaliteit beproeven:
De bemoedigende resultaten van het betononderzoek hebben de vraag opgeroepen of het zinvol is ook aanvullend staalonderzoek te doen. Hier is echter vanaf gezien omdat staal heel anders reageert dan beton in de tijd. Afwijking van de staalkwaliteit ligt in de buurt van 8%

Risico's toepassen koolstofwapening:
Het toepassen van koolstofwapening heeft wel enig risico. De koolstofwapening aan de onderzijde kan door vastlopende vrachtwagens/kranen kapot gereden worden. Het "voordeel" is dat als er momentcapaciteit moet worden toegevoegd in de dwarsrichting van het dek dat het onderliggende verkeer in dezelfde richting rijdt als de aangebrachte koolstofwapening, waardoor dan vermoedelijk alleen een strook van ca 1 meter kapot gereden kan worden. Deze schade moet dan wel hersteld worden, maar de constructie zal dan nog voldoen, doordat de constructie gaat herverdelen.
Ook is het mogelijk om aan het begin van de onderdoorgangen een kleine verlaging toe te passen die te hoge voertuigen "tegen" houdt.
Alleen in het eindveld moet ook de hoofdveldwapening worden versterkt, echter hier zijn alleen voet- fietspaden onder waardoor de kans op het kapot rijden van de koolstofwapening beperkt is.
Ter plaatse van de beperkte momentwapening in dwarsrichting zou de extra wapening moeten worden geplakt ter plaatse van de rijstroken. Dit betekent 1000 $m^2$ koolstofwapening.

~~Kosten:~~
~~De kosten van koolstofwapening zijn benaderd op een nauwkeurigheidsniveau die een redelijke mate van budgetvorming mogelijk maakt. Voor deze prijsbepaling van de koolstofwapening is uitgegaan van een verhouding materiaalkosten 60% en aanbrengkosten 40%. Met een bandbreedte van de prijs van + en – 30% zijn de aanneemkosten ca 1300 euro/$m^2$ en de investeringskosten zijn ca 1500 euro/$m^2$.~~

~~Totaal betekend dit ca 1,5 miljoen investeringskosten. De prijzen zijn bepaald met bemiddel van de SSK systematiek.~~

Overleggen met DMB:
De visie en de werkwijze van IBA met betrekking tot het toepassen van de normen voor bestaande kunstwerken is getoetst bij DMB, bij de heer [redacted] tel: 020 - [redacted]@dmb.amsterdam.nl
DMB kan zich goed vinden in de werkwijzen en zienswijze van IBA.
Hiermee lijkt de weg vrij om een berekening volgens de normen voor bestaande kunstwerken in te dienen bij DMB.

Scheurvorming

Ten tijde van het betononderzoek door Nebest is scheurvorming op beperkte schaal waargenomen, en is besloten tot een nadere inspectie door Nebest. Ons advies is aan Nebest de opdracht te geven tot een inspectie van de onderzijde van het viaduct in de geest van een inspectie volgens de normen voor bestaande kunstwerken, en deze als nulmeting en eerste inspectie in het kader van de normen voor bestaande kunstwerken te beschouwen

Bijzondere voertuigen:

In de loop van het onderzoek rees de vraag of bijzondere voertuigen geweerd zouden moeten worden van dit viaduct.

Er is daarom een toets gedaan met een *representatief bijzonder voertuig* (6 aslasten 120 kN en asafstanden 1,4 meter).

Berekend volgens de normen voor *nieuwe kunstwerken* voldoet de capaciteit van de constructie in dwarsrichting zowel in de eind- als in de tussenvelden *niet*, echter Aals er gerekend wordt met de normen voor *bestaande kunstwerken* dan voldoet de capaciteit van de constructie *wel*.

Het is natuurlijk altijd aan te bevelen om de specifieke voertuigen per geval te laten beschouwen.

# Bijlage A

Tekeningen Constructie bestaand en nieuw

# Bijlage B

Originele constructieberekening inclusief opmerkingen

# Bijlage C

C1 Belastingen bepalen
C2 ESA-Engineer Dekberekening: constructie en belastinggevallen (deels)
C3 ESA-Engineer Dekberekening: combinaties en resultante krachten

# Bijlage D

Toetsingen dekberekening

# Bijlage E

Prikberekening tussenpijlers en landhoofden

Colofon

Betonberekening Johan Huizingalaan

Controle-berekening betonnen dek en fundering

Tekst
Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau
Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder bronvermelding.
Gemeente Amsterdam,
Ingenieursbureau
Weesperstraat 430
Postbus 12693
1100 AR Amsterdam