

Specificaties Ontwerp Doorgaand Gewapende Betonverhardingen

Dienst Grote Projecten en Onderhoud, november 2022

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Toepassingsgebied	4
3	Begripsbepalingen	4
3.1	Doorgaand gewapende betonverhardingen	4
3.2	Ontwerplevensduur	4
3.3	Vermoeiingsscheuren	4
4	Bepalen ontwerpbelasting	5
4.1	Karakteristiek aantal vrachtwagenassen gedurende de ontwerplevensduur	6
4.1.1	Ontwerplevensduur	6
4.1.2	Aantal werkdagen per jaar	7
4.1.3	Onzekerheidsfactor verkeersgegevens	7
4.1.4	Gemiddelde etmaalintensiteit, aandeel verkeer op de te ontwerpen rijbaan en aandeel zwaar verkeer	7
4.1.5	Gemiddeld aantal assen per vrachtwagen	8
4.1.6	Groeifactor voor de verkeersbelasting	8
4.2	Aslastspectrum	8
4.3	Bandspectrum	9
4.4	Categorie vrachtauto-intensiteit	9
4.5	Afwijkingen tussen voorspelde en werkelijke verkeersbelasting	9
5	Ontwerp verharding	10
5.1	Fundering	10
5.1.1	Funderingsmaterialen	10
5.1.2	Laagdikten en breedte standaard funderingsmaterialen	12
5.2	Asfalt tussenlaag	12
5.2.1	Functies	12
5.2.2	Vereiste eigenschappen en dikte	12
5.3	Doorgaand gewapende betonlaag	12
5.3.1	Milieuklasse	12
5.3.2	Beton	13
5.3.3	Langswapening	13
5.3.4	Dwarswapening	15
5.3.5	Verbindingen	15
5.4	Kleeflaag	16
5.5	Geluidreducerende deklaag	16
6	Dimensionering verharding	17
6.1	Schematisering constructie	17
6.1.1	Schematisering tot enkele plaat op veren	17
6.1.2	Ondergrond	17
6.1.3	Fundering	18
6.1.4	Asfalt tussenlaag	18
6.1.5	Beddinggetal	19
6.1.6	Doorgaand gewapende betonlaag	20
6.1.7	Geluidreducerende deklaag	20
6.2	Dimensionering	20
6.2.1	Betondikte	20
6.2.2	Langswapening	25
6.3	Gebruik van computerprogramma's	25
6.4	Homogeniteit verhardingsconstructie	25
7	Ontwerpdetails	26
7.1	Constructielangsvoeegen	26
7.2	Krimplangsvoeegen	26

7.3 Constructiedwarsvoegen	26
7.4 Beëindigingsconstructies	26
7.5 Gootconstructies	27
8 Aanvullende eisen	27
8.1 Interacties	27
8.2 Aantonen geschiktheid materialen en uitvoeringsmethoden	27
9 Kwaliteitsborging	28
10 Toetsing	28
10.1 Hoogteligging fundering	28
10.2 Hoogteligging asfalt tussenlaag	28
10.3 Doorgaand gewapende betonlaag	28
11 Literatuur	30

1 Inleiding

Deze Specificaties Ontwerp Doorgaand Gewapende Betonverhardingen dienen als verificatiemethode voor het wegbouwkundig ontwerp van nieuwe doorgaand gewapende betonverhardingen met een geluidreducerende deklaag.

De hiervoor benodigde berekeningen worden in principe gedaan met VENCON2.0, versie 14 december 2004, van CROW [1]. Deze Specificaties geven de kaders aan waarbinnen VENCON2.0 voor Rijkswaterstaatswerken moet worden toegepast. Tevens geven deze Specificaties een globale toelichting op de methodiek van VENCON2.0 en geven zij aan welke gegevens op de aan te leveren uitgebreide uitdraai van VENCON2.0 vermeld moeten zijn en welke aanvullende gegevens nodig zijn om het verhardingsontwerp te kunnen toetsen.

Daarnaast gaan deze Specificaties in op een aantal niet in de berekeningen tot uiting komende ontwerpdetails en aanvullende ontwerpeisen en geven zij aan hoe de geschiktheid van materialen en uitvoeringsmethoden kan worden aangetoond.

2 Toepassingsgebied

Deze Specificaties zijn gericht op doorgaand gewapende betonverhardingen, met een geluidreducerende deklaag, voor wegen in het beheer van het Rijk, maar kunnen desgewenst ook van toepassing verklaard worden op doorgaand gewapende betonverhardingen, al dan niet met een asfaltdeklaag, voor het onderliggend weggennet. Voor speciale situaties (zoals verzorgingsplaatsen, bushaltes of busbanen) kan ook van (delen van) deze Specificaties gebruik worden gemaakt maar zullen aanvullende ontwerpuitgangspunten moeten worden meegegeven. Deze Specificaties zijn niet van toepassing op wegverbredingen in beton.

3 Begripsbepalingen

3.1 Doorgaand gewapende betonverhardingen

Onder doorgaand gewapende betonverhardingen worden wegverhardingen verstaan waarbij een laag gewapend beton zonder kunstmatig aangebrachte dwarsvoegen de belangrijkste bijdrage levert aan het draagvermogen. De wapening is een krimpwapening die dient ter beheersing van het scheurpatroon (scheurwijdte en scheurafstanden).

Voor Verzorgingsplaatsen mag onder "een laag gewapend beton" ook worden verstaan een laag vezelversterkt beton. Hiervoor zijn aanvullende specificaties opgenomen in Bijlage B.3 Addendum parkeervoorzieningen in vezelversterkt beton.

3.2 Ontwerplevensduur

De ontwerplevensduur is voor betonverhardingen gedefinieerd als de periode in jaren tot het moment waarop vermoeiingsscheuren in de betonlaag kunnen ontstaan. De aan te houden waarde volgt uit de eisen gesteld in de Vraagspecificatie (zie par.4.1.1).

3.3 Vermoeiingsscheuren

Vermoeiingsscheuren zijn scheuren in de betonlaag als gevolg van het overschrijden van de vermoeiingssterkte van het beton door de herhaalde belasting door zwaar verkeer.

De fijne kripscheuren die in de gewenste situatie optreden in de doorgaand gewapende betonlaag worden niet gezien als structurele schade. Deze scheuren worden beschouwd als een gegeven waar

de verharding zelfs op wordt gedimensioneerd. Indien het scheurpatroon niet optimaal is, kunnen deze krimp-scheuren echter wel een aantal ongewenste schadeverschijnselen veroorzaken. Hierbij kan gedacht worden aan wijde reflectiescheuren met afbrokkelende randen in de geluidsreducerende deklaag boven wijde dwarsscheuren in de betonverharding, aantasting van de wapening door chloride-indringing door dergelijke scheuren, en punchouts in de betonverharding ter plaatse van clusters van dwarsscheuren.

4 Bepalen ontwerpbelasting

De ontwerpbelasting voor doorgaand gewapende betonverhardingen wordt in VENCON2.0 [1] berekend op basis van:

- het aantal vrachtwagenassen gedurende de voor het ontwerp van betonverhardingen aan te houden ontwerplevensduur t (zie par.4.1.1);
- een aslastspectrum dat de procentuele verdeling beschrijft van de verwachte aslasten van de vrachtwagenassen over een aantal aslastklassen;
- een bandspectrum dat de procentuele indeling beschrijft van de vrachtwagenbanden binnen een aslastklasse naar vier onderscheiden bandtypen (enkellucht, dubbellucht, breedband, super breedband). In VENCON2.0 wordt voor elke aslastklasse uitgegaan van hetzelfde bandspectrum.

De ontwerpbelasting wordt bij de dimensionering nog verdeeld over de aanwezige stroken; tevens wordt rekening gehouden met de mate van sporend verkeer binnen een strook en de mate van randbelasting (zie Figuur 4.1). Op deze factoren en de daarvoor aan te houden waarden wordt in par.6.2.1.3 nader ingegaan.

Vencon 2.0 / Versie 01-dec-2004, werkniveau: expert

Bestand Tabellen Instellingen Info Help

Projectgegevens Weg layout Onderbouw **Belastingen**

Verkeer

Ontwerp levensduur: 40 jaar

Aantal gebruiksdagen per jaar: 270

Gem. etm. intensiteit doorsnede: 8500 mvt

Verkeer op één rijbaan: 100 %

Zwaar verkeer vlg. spectrum: 100 %

Aantal assen zwaar voertuig: 3.5 st.

Verkeersgroei per jaar: 3.5 %

Aantal zware voertuigen/rijbaan: 8500 st/etm

Verdeling verkeer over de rijstroken

	Verkeer %	Sporend verkeer %
Betonstrook 1	0	50
Betonstrook 2	100	50
Betonstrook 3	0	50

Verkeer op de langsvoeg(en)

Zijrand rechts	1 %
Strook 1/2	5 %
Strook 2/3	5 %
Zijrand links	1 %

Temperatuurspectrum

VENCON 2

	Grad.klasse (°C/mm)	DTgem	Perc.
1	0,000 - 0,005	0,0025	59,0
2	0,005 - 0,015	0,010	22,0
3	0,015 - 0,025	0,020	7,5
4	0,025 - 0,035	0,030	5,5
5	0,035 - 0,045	0,040	4,5
6	0,045 - 0,055	0,050	1,0
7	0,055 - 0,065	0,060	0,5
8			
9			
10			

Aslastspectrum

AUTOSNELWEG ZWAAR BELAST

	Aslastklasse [kN]	Fgem	Perc.
4	80-100	90	12,54
5	100-120	110	6,51
6	120-140	130	2,71
7	140-160	150	1,00
8	160-180	170	0,31
9	180-200	190	0,12
10	200-220	210	0,03
11			
12			
13			

Bandspectrum

VENCON2

	Code	Omschrijving	Perc.
1	BB	Breedband	23,0
2	DL	Dubbel lucht	38,0
3	EL	Enkel lucht	39,0
4	SB	Super breedband	0,0
5			

Bereken Help bij tab Herstel tab

Figuur 4.1 Invoeren van verkeersgegevens in Vencon2

4.1 Karakteristiek aantal vrachtwagenassen gedurende de ontwerplevensduur

Voor werken van Rijkswaterstaat moet worden ontworpen op een karakteristiek aantal vrachtwagenassen over de voor het ontwerp van betonverhardingen aan te houden ontwerplevensduur t (zie par.4.1.1), waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid in de verkeersgegevens. Dit karakteristiek aantal assen wordt berekend uit:

$$n_{kar,totaal} = t \cdot W \cdot F_{herkomst} \cdot I_d \cdot F_b \cdot F_{zv} \cdot a_{vw} \cdot G \quad (4.1)$$

waarin:

$n_{kar,totaal}$	=	karakteristiek aantal vrachtwagenassen met aslast groter dan 20 kN op de rijbaan gedurende de ontwerplevensduur (st)
t	=	de voor het ontwerp van betonverhardingen aan te houden ontwerplevensduur (zie par.4.1.1) (jaar)
W	=	aantal werkdagen per jaar (in VENCON2.0 genoemd het aantal gebruiksdagen per jaar) (dag)
$F_{herkomst}$	=	onzekerheidsfactor afhankelijk van de herkomst van de verkeersgegevens (-)
I_d	=	gemiddelde etmaalintensiteit motorvoertuigen per doorsnede
F_b	=	aandeel verkeer op de te ontwerpen rijbaan (%)
F_{zv}	=	aandeel zwaar verkeer (aandeel voertuigen met aslasten vanaf 20 kN) (%)
a_{vw}	=	gemiddeld aantal assen zwaarder dan 20 kN per zwaar voertuig (st)
G	=	groeifactor, door VENCON 2.0 berekend uit de verkeersgroei per jaar (-)

Deze gegevens kunnen worden ingevoerd in het tabblad Belastingen van VENCON2.0 (zie Figuur 4.1), met uitzondering van de onzekerheidsfactor $F_{herkomst}$ (zie par.4.1.3) waar dit tabblad geen invoerveld voor bevat. Om deze reden moet in genoemd tabblad in het veld voor de gemiddelde etmaalintensiteit per doorsnede, de karakteristieke etmaalintensiteit per doorsnede $F_{herkomst} \cdot I_d$ worden ingevoerd.

4.1.1 Ontwerplevensduur

Normaliter wordt voor de ontwerplevensduur van betonwegen een waarde van 40 jaar aangehouden, afwijkend van de voor asfaltverhardingen gangbare waarde van 20 jaar. De Vraagspecificatie kan echter andere ontwerplevensduren vereisen. Indien de Vraagspecificatie slechts een enkele waarde voor de ontwerplevensduur noemt moet er van uit worden gegaan dat deze geldt voor het ontwerp van asfaltverhardingen en moet deze voor het ontwerp van betonverhardingen met een factor 2 worden vermenigvuldigd.

Toelichting:

De ontwerpfilosofie voor asfaltverhardingen en doorgaand gewapende betonverhardingen is verschillend. Het ontwerp van een asfaltverhardingen richt zich er op dat na een (initiële) levensduur van normaliter 20 jaar een beperkte structurele achteruitgang zal zijn opgetreden. Daardoor kan de verharding worden versterkt voor een volgende levenscyclus. Een dergelijke versterking kan meerdere malen worden gerealiseerd waardoor de gebruiksduur tot het moment van reconstructie normaliter enkele malen langer is dan de initiële ontwerplevensduur van 20 jaar.

Bij een doorgaand gewapende betonverharding is een versterking niet realistisch. Aan het einde van de ontwerplevensduur zal de doorgaand gewapende betonverharding dermate veel structurele schade vertonen dat reconstructie noodzakelijk is. Vandaar dat het gebruikelijk is om voor doorgaand gewapende betonverharding uit te gaan van een veel langere ontwerplevensduur (veelal 40 jaar) dan voor asfaltverhardingen.

4.1.2 Aantal werkdagen per jaar

Voor het aantal werkdagen per jaar W wordt 270 aangehouden tenzij anders vermeld in de Vraagspecificatie.

4.1.3 Onzekerheidsfactor verkeersgegevens

De verkeersbelasting wordt, zoals beschreven in dit hoofdstuk, bepaald door een aantal parameters (vrachtwagenintensiteit, groei, gemiddeld aantal assen, verdeling over rijstroken, aslastspectrum, bandspectrum etc.) die allemaal een bepaalde mate van onzekerheid hebben, afhankelijk van de wijze waarop ze zijn bepaald. Zeker als de parameters overwegend geschat worden, kan de onzekerheid van de verkeersbelasting hoog zijn.

In VENCON2.0 dient in werken voor Rijkswaterstaat te worden gewerkt met karakteristieke ('veilige') waarden voor de verkeersbelasting. Het is echter omslachtig om per parameter de bijbehorende onzekerheid in rekening te brengen. In het geval van aslast- en bandspectra (zie par.4.2 en par.4.3) is deze onzekerheid bovendien lastig getalsmatig te beschrijven omdat dit geen enkelvoudige parameters zijn.

Om reden van eenvoud wordt de onzekerheid in de verkeersgegevens derhalve verdisconteerd in een enkelvoudige¹ onzekerheidsfactor F_{herkomst} waarmee de gemiddelde etmaalintensiteit over de doorsnede (zie par.4.1.4) moet worden vermenigvuldigd.

In Tabel 4.1 is deze factor gegeven afhankelijk van de herkomst van de gegevens. De aan te houden factor is de standaardkeuze RWS voor primaire wegen tenzij in de Vraagspecificatie anders vermeld.

Herkomst gegevens	Onzekerheidsfactor
Schatting	2,0
Telling op nabij wegvak	1,8
Standaardkeuze RWS primaire wegen	1,75
Telling met classificatie op nabij wegvak	1,7
Telling op wegvak	1,6
Telling met classificatie op wegvak	1,5
Aslastmeting op nabij wegvak	1,4
Aslastmeting op wegvak	1,2

Tabel 4.1 Onzekerheidsfactor verkeer (zie ook par.4.5)

4.1.4 Gemiddelde etmaalintensiteit, aandeel verkeer op de te ontwerpen rijbaan en aandeel zwaar verkeer

In de Vraagspecificatie van Rijkswaterstaat wordt normaliter het aantal vrachtwagens per werkdag per rijrichting V meegegeven. Hierin is het aandeel verkeer op de te ontwerpen rijbaan en het aandeel zwaar verkeer al verwerkt. In dat geval dienen uit oogpunt van uniformiteit F_b en F_{zv} in het tabblad Belastingen van VENCON 2.0 beide op 100% gesteld te worden en dient het aantal vrachtwagens per werkdag aangehouden te worden als gemiddelde etmaalintensiteit I_d . Zoals eerder gesteld dient de laatste te worden vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactor F_{herkomst} voor invoer in het tabblad Belastingen van VENCON 2.0.

¹ Deze factoren zijn voor asfaltverhardingen overigens wel gebaseerd op een variatieanalyse uitgaande van gebruikelijke onzekerheden in de afzonderlijke verkeersparameters. De in deze Specificaties Ontwerp Doorgaand Gewapende Betonverhardingen gehanteerde factoren zijn dezelfde als die in de Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen.

4.1.5 Gemiddeld aantal assen per vrachtwagen

Voor het gemiddeld aantal assen a_{vw} per vrachtwagen wordt 3,5 aangehouden tenzij anders vermeld in de Vraagspecificatie.

4.1.6 Groeifactor voor de verkeersbelasting

De groeifactor voor de verkeersbelasting G gedurende de ontwerplevensduur t wordt berekend volgens:

$$G = \frac{\left(1 + \frac{g}{100}\right)^t - 1}{\frac{g}{100} \cdot t} \text{ voor } g \neq 0, \text{ of } G = 1 \text{ voor } g = 0 \quad (4.2)$$

waarin

- G = groeifactor verkeer (-)
 g = jaarlijkse groei van het zware verkeer (in VENCON 2.0 genoemd de verkeersgroei per jaar) zoals aangegeven in de Vraagspecificatie; indien hier geen waarde is aangegeven dient ten minste 3,5% te worden aangehouden (%/jaar)
 t = ontwerplevensduur (jaren)

4.2 Aslastspectrum

De verwachte verdeling van de aslasten door het zware verkeer over een aantal onderscheiden aslastklassen wordt in VENCON2.0 beschreven aan de hand van een aslastspectrum. Tandem- en tridemassen worden verdisconteerd als 2 resp. 3 afzonderlijke assen.

In VENCON2.0 is een aantal standaard aslastspectra aanwezig. Deze zijn door de gebruiker niet te wijzigen. De gebruiker kan wel zelf aslastspectra toevoegen.

Tabel 4.2 geeft een aantal standaard aslastspectra die in gebruik zijn bij Rijkswaterstaat. Voor het ontwerp dient waar beschikbaar het in de Vraagspecificatie aangegeven aslastspectrum te worden aangehouden; indien geen spectrum is aangegeven dient het zware spectrum uit tabel 4.2 te worden aangehouden.

Aslastklasse (kN)	Licht	Middelzwaar	Zwaar
	Aandeel aslastklasse in spectrum (%)	Aandeel aslastklasse in spectrum (%)	Aandeel aslastklasse in spectrum (%)
20 – 40	27	23,3	15,6
40 – 60	32,5	30,7	27,1
60 – 80	19,5	21,1	28,1
80 – 100	11,9	12,6	14,6
100 – 120	6,6	8,16	8,75
120 – 140	1,95	3,19	4,6
140 – 160	0,45	0,79	1,04
160 – 180	0,08	0,11	0,13
180 – 200	0,02	0,05	0,08
200 - 220	0	0	0

Tabel 4.2 Enkele door RWS gehanteerde aslastspectra

4.3 Bandspectrum

VENCON2.0 werkt met een bandenspectrum, zijnde de procentuele verdeling van de vrachtwagenbanden over vier onderscheiden bandtypen (enkellucht, dubbellucht, breedband, super breedband). Hierbij wordt voor alle aslastklassen dezelfde verdeling gehanteerd.

Tabel 4.2 geeft als voorbeeld het standaardspectrum uit VENCON2.0. Het aan te houden bandspectrum is gelijk aan dit standaardspectrum tenzij in de Vraagspecificatie anders aangegeven.

Bandtype	Bandenspectrum (%)
Enkellucht (EL)	39
Dubbellucht (DL)	38
Breedband (BB)	23
Super breedband (SB)	0

Tabel 4.2 Bandenspectrum

4.4 Categorie vrachtauto-intensiteit

Sinds de invoering van de Standaard RAW Bepalingen 2010 [2] wordt gerekend met de volgende categorieën voor de vrachtauto-intensiteit (VA):

- A: 50 of minder vrachtauto's per etmaal per rijrichting
- B: 51 t/m 2500 vrachtauto's per etmaal per rijrichting
- C: meer dan 2500 vrachtauto's per etmaal per rijrichting
- IB: intensief belaste verhardingen (opstelstroken, kruispunten en dergelijke) met langzaam rijdend (< 15 km/h) en stilstaand zwaar verkeer en meer dan 250 vrachtauto's per etmaal per rijrichting.

Deze indeling wijkt af van de in de Standaard RAW Bepalingen 2005 [3] gehanteerde verkeersklassen welke waren gebaseerd op het aantal standaard aslasten per werkdag per rijrichting.

De categorie voor de vrachtauto-intensiteit is voor het ontwerp van betonwegen echter minder van belang. Voor open deklaagmengsels wordt niet met deze categorieën gewerkt. Voor de asfalt tussenlaag (zie par.5.2) wordt standaard asfaltbeton toegepast met eigenschappen OL-C volgens Standaard RAW Bepalingen 2020 [20].

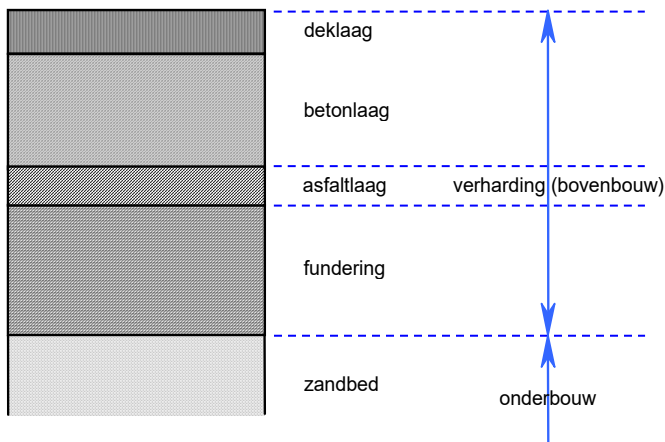
4.5 Afwijkingen tussen voorspelde en werkelijke verkeersbelasting

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat de onzekerheid van de verkeersbelasting in werken voor RWS moet worden verdisconteerd door toepassing van een onzekerheidsfactor (zie par.4.1.3).

Omdat RWS hiermee contractueel vastlegt dat in het ontwerp veiligheid tegen overschrijding van de verwachte verkeersbelastingen moet worden ingebouwd, draagt RWS het risico voor afwijkingen binnen de aangegeven onzekerheidsfactor over aan de opdrachtnemer. Slechts voor zover de verkeersbelasting meer afwijkt van de voorspellingen dan is afgedekt door genoemde onzekerheidsfactor kan opdrachtnemer zich daarop beroepen. Afwijkingen in het aslast- of bandenspectrum (zie par. 4.2 en 4.3) ten opzichte van de voorgeschreven spectra of andere afwijkingen ten opzichte van voorgeschreven verkeersgegevens kunnen daartoe eenvoudig worden terugvertaald naar een afwijking in het totaal aantal vrachtwagenassen door de voorgeschreven verkeersgegevens in de berekeningen te voeren en de vrachtwagenintensiteit zodanig te bepalen dat dezelfde ontwerpdikte wordt berekend als met het de afwijkende verkeersgegevens.

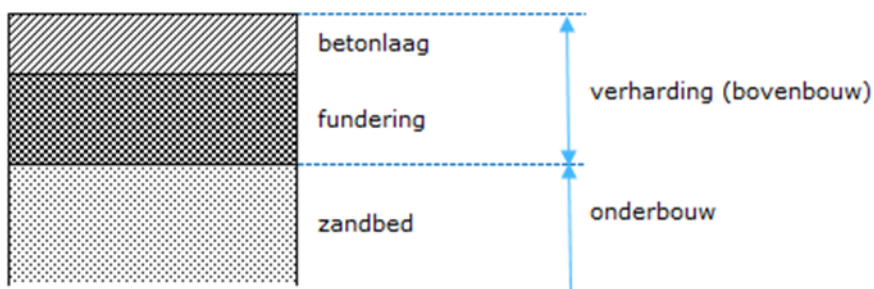
5 Ontwerp verharding

Een doorgaand gewapende betonverharding voor Rijkswegen bestaat uit een geluidreducerende deklaag, een doorgaand gewapende betonlaag, een asfalt tussenlaag en een fundering (zie Figuur 5.1). Deze verharding wordt gedragen door de onderbouw² van de weg (zie par.6.1.2).



Figuur 5.1 Opbouw van een doorgaand gewapende betonverharding

Op een Verzorgingsplaats bestaat een betonverharding uit een gewapende betonlaag (doorgaand of vezelversterkt) en een fundering (zie Figuur 5.2).



Figuur 5.2 Opbouw van een betonverharding op een Verzorgingsplaats

5.1 Fundering

5.1.1 Funderingsmaterialen

Voor de fundering kan een keuze gemaakt worden uit de in Tabel 5.1 opgenomen standaard materialen. Deze worden zonder meer geacht geschikt te zijn indien wordt voldaan aan de desbetreffende technische bepalingen in de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20].

² De onderbouw is gedefinieerd als 'het geheel van aardebaan inclusief verbeterde ondergrond en alle toegevoegde voorzieningen, voor zover deze dienen om binnen de gestelde eisen en randvoorwaarden te voorzien in een oplegvlak voor de verharding'

soort fundering	Materialen	Opmerking
Lichtgebonden ('zelfbindende') materialen	Menggranulaat	
	Hydraulisch menggranulaat	
	Betongranulaat	
	Fosforslakkenmengsel	
Cementgebonden materialen	Asfaltgranulaatcement type A1	Restricties t.a.v. toepassing
	Asfaltgranulaatemulsiecement	

Tabel 5.1 Standaard funderingsmaterialen

Zoals valt te zien in Tabel 5.1 worden van de gebonden funderingen bij Rijkswegen alleen asfaltgranulaatcement type A1 en asfaltgranulaatemulsiecement toegepast. Deze worden rekentechnisch behandeld als lichtgebonden materialen (zie par.6.1.3). Voor materialen, anders dan die genoemd in Tabel 5.1, geldt een validatietraject zoals omschreven in Verificatie Geschiktheid Wegenbouwmaterialen – en technieken (VGW) [21]. Funderingen van metselwerkgranulaat worden niet toegepast vanwege de verbrijzelingsgevoeligheid. Dit kan leiden tot verlies aan ondersteuning van de doorgaand gewapende betonlaag, met als gevolg versnelde structurele schade.

Funderingen van menggranulaat zijn niet uitgesloten. Bij toepassing hiervan moet wel rekening worden gehouden met de vrij sterke gevoeligheid voor regenval tijdens de uitvoering waardoor de fundering kan verweken en de uitvoering ernstige vertraging kan oplopen.

Er moet rekening mee worden gehouden dat de binding van met name de lichtgebonden funderingen meestal pas na enige tijd wordt bereikt; direct na aanleg is de stijfheid vaak nauwelijks hoger dan die van de ongebonden materialen. Tevens zijn deze materialen gevoelig voor overbelasting; deze kan vooral optreden in de bouwfase (werkverkeer of openstelling voor wegverkeer van een niet - afgebouwde verharding) en kan leiden tot schade aan de fundering en/of het niet op sterkte komen daarvan.

Voor funderingen van asfaltgranulaatcement geldt dat ze gevoelig zijn voor plaatwerking en scheurvorming. Om deze redenen mogen ze in geen geval worden toegepast op een zeer slappe ondergrond (hieronder wordt verstaan een ondergrond met een berekende eindzetting van meer dan 1 m onder een referentie ophoging met een gewicht van 16 kN/m²).

Voor een lagere belastingtoename is het verstandig om alsnog middels grondonderzoek (sonderingen, boringen, etc.) en daarop gebaseerde berekeningen een risico-inschatting te maken voor de ondergronddeformaties. Hierbij is naast de hoedanigheid van de ondergrond met name ook de geometrie van het weglichaam (breedte en dikte van de aan te brengen aardebaan, steilheid van taluds) van belang vanwege de invloed op de optredende deformaties. Een vast omlijnde rekenmethode met eenduidige toetscriteria is daarvoor echter niet beschikbaar.

Daarnaast moeten deze funderingen altijd worden ontspannen, tenzij ze worden voorzien van een scheurremmende tussenlaag (bijvoorbeeld een SAMI bestaande uit polymeergemodificeerde bitumen in een hoeveelheid van ten minste 3,0 kg/m² of een gelijkwaardige scheurremmende laag).

Een aantal van de in Tabel 5.1 genoemde lichtgebonden materialen wordt ook wel (in afwijking van de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20]) toegepast in de niet-standaard sortering 4/31,5 als draineerlaag in een wegconstructie met een kritische waterhuishouding. Deze materialen dienen dan als ongebonden steenachtig materiaal te worden beschouwd omdat de bindende componenten voornamelijk in de fijne fractie voorkomen. Er wordt dan de lagere stijfheidsmodulus van 150MPa aan toegekend.

5.1.2 Laagdikten en breedte standaard funderingsmaterialen

De laagdikten van de in Tabel 5.1 genoemde funderingen moeten aan de volgende voorwaarden voldoen:

- de ontwerplaagdikte is te allen tijde ten minste 200 mm;
- bij toepassing van een fundering van asfaltgranulaatcement, asfaltgranulaatemulsiement of fosforslakken is de ontwerplaagdikte niet groter dan 250 mm;
- genoemde laagdikten vertegenwoordigen de karakteristieke laagdikte (85% betrouwbare ondergrenswaarde voor de gemiddelde laagdikte) in het werk.

Bedacht moet worden dat de rupsen van de slipformpaver buiten de door die machine aan te leggen betonlaag lopen. Dit betekent dat de onderbouw plus de fundering plus de asfalt tussenlaag voldoende breed moeten zijn om de slipformpaver adequaat te ondersteunen.

5.2 Asfalt tussenlaag

5.2.1 Functies

De asfalt tussenlaag tussen de fundering en de doorgaand gewapende betonlaag heeft verschillende functies:

- de asfaltlaag is erosiebestendig waardoor het risico op het ontstaan van holten onder de betonlaag, die tot versnelde structurele schade kunnen leiden, sterk wordt gereduceerd;
- doordat de asfaltlaag nauwkeuriger kan worden aangelegd dan een fundering, kan de wapening van de betonlaag nauwkeuriger worden aangebracht en blijft de variatie van de dikte van de betonlaag (en daarmee de variatie van het wapeningspercentage) beperkt;
- de wrijving tussen de asfaltlaag en de betonlaag is vrij hoog en uniform, hetgeen gunstig is voor de ontwikkeling van een regelmatig scheurenpatroon in de gewapende betonlaag;
- in het geval van een gebonden fundering vermindert de asfaltlaag het risico van reflectiescheuren vanuit de fundering in de betonlaag.

5.2.2 Vereiste eigenschappen en dikte

Uit de in par. 5.2.1 vermelde functies volgt dat in de asfalt tussenlaag een dicht en stabiel asfaltmengsel moet worden toegepast. De dikte van de asfalt tussenlaag is gemiddeld ten minste 60 mm.

De asfalt tussenlaag moet voldoen aan de functionele eisen conform categorie OL-C zoals vermeld in de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20].

5.3 Doorgaand gewapende betonlaag

De samenstelling en vervaardiging van het beton voor de doorgaand gewapende betonverharding dient te voldoen aan de eisen zoals gesteld in NEN-EN 206-1 [12].

5.3.1 Milieuklasse

Voor de doorgaand gewapende betonverharding gelden de milieuklassen XC4, XD3 en XF4 volgens NEN-EN 206-1 [12].

5.3.2 Beton

Omdat schades aan de doorgaand gewapende betonlaag verborgen zijn onder de deklaag, daardoor niet binnen de garantieperiode aan het licht zullen komen en bovendien nauwelijks te herstellen zijn, worden enkele aspecten voorgeschreven die van belang zijn voor de constructieve duurzaamheid.

De sterkteklasse van het beton dient C25/30, C30/37, C35/45 of C45/55 te zijn.

Bij het toepassen van vezelversterkt beton op een Verzorgingsplaats, dient de sterkteklasse C35/45 te zijn.

Als cementsoort dient te worden toegepast:

- de kwaliteit CEM II/B-V of;
- de kwaliteit CEM III/A (hoogovencement).

Tot op heden is in Nederland met name CEM II/B-V toegepast vanwege de goede bestendigheid tegen alkali-silica reactie, vorst en dooizout. Echter, in Duitsland en België (landen met een veel groter aandeel betonwegen dan in Nederland) wordt meer en meer CEM III/A toegepast. Bijvoorbeeld in België is zowel bij de reconstructie in 2011 van de E17 tussen Gent en Kortrijk nabij De Pinte en bij de reconstructie in 2012 van de E313 tussen Antwerpen en Luik nabij Herentals cement CEM III/A 42,5 N-LA toegepast. Uit een literatuurstudie van TNO [4] blijkt dat deze cementsoort toegepast kan worden, waarbij dan wel een luchtbelvormer aan het betonmengsel toegevoegd moet worden zodat een luchtgehalte van ten minste 4% in de verse beton wordt gerealiseerd, en bijzondere aandacht aan de nabehandeling besteed moet worden. Deze nabehandeling bestaat uit het afdekken van het vers gestorte beton of uit het opspuiten van een curing compound die geen nadelige invloed mag hebben op de (hechting van de) kleeftlaag die op de doorgaand gewapende betonlaag moet worden aangebracht voorafgaande aan het aanbrengen van de geluidreducerende deklaag. Curing compounds op basis van olie-producten zijn niet toegestaan.

5.3.3 Langswapening

Als staalsoort voor wapening en koppelstaven dient FeB 500 te worden toegepast.

De betondekking op de langswapening moet 80 mm bedragen, met een toegestane afwijking van maximaal 10 mm. Deze excentrische ligging van de langswapening heeft als voordeel dat de breedte van de dwarsscheuren aan de bovenzijde van de betonlaag beperkt wordt waardoor het risico op reflectiescheuren door de geluidreducerende deklaag kleiner wordt.

Toelichting:

Tot op heden is in Nederland veelal een centrische ligging van de langswapening toegepast. In België is een excentrische ligging gebruikelijk: bij de eerdergenoemde reconstructie van de E17 nabij De Pinte ligt het hart van de langswapening 80 mm beneden de bovenkant van de betonlaag (excentriciteit 45 mm gegeven de dikte van de betonlaag van 250 mm) en bij de reconstructie van de E313 ligt het hart van de langswapening 95 mm onder de bovenkant van de betonlaag (excentriciteit 30 mm bij wederom een betondikte van 250 mm), die hier als een 2-lagen systeem 'nat-in-nat' is aangebracht: 200 mm onderlaag en 50 mm fijner gegradeerde bovenlaag. In België wordt op de doorgaand gewapende betonlaag meestal geen geluidreducerende deklaag aangebracht, in plaats daarvan wordt het betonoppervlak uitgewassen. Hiermee wordt echter een aanzienlijk lagere geluidreductie bereikt [16].

In Nederland, en ook in België, worden voor de verschillende sterkteklassen van het beton de in Tabel 5.2 vermelde wapeningspercentages ω aangehouden om het beste resultaat m.b.t. het scheurpatroon te verkrijgen. Deze wapeningspercentages kunnen hoger zijn dan de waarden die verkregen worden met VENCON2.0.

Sterkteklasse beton	Wapeningspercentage ω_l
C25/30	0,70%
C30/37	0,70%
C35/45	0,70%
C45/55	0,75%

Tabel 5.2 Standaard wapeningspercentages

De kenmiddellijn $\phi_{k;l}$ van de geribbelde langwapeningstaven dient 16 mm of 20 mm te zijn. De staafafstand $b_{s;l}$ van de langwapening is dan gelijk aan:

$$b_{s;l} = \frac{\pi \phi_{k;l}^2}{4 H_{c;d} \omega_l} * 100 \quad (5.1)$$

waarbij:

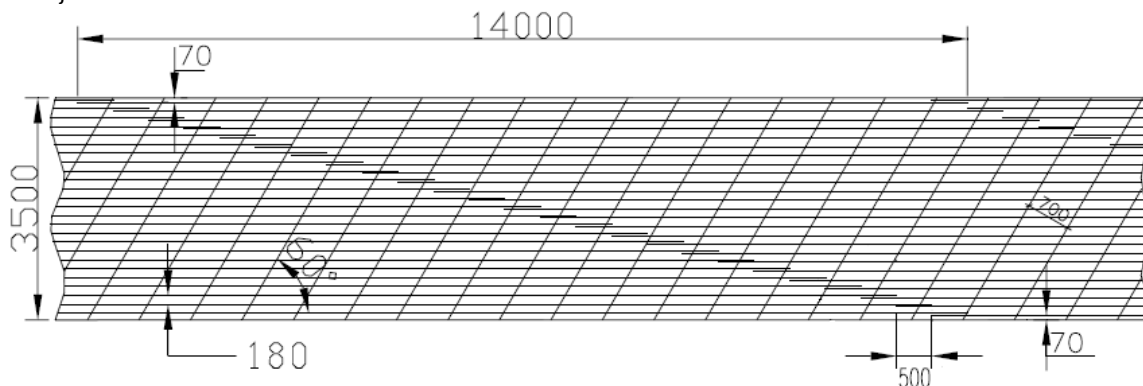
- $b_{s;l}$ = staafafstand van de langwapening (mm)
- $\phi_{k;l}$ = kenmiddellijn van de wapeningsstaven (mm)
- $H_{c;d}$ = bestekdikte van de betonlaag volgens VENCON2.0 (mm)
- ω_l = percentage langwapening (%)

Opeenvolgende langwapeningsstaven moeten door een overlappingslas aan elkaar gekoppeld zijn. De laslengte dient te voldoen aan het volgende [14]:

- beton sterkteklasse C25/30: $30 * \phi_{k;l}$
- beton sterkteklasse C30/37: $27 * \phi_{k;l}$
- beton sterkteklasse C35/45: $25 * \phi_{k;l}$
- beton sterkteklasse C45/55: $22 * \phi_{k;l}$

Een concentratie van overlappingslassen in één doorsnede dient te worden vermeden omdat dit leidt tot een te hoog wapeningspercentage in die doorsnede. Het aantal overlappingslassen in enige dwarsdoorsnede over een rijbaan dient daarom ten hoogste gelijk te zijn aan 5.

Figuur 5.2 geeft een voorbeeld van de layout van de langs- en dwarswapening. De langwapeningsstaven liggen in dit geval op een hart-op-hart afstand van 0,18 m en de buitenste staven liggen 0,07 m van de rand van de betonlaag. De overlapping van de langwapeningsstaven is 0,5 m. De dwarswapening, hart-op-hart afstand 0,7 m, maakt een hoek van 60° met de langsas van de rijbaan.



Figuur 5.2 Voorbeeld van wapeningstekening voor een doorgaand gewapende betonverharding (maten in mm)



Figuur 5.3 Gestelde wapening op de E17 bij De Pinte

Figuur 5.3 toont de wapening, gesteld op de asfalt tussenlaag, van de doorgaand gewapende betonverharding op de E17 nabij De Pinte (ten zuiden van Gent) in België, aangelegd in augustus 2011.

5.3.4 Dwarswapening

Voor een adequate ondersteuning van de langswapening dient de verhouding tussen het percentage dwarswapening ω_d en het percentage langswapening ω_l te liggen tussen 0,083 en 0,103.

De hoek tussen de dwarswapening en de langsas van de rijbaan dient 60° te bedragen.

5.3.5 Verbindingen

De verbindingen moeten zo zijn uitgevoerd dat vóór en gedurende het storten, spreiden en verdichten van de betonspecie de wapening op haar plaats blijft. Dit betreft de verbinding van twee opeenvolgende staven van de langswapening t.p.v. de overlappingsen, de verbinding van de langswapening aan de dwarswapening, en de verbinding (verankering) van de wapeningsstoelen van de dwarswapening aan de onderliggende asfalt tussenlaag.

Bijlage 1 geeft de desbetreffende besteksbepalingen die hiervoor in België worden gehanteerd [17]. Bij aanhouden van deze bepalingen wordt er van uit gegaan dat de ondersteuning en fixatie van de wapening afdoende is. Voor alternatieve oplossingen moet worden aangetoond dat deze resulteren in ten minste eenzelfde mate van ondersteuning en fixatie van de wapening.

5.4 Kleeflaag

Alvorens de geluidreducerende deklaag wordt aangebracht moet op de gewapende betonlaag een dubbele afgezande kleeflaag worden aangebracht, in een hoeveelheid van 2 maal 0,2 kg bitumenemulsie per m². Deze kleeflaag dient om de hechting van de deklaag aan de betonlaag te bevorderen en om de betonlaag te beschermen tegen de indringing van water, maar vooral tegen de indringing van dooizouten. Het zand dient om mogelijk glijden van de geluidreducerende deklaag tegen te gaan.

Het aanbrengen van de kleeflaag dient te geschieden in overeenstemming met artikel 81.22.02 van de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20].

5.5 Geluidreducerende deklaag

Veelal zal 1- of 2-laags ZOAB worden toegepast als geluidreducerende deklaag, zeker op Rijkswegen. Voor de functies van en de eisen aan de 1- of 2-laags ZOAB-deklaag wordt verwezen naar de in het contract vermelde versie van de Verificatie Geschiktheid Wegenbouwmaterialen – en technieken [21]

Ook zogenaamde dunne deklagen (fijn gegradeerde asfaltmengsels, laagdikte 20 à 30 mm) kunnen in aanmerking komen als geluidreducerende deklaag, en dan vooral op Provinciale wegen.

Water moet vrijelijk zijdelings kunnen uitstromen uit een open deklaag.

6 Dimensionering verharding

Voor de dimensionering van doorgaand gewapende betonverhardingen is de voorgeschreven verificatiemethode het programma VENCON2.0. De werking en achtergrond is in de bijbehorende handleiding beschreven [1]. In [9] is ook een beschrijving van VENCON2.0 op hoofdlijnen opgenomen.

6.1 Schematisering constructie

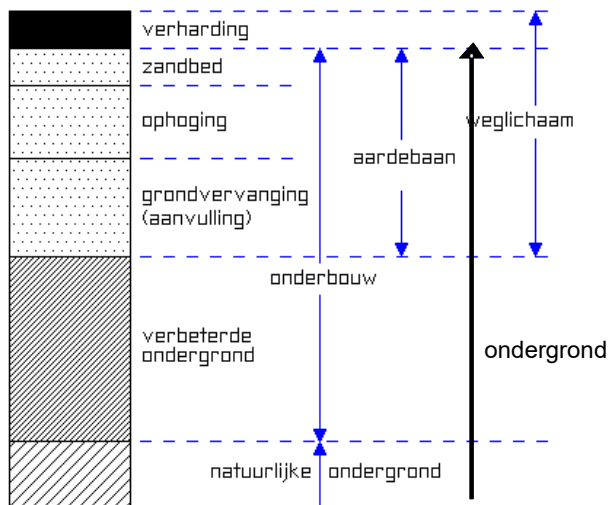
6.1.1 Schematisering tot enkele plaat op veren

De constructie van een doorgaand gewapende betonverharding wordt geschematiseerd tot één enkele lineair-elastische betonplaat, die wordt ondersteund door lineair-elastische, niet gekoppelde verticale veren met stijfheid k (het beddinggetal). Het beddinggetal k geeft weer de equivalente stijfheid van alle lagen tezamen onder de betonlaag. Bij de dimensionering wordt rekening gehouden met lastoverdracht langs de randen van de enkele betonplaat, dus ter plaatse van de dwarsscheuren, de eventueel aanwezige langsvoeugen en de rand van de verharding. Bij de dimensionering wordt geen rekening gehouden met de (twee-laags) ZOAB deklaag.

6.1.2 Ondergrond

De ondergrond van een weg bestaat (zie Figuur 6.1) uit de natuurlijke ondergrond en de onderbouw. De onderbouw kan weer bestaan uit een verbeterde ondergrond, een aanvulling, een ophoging en een zandbed. De onderbouw van de weg moet voldoen aan de in het contract vermelde versie van de Eisen Onderbouw.

In VENCON2.0 wordt geen ontwerpcriterium voor vervorming van de ondergrond gehanteerd.



Figuur 6.1 Ondergrond

Aanleg van doorgaand gewapende betonverhardingen op een klei- of veenondergrond komt zelden voor. Dit heeft niet zozeer te maken met de geringe elasticiteitsmodulus van deze natuurlijke ondergronden (het effect daarvan op de vereiste dikte van de doorgaand gewapende betonverharding is zeer beperkt), maar vooral met de zetting van die ondergrondlagen. Tenzij de ondergrond en daarmee de zettingen zeer homogeen zijn treden zettingsverschillen op wat resulteert in onvlakheid (vooral langsonvlakheid) en/of lokaal verlies aan ondersteuning van de betonlaag, wat kan leiden tot versnelde structurele schade.

6.1.3 Fundering

Voor de standaard funderingsmaterialen dienen in het ontwerp ten hoogste de in Tabel 6.1 genoemde stijfheidsmoduli te worden aangehouden. Genoemde waarden zijn conservatieve waarden die voor gebruik in het ontwerp worden beschouwd als karakteristieke waarden (85% betrouwbare ondergrenswaarden voor de gemiddelde stijfheid in de constructie).

De in Tabel 6.1 gegeven karakteristieke waarden zijn bij een zorgvuldige uitvoering eenvoudig te realiseren maar kunnen bij afwijkingen in de uitvoering alsnog onderschreden worden.

Type fundering	Materialen	Karakteristieke stijfheidsmodulus voor de gebruiksfase
Lichtgebonden ('zelfbindende') materialen	Menggranulaat	400 MPa
	Hydraulisch menggranulaat	600 MPa
	Betongranulaat	600 MPa
	Fosforlakkenmengsel	1000 MPa
Cementgebonden materialen	Asfaltgranulaatcement type A1	1200 MPa
	Asfaltgranulaatemulsiecement	1200 MPa

Tabel 6.1 Standaard funderingsmaterialen

De in Tabel 6.1 weergegeven stijfheidsmoduli mogen worden toegepast voor laagdikten tot 300 mm (indien toegestaan op grond van het gestelde in par. 5.1.2). Bij laagdikten groter dan 300 mm mag alleen voor de bovenste 300 mm worden gerekend met de in Tabel 6.1 genoemde stijfheidsmoduli en dient voor het overige een stijfheidsmodulus van ten hoogste 150 MPa aangehouden te worden.

Er moet rekening mee worden gehouden dat de hogere stijfheid van lichtgebonden en gebonden funderingen meestal pas na enige tijd wordt bereikt; direct na aanleg is de stijfheid voor met name de lichtgebonden funderingen vaak nauwelijks hoger dan die van ongebonden materialen (150 MPa).

Met een verbetering van de stijfheid door funderingswapening wordt in werken voor Rijkswaterstaat niet gerekend.

Voor de laagdikte van de fundering geldt het gestelde in par.5.1.2.

De opwaardering van het beddinggetal door de fundering is afhankelijk van de dikte en de karakteristieke stijfheidsmodulus van de laag.

6.1.4 Asfalt tussenlaag

Een asfaltlaag, en dus ook de asfalt tussenlaag tussen de fundering en de doorgaand gewapende betonlaag, wordt in principe beschreven door de stijfheidsmodulus, de dwarscontractiecoëfficiënt, de vermoeiingsweerstand en weerstand tegen blijvende vervorming. In het kader van de dimensionering van een doorgaand gewapende betonverharding met het programma VENCON2.0 is alleen de stijfheidsmodulus van belang.

De stijfheidsmodulus van asfaltbeton is afhankelijk van temperatuur en belastingsfrequentie (zie Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen [19]. Gezien de diepte waarin de asfalt tussenlaag wordt toegepast wordt aangenomen dat de maatgevende asfalttemperatuur ca. 15°C bedraagt, en vanwege de relatief hoge stijfheid van de verharding wordt er van uitgegaan dat de maatgevende belastingfrequentie ca. 5 Hz bedraagt.

Met de in de Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen [19] gegeven methodiek is af te leiden dat dit laatste betekent dat de fictieve temperatuur 16,5°C bedraagt, waarbij de minimale stijfheidsmodulus voor het toe te passen OL-C mengsel ca. 8600 MPa bedraagt. Deze waarde dient te worden aangehouden in de dimensionering met VENCON2.0.

6.1.5 Beddinggetal

De draagkracht van alle lagen onder de betonlaag (dus de onderbouw plus de fundering, plus de asfalt tussenlaag) wordt uitgedrukt in het zogenaamde beddinggetal k . Dit beddinggetal is een maat voor de ondersteuning van de doorgaand gewapende betonlaag.

In VENCON 2.0 wordt het beddinggetal k berekend uitgaande van het beddinggetal k_o van de natuurlijke ondergrond. In Tabel 6.2 worden richtwaarden voor het beddinggetal k_o voor de verschillende natuurlijke ondergronden in Nederland gegeven. Reeds eerder is opgemerkt dat doorgaand gewapende betonverhardingen eigenlijk alleen maar worden aangelegd op een zettingsvrije natuurlijke ondergrond, dus op een zand- of grind-zand ondergrond.

Natuurlijke ondergrond	Conusweerstand q_c (N/mm ²)	CBR-waarde (%)	Dynamische elasticiteitsmodulus E_o (N/mm ²)	Beddinggetal k_o (N/mm ³)
Veen	0,1 – 0,3	1 - 2	25	0,016
Klei	0,2 – 2,5	3 - 8	40	0,023
Leem	1,0 – 3,0	5 - 10	75	0,036
Zand	3,0 – 25,0	8 - 18	100	0,045
Grind-zand	10,0 – 30,0	15 - 40	150	0,061

Tabel 6.2 Richtwaarden voor het beddinggetal k_o van natuurlijke ondergronden in Nederland

Om het beddinggetal k aan de bovenzijde van de asfaltlaag, c.q. aan de onderzijde van de doorgaand gewapende betonlaag, te krijgen moet formule 6.1 worden toegepast voor elke laag, eerst het zandbed, dan de fundering en tenslotte de asfalt tussenlaag.

$$k = 2,7145 \cdot 10^{-4} \cdot (C_1 + C_2 \cdot e^{C_3} + C_4 e^{C_5}) \quad (6.1)$$

waarin:

$$C_1 = 30 + 3360 \cdot k_o$$

$$C_2 = 0,3778 \cdot (h_f - 43,2)$$

$$C_3 = 0,5654 \cdot \ln(k_o) + 0,4139 \cdot \ln(E_f)$$

$$C_4 = -283$$

$$C_5 = 0,5654 \cdot \ln(k_o)$$

$$k_o = \text{beddinggetal aan de bovenzijde van de onderliggende laag (N/mm}^3\text{)}$$

$$h_f = \text{dikte van de beschouwde laag (mm)}$$

$$E_f = \text{dynamische elasticiteitsmodulus van de beschouwde laag (N/mm}^2\text{)}$$

$$k = \text{beddinggetal aan de bovenzijde van de beschouwde laag (N/mm}^3\text{)}$$

De randvoorwaarden van formule 6.1 zijn:

- $h_f \geq 150$ mm (gebonden materiaal) en $h_f \geq 200$ mm (ongebonden materiaal)
- elke laag heeft een E_f -waarde (dynamische elasticiteitsmodulus) die groter is dan de E_f -waarde van de onderliggende laag
- $\log k \leq 0,73688 \cdot \log(E_f) - 2,82055$
- $k \leq 0,16$ N/mm³

Het beddinggetal k is dus afhankelijk van de dikte h_f en dynamische elasticiteitsmodulus E_f van de opeenvolgende constructielagen. Het programma VENCON2.0 berekent het beddinggetal k volgens formule 6.1 op basis van de ingevoerde h_f - en E_f -waarden. De waarde van het beddinggetal kan maximaal $0,16 \text{ N/mm}^3$ zijn.

6.1.6 Doorgaand gewapende betonlaag

De doorgaand gewapende betonlaag dient gedimensioneerd te worden met VENCON2.0. Voor de relevante mechanische eigenschappen van beton, met name de elasticiteitsmodulus en de (vermoeiings)sterkte, wordt verwezen naar Bijlage 2.

6.1.7 Geluidreducerende deklaag

De geluidreducerende deklaag blijft volledig buiten beschouwing bij de dimensionering van de doorgaand gewapende betonverharding. Er wordt dus van uitgegaan dat de deklaag geen bijdrage levert aan de sterkte van de verharding en uitsluitend dient ter verbetering van de functionele eigenschappen van het wegooppervlak, vooral het verminderen van het verkeerslawaaï en het verminderen van het opspatten van regenwater.

6.2 Dimensionering

De dimensionering van de doorgaand gewapende betonverharding in VENCON2.0 bestaat feitelijk uit 2 stappen:

- bepaling van de vereiste dikte van de betonlaag (door middel van een iteratief berekeningsproces), waarbij de verharding wordt beschouwd als een ongewapende betonverharding. De ontwerpcriteria zijn de vermoeiingsschade van het beton ten gevolge van de combinatie van verkeerslasten en temperatuurgradiënten, en het vermogen om incidenteel extreme verkeerslasten te kunnen opnemen.
- bepaling van de vereiste langswapening.

6.2.1 Betondikte

De berekening van de vereiste betondikte geschiedt op basis van een vermoeiingsanalyse voor potentieel kritieke locaties van de betonplaat, met name de rand van de verharding, bij de langsvoeg (indien aanwezig) en in het hart van het rijspoor bij een dwarsseur. Er wordt rekening gehouden met de krachtsoverdracht ('voegeffectiviteit' W) t.p.v. de rand, voeg of seur. Ook het versporend rijden van het vrachtverkeer wordt meegenomen in de analyse. In de vermoeiingsanalyse worden de verkeerslast-spanningen en de temperatuurgradiënt-spanningen gecombineerd.

De vereiste betondikte wordt uiteindelijk bepaald door die locatie van de betonplaat waar de vermoeiingsschade het grootste is.

De berekening van de vereiste betondikte is een iteratieve berekening.

6.2.1.1 Verkeerslast-spanningen

De optredende buigtrekspanning ten gevolge van een wiellast P (de helft van de aslast) aan de onderzijde van een betonplaat bij een vrije rand, een langsvoeg en een dwarsseur wordt berekend met de volgende Westergaard-formule voor randbelasting:

$$\sigma_p = \frac{3 \cdot (1 + \nu) \cdot P_{\text{reken}}}{\pi \cdot (3 + \nu) \cdot h^2} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{E_c \cdot h^3}{100 \cdot k \cdot a^4} \right) + 1,84 - \frac{4}{3} \cdot \nu + \frac{1 - \nu}{2} + 1,18 \cdot (1 + 2 \cdot \nu) \cdot \frac{a}{l} \right\} \quad (6.2)$$

waarin:

- σ_P = buigtrekspanning (N/mm²)
 P_{reken} = reken-wiellast (N), rekening houdend met lastoverdracht (formule 6.3)
 a = equivalente straal (mm) van het cirkelvormig contactoppervlak (formule 6.4)
 E_c = elasticiteitsmodulus (N/mm²) van het beton (formule B2.3 en tabel B2.1 in Bijlage 2)
 ν = dwarscontractiecoëfficiënt van het beton (tabel B2.1 in Bijlage 2)
 h = dikte (mm) van de betonlaag
 k = beddinggetal (N/mm³) aan de onderzijde van de betonlaag (formule 6.1)
 l = $\sqrt[4]{\frac{E_c \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}}$ = relatieve stijfheidsstraal (mm) van de betonlaag

De lastoverdracht ('voegeffectiviteit') W bij de rand/voeg/scheur wordt in rekening gebracht door middel van een reductie van de werkelijke wiellast P (de gemiddelde wiellast per aslastklasse, zie Tabel 4.2) tot de reken-wiellast P_{reken} (die in formule 6.2 gebruikt moet worden):

$$P_{\text{reken}} = (1 - 0,5 W / 100) P = \left(1 - \frac{W}{200}\right) P \quad (6.3)$$

In VENCON2.0 worden voor doorgaand gewapende betonverhardingen met een asfalt tussenlaag de volgende waarden voor de lastoverdracht W gebruikt:

- vrije rand: $W = 35\%$
- langsvoeg: $W = 50\%$ bij niet-geprofileerde constructievoegen met dwarswapening
 $W = 35\%$ bij krimpvoegen zonder dwarswapening
 $W = 70\%$ bij krimpvoegen met dwarswapening
- dwarsscheur: $W = 90\%$

In Tabel 6.3 is voor de verschillende waarden van de lastoverdracht W vermeld welk percentage van de wiellast P moet worden opgenomen door de zwaarst belaste betonplaat.

Lastoverdracht W (%)	Percentage van wiellast P op zwaarst belaste plaat (%)
35	82,5
50	75
70	65
90	55

Tabel 6.3 Percentage van wiellast P op zwaarst belaste betonplaat als functie van de lastoverdracht W

Voor parkeervoorzieningen in vezelversterkt beton dient voor de situatie "vrije plaatrand" te worden uitgegaan van 100% van de wiellast op de rand van de betonlaag.

Het contactvlak tussen een wiel en het wegoppervlak benadert in werkelijkheid een rechthoek. De Westergaard-formule (formule 6.42) geldt echter voor een cirkelvormig contactvlak.

De equivalente straal van het cirkelvormig contactvlak wordt voor de verschillende bandtypen berekend met de volgende formule:

$$a = b \sqrt{(0.0028 \cdot P + 51)} \quad (6.4)$$

waarin:

- a = straal van cirkelvormig contactvlak (mm)
 P = wiellast (N)
 b = parameter (mm) afhankelijk van het type band (Tabel 6.4)

Type band	Breedte rechthoekig(e) contactvlak(ken) (mm)	Parameter b (mm)
Enkellucht (EL)	200	9,2
Dubbellucht (DL)*	200-100-200	12,4
Breedband (BB)	300	8,7
Super breedband SB)	400	9,1

* de 3 getallen geven weer: breedte ene band, ruimte tussen de 2 banden, breedte andere band

Tabel 6.4 Waarde van parameter b voor de verschillende bandtypen

6.2.1.2 Temperatuurgradiënt-spanningen

In VENCON2.0 worden de optredende buigtrekspanningen aan de onderzijde van de betonplaat ten gevolge van positieve temperatuurgradiënten in de betonplaat berekend in het midden van de randen van de betonplaat. Bij de vrije rand en bij een langsvoeg is de buigtrekspanning de kleinste van de 2 waarden die verkregen worden met de formules 6.5 en 6.6a. Bij een dwarsscheur is de buigtrekspanning de kleinste van de 2 waarden die verkregen worden met de formules 6.5 en 6.6b. Formule 6.5 geldt voor kleine positieve temperatuurgradiënten wanneer de volledige rand van de betonplaat wordt ondersteund door ingedrukte veren (als gevolg van het eigen gewicht van de betonplaat) met stijfheid k (het beddinggetal). Formule 6.6 geldt voor grote positieve temperatuurgradiënten wanneer het midden van de rand van de betonplaat door de grotere kromming loskomt van de ondersteunende veren.

$$\sigma_T = \frac{h \cdot \Delta T}{2} \alpha E_c \quad (6.5)$$

$$\sigma_T = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot L'^2 / h \quad \text{voor langsvoegen} \quad (6.6a)$$

$$\sigma_T = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot B'^2 / h \quad \text{voor dwarsscheuren} \quad (6.6b)$$

waarin:

- σ_T = buigtrekspanning (N/mm²) aan de onderzijde van de betonplaat ten gevolge van een positieve temperatuurgradiënt ΔT (°C/mm)
- h = dikte (mm) van de betonplaat
- α = thermische uitzettingscoëfficiënt (°C⁻¹) van beton (tabel B2.1 van Bijlage 2)
- E_c = elasticiteitsmodulus (N/mm²) van beton (formule B2.3 en tabel B2.1 van Bijlage 2)
- ΔT = temperatuurgradiënt (°C/mm) in de betonplaat
- L = 'plaatlengte' (mm), dus de onderlinge afstand tussen de dwarsscheuren; dit wordt in VENCON2.0 op een bijzondere manier behandeld [1]
- B = plaatbreedte (mm)
- L' = overspanning (mm) van de betonplaat in lengterichting
- B' = overspanning van de betonplaat in breedterichting

De overspanningen van de betonplaat in lengterichting (L') en in breedterichting (B') zijn gelijk aan:

$$L' = L - \frac{2}{3} C \quad (6.7a)$$

en

$$B' = B - \frac{2}{3} C \quad (6.7b)$$

waarin C de lengte (mm) van de ondersteuning van de betonplaat is volgens:

$$C = 4,5 \cdot \sqrt{\frac{h}{k \cdot \Delta T}} \quad \text{voor } C \ll L$$

In VENCON2.0 is een standaard frequentieverdeling voor de temperatuurgradiënt opgenomen (Tabel 6.5). Deze frequentieverdeling is gebaseerd op metingen in België in de jaren '70 en op metingen aan de doorgaand gewapende betonverhardingen van de A12, gedeelte Lunetten – Bunnik, in de jaren 2000 en 2001. Tabel 6.5 wordt ook door Rijkswaterstaat gehanteerd.

Temperatuurgradiënt- klasse (°C/mm)	Gemiddelde temperatuurgradiënt ΔT (°C/mm)	Frequentieverdeling (%)
0,000 – 0,005	0,0025	59
0,005 – 0,015	0,01	22
0,015 – 0,025	0,02	7,5
0,025 – 0,035	0,03	5,5
0,035 – 0,045	0,04	4,5
0,045 – 0,055	0,05	1,0
0,055 – 0,065	0,06	0,5

Tabel 6.5 Standaard frequentieverdeling van de temperatuurgradiënten

6.2.1.3 Ontwerpcriteria

Ter bepaling van de betondikte worden 2 ontwerpcriteria gehanteerd:

- de vermoeiingsschade
- incidentele extreme verkeerslasten

Vermoeiingsschade

Voor elk van de geanalyseerde locaties van de betonplaat moet de over alle aslastklassen i, bandtypen j en temperatuurgradiënten k gesommeerde vermoeiingsschade (gebruikte vermoeiingssterkte) kleiner zijn dan 1. Het criterium hiervoor is:

$$\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NB} \sum_{k=1}^{NT} \frac{F_r \cdot F_v \cdot n_{i,j,k}}{N_{i,j,k}} \leq 1 \quad \text{voor vermoeiing in hart rijsporen ter plaatse van dwarsscheuren} \quad (6.8)$$

of

$$\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NB} \sum_{k=1}^{NT} \frac{F_v \cdot n_{i,j,k}}{N_{i,j,k}} \leq 1 \quad \text{voor vermoeiing op een langsvoeg of vrije rand} \quad (6.9)$$

Hierin is:

- $n_{i,j,k}$ = optredend karakteristiek aantal aslastherhalingen in aslastklasse i en met bandtype j bij temperatuurgradiënt k, rekening houdend met verdeling van het verkeer over de stroken, de mate van versporing en de mate van randbelasting
- $N_{i,j,k}$ = toelaatbaar aantal aslastherhalingen in aslastklasse i en bandtype j bij temperatuurgradiënt k (formule B2.4 en figuur B2.1 in Bijlage 2)
- NL = aantal aslastklassen (Tabel 4.2)
- NB = aantal bandtypen (Tabel 4.2 en Tabel 6.4)
- NT = aantal temperatuurgradiënten (Tabel 6.5)

- F_r = aandeel zwaar verkeer op de betreffende strook (-)
 F_v = aandeel sporend verkeer binnen de betreffende strook resp. aandeel verkeer op langsvoeg of vrije rand (-)

De factor F_r verdisconteert dat het zware verkeer een zekere verdeling over de rijstroken zal vertonen, afhankelijk van zaken als het aantal rijstroken, de verkeersintensiteiten, het al dan niet gelden van een inhaalverbod voor vrachtwagens enz. Echter het effect daarvan op de uiteindelijke betondikte is beperkt. Daarnaast vraagt Rijkswaterstaat altijd een over de volle breedte homogene verhardingsopbouw en -dikte (zie par. 6.4). Daarom dient in het ontwerp van betonwegen voor Rijkswaterstaat te allen tijde 100% van het zware verkeer op de rechter rijstrook in rekening te worden gebracht ($F_r = 1$). Bij wegen met vluchtstrook is dit in VENCON2.0 doorgevoerd op betonstrook 2 (zie ook Figuur 4.1).

De factor F_v verdisconteert dat

- het zware verkeer binnen een rijstrook ook nog een zekere spreiding in dwarsrichting zal vertonen. Dit betekent dat de vermoeiingsschade enigszins wordt verdeeld. In VENCON2.0 wordt dit vertaald naar een percentage zuiver sporend verkeer. Voor dwarsvoegen wordt dat gesteld op 50% van het verkeer binnen de strook (zie ook Figuur 4.1)
- slechts een beperkt aandeel van het verkeer precies op de vrije rand of langsvoeg zal rijden. In het ontwerp van betonwegen voor Rijkswaterstaat dient gerekend te worden met 5% van het totale verkeer op langsvoegen en 1% van het totale verkeer op vrije randen (zie ook Figuur 4.1). VENCON2.0 houdt voor de belasting op langsvoegen en vrije randen dus niet afzonderlijk rekening met de verdeling van het verkeer over de stroken).

In Tabel 6.6 zijn de aan te houden waarden samengevat.

Locatie	Versporingsfactor F_v
Hart rijspoor bij dwarsscheur	0,50
Langsvoeg	0,05
Vrije rand	0,01

Tabel 6.6 versporingsfactor voor de potentieel maatgevende locaties

Het totale karakteristiek aantal aslastherhalingen over alle aslastklassen i , bandtypen j en temperatuurgradiënten k is hierbij vanzelfsprekend gelijk aan het karakteristiek aantal aslastherhalingen $n_{kar,totaal}$ volgens formule 4.1, ofwel

$$\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NB} \sum_{k=1}^{NT} n_{i,j,k} = n_{kar,totaal} \quad (6.10)$$

Extreme verkeerslasten

In VENCON2.0 is een veiligheid tegen overbelasting ingebouwd. Overbelasting betekent een (incidentele) aslast die zwaarder is dan meegenomen in de aslastfrequentie-verdeling (Tabel 4.2). Deze veiligheid komt tot uiting in de randvoorwaarde bij de vermoeiingsrelatie voor beton (formule B1.4 in Bijlage 1), namelijk dat de maximale optredende buigtrekspanning niet groter mag zijn dan 83,3% van de buigtreksterkte. De maximale buigtrekspanning treedt op bij een combinatie van de zwaarste aslast uit de aslastfrequentie-verdeling (Tabel 4.2) het meest ongunstige bandtype (de breedband, Tabel 6.4) en de grootste temperatuurgradiënt (Tabel 6.5).

Besteksdikte VENCON2.0

De twee bovengenoemde ontwerpcriteria resulteren in de 'ontwerpdikte VENCON2.0' van de betonlaag. De 'besteksdikte VENCON2.0' van de betonlaag is, vanwege de asfalt tussenlaag, gelijk aan de 'ontwerpdikte VENCON2.0' vermeerderd met 10 mm; deze 'besteksdikte VENCON2.0' wordt opgevat als de 'design thickness' zoals genoemd in artikel 4.3.1 van NEN-EN 13877-2 [15].

6.2.2 Langswapening

Na de bepaling van de vereiste betondikte (par.6.2.1) kan op basis van paragraaf 5.3.3 de vereiste langswapening (d.w.z. de combinatie van de gekozen staafdiameter en de daaruit resulterende maximale staafafstand) worden vastgesteld.

6.3 Gebruik van computerprogramma's

Opdrachtnemer moet bovenstaande berekening van de vereiste betondikte uitvoeren met het programma VENCON2.0 [1] uitgegeven door het CROW.

6.4 Homogeniteit verhardingsconstructie

De verharding dient over de gehele breedte van de rijbaan dezelfde laagopbouw en laagdikten te hebben en uit dezelfde materialen te bestaan, tenzij de Vraagspecificatie anders aangeeft.

7 Ontwerpdetails

7.1 Constructielangsvoegen

In constructievoegen (in langsrichting) moeten koppelstaven worden aangebracht. Voor de koppelstaven gelden de volgende eisen:

- de hart-op-hart afstand van de koppelstaven wordt gegeven door paragraaf 4.4.1 van CROW Publicatie 160 [5];
- de bepalingen in paragraaf 9.3 van CROW Publicatie 195 [6], waarbij de genoemde methode om de koppelstaven in de verse beton te schieten niet is toegestaan.

7.2 Krimplangsvoegen

Een betonstrook aangebracht met de slipformpaver moet door middel van krimpvoegen (in langsrichting) worden verdeeld in stroken die niet breder zijn dan 5 m. De krimplangsvoegen mogen niet worden aangebracht op afstanden van minder dan 0,75 m uit het hart van de rijsporen van huidige en eventuele toekomstige (spitsstrook) rijstroken.

De krimplangsvoegen moeten worden gerealiseerd zoals vermeld in par. 4.4.2 van CROW Publicatie 160 [5]. In afwijking van Publicatie 160 moet het inzagen van krimplangsvoegen gebeuren tot een diepte van 60 mm waardoor er te allen tijde een betondekking van ten minste 25 mm boven de dwarswapening aanwezig blijft.

Binnen een afstand van 60 mm van de krimplangsvoeg mag zich geen langswapeningsstaaf bevinden.

7.3 Constructiedwarsvoegen

Constructiedwarsvoegen, indien nodig, moeten uitgevoerd worden zoals aangegeven in par. 4.4.3 van CROW Publicatie 160 [5].

7.4 Beëindigingsconstructies

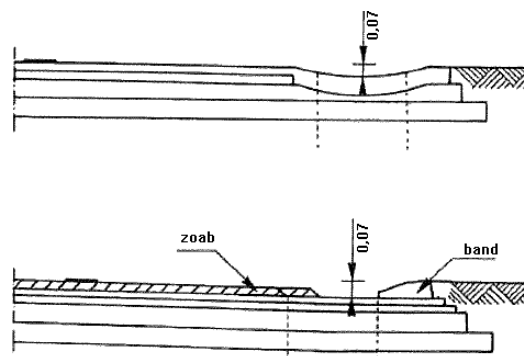
De beëindigingsconstructies van de doorgaand gewapende betonlaag dienen te worden ontworpen en uitgevoerd conform hetgeen in CROW Publicatie 160 [5] in figuur 13 is aangegeven, met de restrictie dat het eindveld niet een lengte van 4,00 m heeft maar een lengte van 5,00 m.

Het materiaal dat wordt toegepast boven een diepte van 1 m onder het laagste punt van de beëindigingsconstructie dient te worden beoordeeld volgens het stroomschema met toelichting op het uitklapvel achterin CROW Publicatie 121, voor toepassing in constructie-onderdeel CB ('belastingspreidende laag').

De uitzettingsvoeg bij de overgang van de doorgaand gewapende betonverharding naar de asfaltverharding dient gerealiseerd te worden overeenkomstig par. 4.4.4 van CROW Publicatie 160 [5].

7.5 Gootconstructies

Voor de locaties waar een gootconstructie is voorzien moet deze aan de bermzijde worden voorzien van een waterdichte geleiding. Aan de bermzijde moet de gootconstructie een rug hebben met een hoogte van 60 tot 70 mm ten opzichte van het diepste punt van de goot, en een breedte van ten minste 160 mm. Het waterafvoerende profiel van de goot moet minstens 400 mm breed zijn. Tevens moeten hoogteverschillen vloeiend of onder voldoende afschuining verlopen. Figuur 7.1 toont een tweetal gootconstructies uit het Handboek Bermbeveiligingsvoorzieningen van CROW [18].



Figuur 7.1 Voorbeelden van gootconstructies (maten in m)

8 Aanvullende eisen

8.1 Interacties

Bij het ontwerp van de wegverhardingen inclusief het maken van materiaalkeuzen moet rekening worden gehouden met de effecten van:

- bodemgesteldheid en te verwachten zettingen;
- grondwater en capillaire stijghoogte;
- aanwezige in aanbouw zijnde of te bouwen kunstwerken en tunnels;
- aanwezige of aan te leggen duikers en rioleringen;
- aanwezige, te verleggen of aan te leggen kabels, leidingen en mantelbuizen.

Ten aanzien van de hoogteligging van het wegooppervlak c.q. de drooglegging van het weglichaam gelden de desbetreffende bepalingen in de bij het contract vermelde versie van de Eisen Onderbouw.

8.2 Aantonen geschiktheid materialen en uitvoeringsmethoden

Voor het aantonen van de geschiktheid van de toe te passen beton moet aangetoond worden dat het voldoet aan het gestelde in par.5.3. Daarbij moet voor aanvang werkzaamheden een geschiktheidsonderzoek worden uitgevoerd conform de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20], artikel 82.15.02. Voor vezelversterkt beton zijn aanvullende geschiktheidscriteria opgenomen in Bijlage B.3 Addendum parkeervoorzieningen in vezelversterkte beton.

Voor het aantonen van de geschiktheid van een funderingsmateriaal, de asfalt tussenlaag en de geluidreducerende deklaag is de bij de vraagspecificatie vermelde versie van de Verificatie Geschiktheid Wegenbouwmaterialen – en technieken van toepassing.

8.3 Hergebruik

De te gebruiken methoden, bouwstoffen en mengsamenstellingen mogen het toekomstig hergebruik van uitkomende materialen in wegconstructies niet belemmeren.

9 Kwaliteitsborging

Voor borging van de kwaliteit van het werk moeten een kwaliteitsplan en werkplan(nen) worden opgesteld en moeten geschiktheidsonderzoeken, bedrijfscontroles en keuringen worden uitgevoerd. Deze dienen te voldoen aan of ten minste gelijkwaardig te zijn aan het daaromtrent gestelde in de Standaard RAW Bepalingen 2020 [20].

10 Toetsing

10.1 Hoogteligging fundering

Op een onderlinge afstand van maximaal 25 m dient in dwarsraaien de hoogteligging van de bovenzijde van de fundering opgemeten te worden om in een later stadium de dikte van de asfalt tussenlaag en de gewapende betonlaag te kunnen bepalen (zie paragrafen 10.2 en 10.3). De dwarsraaien dienen in dezelfde locaties gekozen te worden als later zullen worden aangehouden bij het Digitale Terrein Model (DTM).

De aldus opgemeten hoogteligging van de bovenzijde van de fundering dient overeen te komen met het theoretisch profiel, met een toegestane afwijking van maximaal 10 mm naar boven en naar beneden.

10.2 Hoogteligging asfalt tussenlaag

Op een onderlinge afstand van maximaal 25 m dient in dwarsraaien de hoogteligging van de bovenzijde van de asfalt tussenlaag opgemeten te worden om in een later stadium de dikte van de gewapende betonlaag te kunnen meten (zie paragraaf 10.3).

De dwarsraaien dienen in dezelfde locaties te zijn als de ingemeten dwarsraaien op de fundering. De aldus opgemeten hoogteligging van de bovenzijde van de asfalt tussenlaag dient overeen te komen met het theoretisch profiel, met een toegestane afwijking van maximaal 10 mm naar boven en naar beneden.

10.3 Doorgaand gewapende betonlaag

Telkens na voltooiing van het aanbrengen van de doorgaand gewapende betonlaag in een werkvak moet de opdrachtnemer aantonen dat voldaan is aan de volgende eisen:

- a. De karakteristieke ondergrens van de aan boorkernen bepaalde druksterkten dient ten minste gelijk te zijn aan de karakteristieke kubusdruksterkte, aangegeven door de sterkteklasse die bij het ontwerp is gehanteerd. De karakteristieke bovengrens van de aan de kernen bepaalde druksterkten dient ten hoogste gelijk te zijn aan 1,25 maal de karakteristieke kubusdruksterkte aangegeven door de sterkteklasse die bij het ontwerp is gehanteerd.

De druksterkte hierbij wordt bepaald bij 28 dagen verharding op kernen met diameter 100 mm en hoogte 100 mm, zoals omschreven in NEN-EN 13877-2. Per uit het werk geboorde kern worden twee bepalingen van de druksterkte gedaan: één uit de bovenzijde van de kern en één uit de onderzijde van de kern. De kernen die worden gebruikt voor de bepaling van de druksterkte mogen geen wapeningsstaal bevatten.

Indien uit de bovenzijde van de kern geen deeltkern met een hoogte van 100 mm verkregen kan worden (vanwege de excentrische ligging van de wapening), mag de druksterkte aan een proefstuk met een afwijkende h/d-verhouding worden bepaald.

Het gemeten druksterkteresultaat moet dan worden vermenigvuldigd met een factor volgens Tabel 10.1. De gemiddelde druksterkte van de kern wordt bepaald door middeling van de bepalingen op de elkernen uit boven- en onderzijde van de kern.

De berekening van de karakteristieke ondergrens van de druksterkte geschiedt op basis van de gemiddelde druksterkte van de kern, niet op basis van de bepalingen op de elkernen uit de boven- en onderzijde van de kern.

h/d	factor
1,50	1,10
1,25	1,06
1,00	1,00
0,90	0,96
0,80	0,91
0,70	0,85

Tabel 10.1 Vermenigvuldigingsfactor druksterkte bij afwijkende hoogte / diameter verhouding proefstuk

- b. De dikte van de betonlaag dient per dwarsraai, gekozen op dezelfde locaties als aangehouden voor bovenzijde fundering en bovenzijde asfalttussenlaag, moet voldoen aan de volgende eisen:
 - de gemiddelde betondikte mag niet kleiner zijn dan de 'besteksdikte VENCON2.0' en niet groter dan de 'besteksdikte VENCON2.0' plus 10 mm zoals vermeld in par.6.2.1.3.
 - van een individuele boorkern mag de betondikte niet meer dan 5 mm kleiner zijn dan de 'besteksdikte VENCON2.0' en niet meer dan 15 mm groter dan de 'besteksdikte VENCON2.0' zoals vermeld in par.6.2.1.3.

Hiertoe wordt de hoogte van de betonlaag ingemeten op genoemde dwarsraaien en wordt de dikte van de betonlaag berekend als het hoogteverschil tussen bovenzijde betonlaag en bovenzijde asfalttussenlaag op het corresponderende meetpunt.
Ter controle van de op deze wijze gemeten dikte van de betonlaag dient in elke derde meetraai één kern geboord te worden.
- c. Individuele waarden van de hoogteligging van de langswapening mogen ten hoogste 10 mm afwijken van de hoogteligging gehanteerd bij het ontwerp.
- d. De voegen moeten waterdicht zijn afgewerkt.

11 Literatuur

- [1] VENCON2.0 – Software voor het structureel ontwerp van elastisch ondersteunde verhardingen van ongewapend en doorgaand gewapend beton. Technisch rapport over de ontwerpmodellen en formules gebruikt in VENCON2.0
CROW, Ede, 14 december 2004
- [2] Standaard RAW Bepalingen 2010
CROW, Ede, 2010
- [3] Standaard RAW Bepalingen 2005
CROW, Ede, 2005
- [4] Borsje, H.
Literatuurstudie Update specificaties betonverhardingen
TNO, januari 2012.
- [5] Doorgaand gewapende betonverhardingen – Autosnelwegen en overige toepassingen
Publicatie 160, CROW, Ede, December 2001
- [6] Handleiding uitvoering betonwegenbouw
Publicatie 195, CROW, Ede, juli 2004
- [7] Ophogingen en ophoogmaterialen
Publicatie 121, CROW, December 1997
- [8] VBW – richtlijn tweelaags ZOAB, januari 2016 (<http://www.vbwasfalt.org>)
- [9] Houben, L.J.M., A.J. van Leest, M.J.A. Stet, J.W. Frénay and C.R. Braam
The Dutch Structural Design Method for Plain and Continuously Reinforced Concrete Pavements
Proceedings of the International Workshop on Best Practices for Concrete Pavements, Recife, Brazil, October 21st – 23rd, 2007 (CD-ROM)
- [10] Achtergrondrapport Ontwerp Instrumentarium Asfaltverhardingen (OIA)
(<https://www.crow.nl/thema-s/infratechniek/asfaltverharding/oia>)
- [11] Vereenvoudigde procedure voor het vaststellen van 85% betrouwbare karakteristieke stijfheidsrelaties voor gebruik in de standaard ontwerpprogramma's. Versie juni 2011
(<https://www.crow.nl/thema-s/infratechniek/asfaltverharding/oia>)
- [12] NEN-EN 206-1 Beton – Deel 1: Specificaties, eigenschappen, bereiding en conformiteit; NEN 8005 Nederlandse invulling van NEN-EN 206-1
Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 2017
- [13] NEN-EN 1992-1-1 (nl) Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussel, juli 2002
- [14] Normen voor beton – Structurele eisen en berekeningsmethoden (VBC 1995), 2^e uitgave met revisies A2:2001 en A3:2004
NEN 6720, TGB 1990, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1995

- [15] NEN-EN 13877-2 (en) Betonverhardingen – Deel 2: Functionele eisen voor betonverhardingen
Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 2013
- [16] De wegdekcorrectie voor geluid van wegverkeer 2012
Publicatie 316, CROW, Ede, 2012
- [17] Standaardbestek 250 (SB250), versie 2.2
Agentschap Wegen en Verkeer, Vlaanderen, België, maart 2012
- [18] ROA Handboek Bermbeveiligingsvoorzieningen
Publicatie P706, CROW, Ede, 2000
- [19] Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen.
Rijkswaterstaat, Dienst Grote Projecten en Onderhoud, november 2022
- [20] Standaard RAW Bepalingen 2020
CROW, EDE 2020
- [21] Verificatie Wegenbouwmaterialen – en technieken
Rijkswaterstaat, Dienst Grote Projecten en Onderhoud, april 2022

Bijlage B.1 Wapening

De tekst in deze Bijlage is overgenomen uit paragraaf 1.1.2.3.G 'Wapeningen voor doorgaand gewapend beton' van hoofdstuk 6 'Verhardingen' van het Belgische Standaardbestek 250 [17]

Definities

Wapeningsnet: is het samenstel van langs- en dwarsstaven die t.o.v. elkaar een bepaalde hoek α vormen; zij vormen een netstructuur waarvan de knooppunten hetzij in de fabriek gelast zijn of op het werk gebonden zijn.

Paneel: is een deel van een wapeningsnet van bepaalde afmetingen.

Dwarselement: is de dwarsstaaf waaraan de steunen, bestemd om de staaf op zijn plaats te houden t.o.v. het funderingsoppervlak, bevestigd zijn.

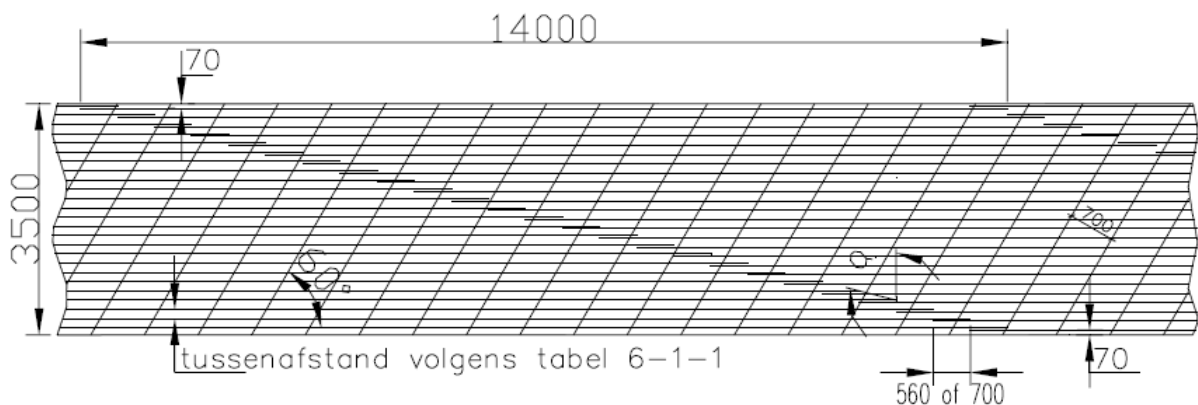
Aangezien de langsstaven bevestigd zijn op de dwarsstaven kunnen de steunen fungeren als verbinding tussen de langsstaven en de dwarsstaven. Iedere steun moet zonder zichtbare vervorming weerstaan aan een puntbelasting van 250 kg.

Plans

De wapening voldoet aan de figuren B1.1 en B1.2.

Principe voor de schikking:

1. langs de randen in langsrichting, steunen afwisselend van de ene dwarswapening tot de volgende, tussen de 2 uiterste mazen (O);
2. voor elke dwarswapening, een steun om de 3 mazen te beginnen met de dichtst tegen de buitenrand gelegen steun (X);
3. naar gelang het aantal dwarswapeningen, bedraagt de afstand op elke dwarswapening tussen de 2 uiterste steunen 3, 4 of 5 mazen (schuine streeplijnen).

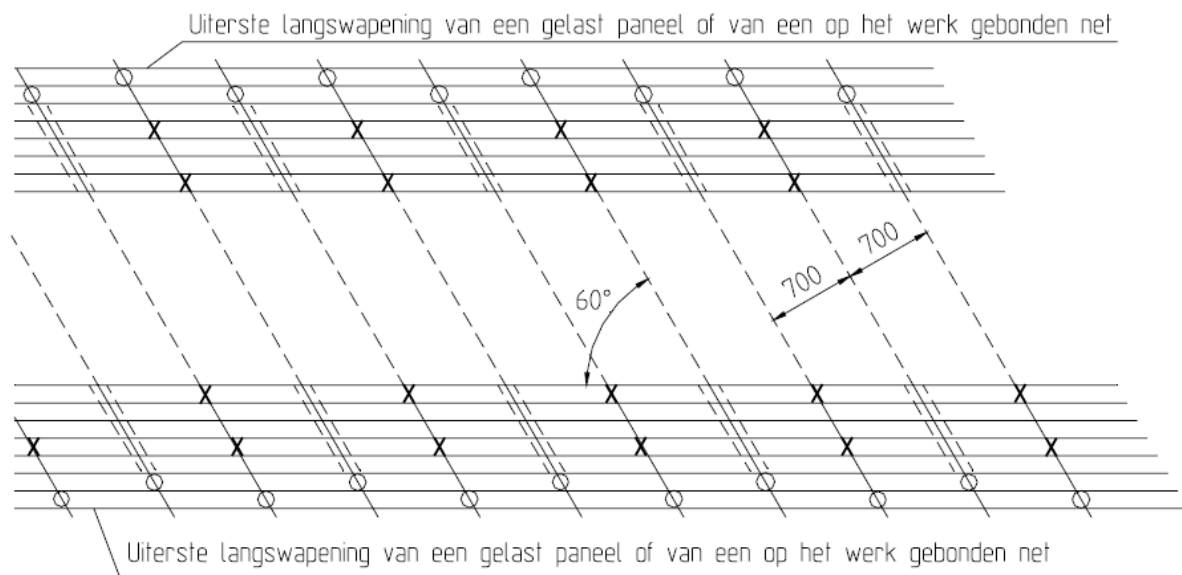


Figuur B1.1 Wapeningsplan doorgaand gewapend beton (alle maten in mm)

De wapeningsnetten worden vervaardigd van ter plaatse verbonden staven of van in de fabriek geprefabriceerde panelen. Op het werk is verbinding door lassen verboden.

De onderlinge verbinding van de staven en de bevestiging aan de steunen moeten iedere speling van het samenstel verhinderen vóór en tijdens de verwerking van het beton.

Ten minste één knooppunt op twee wordt gebonden.



Figuur B1.2 Schema voor de schikking van de steunen (alle maten in mm)

Iedere overlapping van wapeningen moet een lengte van 35 maal³ de nominale diameter hebben en ten minste 2 verbindingpunten omvatten. De overlappingen worden zo geschikt dat er geen twee overlappingen in dezelfde dwarsdoorsnede vallen van een stortbreedte.

De afmetingen van de wapeningsstaven zijn:

- langsstaf:
 - lengte = minstens 14000 mm met een tolerantie naar boven van 200 mm op de normale lengte;
 - nominale diameter = 16 mm of 20 mm;
- dwarsstaaf:
 - lengte = $(b - 140)/0,866$ mm met een tolerantie van 20 mm naar boven of naar beneden; waarin b de stortbreedte in mm van de verharding is;
 - nominale diameter = 14 mm.

De kenmerken van de wapening zijn volgens tabel B1.1.

Nominale dikte van de betonverharding	200	210	220	230	250
Nominale diameter van de langswapening	16	16	20	20	20
Tussenafstand h.o.h. en tolerantie van de langswapeningen	130±20	130±20	180±20	180±20	170±20
Hoogte van de steun voor de wapeningen	90	100	100	120	130
Nominale diameter van de dwarswapening	14	14	14	14	14
Afstand en tolerantie tussen de bovenste beschrijvende van de langswapening en het oppervlak van de éénlaagse verharding	80±10	80±10	80±10	80±10	80±10
Afstand en tolerantie tussen de bovenste beschrijvende van de langswapening en het oppervlak van de tweelaagse verharding	80±10	80±10	80±10	80±10	80±10

Tabel B1.1 Kenmerken van de wapening (alle afmetingen in mm)

³ In deze Specificaties Ontwerp Doorgaand Gewapende Betonverhardingen worden voor de overlapping andere waarden aangehouden, zie paragraaf 4.3.3

Bijlage B.2 Mechanische eigenschappen van beton

Verschillende beton-sterkteklassen worden toegepast voor de doorgaand gewapende betonlaag. In de norm NEN-EN 206-1 [12] wordt de beton-sterkteklasse aangeduid met C-waarden waarbij het tweede getal de karakteristieke (95% overschrijdingskans) kubusdruksterkte f'_{ck} na 28 dagen voor kortdurende belastingen⁴ weergeeft en het eerste getal de karakteristieke cilinderdruksterkte voor dezelfde condities.

Volgens de Eurocode 2 [13] is de gemiddelde kubusdruksterkte f'_{cm} na 28 dagen voor kortdurende belastingen gelijk aan:

$$f'_{cm} = f'_{ck} + 8 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{B2.1})$$

Voor de dimensionering van doorgaand gewapende betonverhardingen is niet zozeer de druksterkte maar vooral de buigtreksterkte van belang. In VENCON2.0 is, in overeenstemming met de Eurocode 2 [13], de gemiddelde buigtreksterkte f_{brm} na 28 dagen bij kortdurende belastingen gedefinieerd als een functie van de dikte h (in mm) van de betonlaag:

$$f_{brm} = 1.3 * [(1600 - h)/1000] * [1.05 + 0.05 * (f'_{ck} + 8)] / 1.2 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{B2.2})$$

De gemiddelde buigtreksterkte f_{brm} wordt gebruikt in de vermoeiingsanalyse (zie hieronder en 0).

Behalve de sterkte is ook de stijfheid (de elasticiteitsmodulus) van de betonlaag belangrijk voor de dimensionering van de doorgaand gewapende betonverharding. De elasticiteitsmodulus van beton is enigszins afhankelijk van de sterkteklasse. Overeenkomstig NEN 6720 [14] kan de elasticiteitsmodulus E_c berekend worden met de formule:

$$E_c = 22250 + 250 * f'_{ck} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{met } 15 \leq f'_{ck} \leq 65 \quad (\text{B2.3})$$

Tabel B2.1 geeft enkele sterkte- en stijfheidswaarden voor de in doorgaand gewapende betonverhardingen toegepaste beton-sterkteklassen. Bovendien zijn ook enkele andere eigenschappen vermeld, zoals de dichtheid, de dwarscontractiecoëfficiënt (die van belang is bij de berekening van de verkeerslast-spanningen, zie par. 6.2.1.1) en de thermische uitzettingscoëfficiënt (die een rol speelt bij de berekening van de temperatuurgradiënt-spanningen, zie par. 6.2.1.2).

Eigenschap		Beton-sterkteklasse			
		C25/30	C30/37	C35/45	C45/55
Karakteristieke* kubusdruksterkte f'_{ck} (N/mm ²)		30	37	45	55
Gemiddelde kubusdruksterkte f'_{cm} (N/mm ²)		38	45	53	63
Gemiddelde buigtreksterkte f_{brm} (N/mm ²)	Dikte betonlaag: $h = 210$ mm	4,44	4,97	5,57	6,32
	$h = 240$ mm	4,35	4,86	5,45	6,19
	$h = 270$ mm	4,25	4,75	5,33	6,05
Elasticiteitsmodulus E_c (N/mm ²)		29750	31500	33500	36000
Dichtheid (kg/m ³)		2300 - 2400			
Dwarscontractiecoëfficiënt ν		0,15 - 0,20			
Thermische uitzettingscoëfficiënt α (°C ⁻¹)		$1 \cdot 10^{-5} - 1,2 \cdot 10^{-5}$			

* 95% overschrijdingskans

Tabel B2.1 Eigenschappen van de diverse beton-sterkteklassen

⁴ Kortdurende belasting:
Langdurende belasting:

belasting gedurende enkele minuten
statische belasting gedurende 10^3 tot 10^6 uren, of dynamische belasting met ongeveer $2 \cdot 10^6$ belastingherhalingen

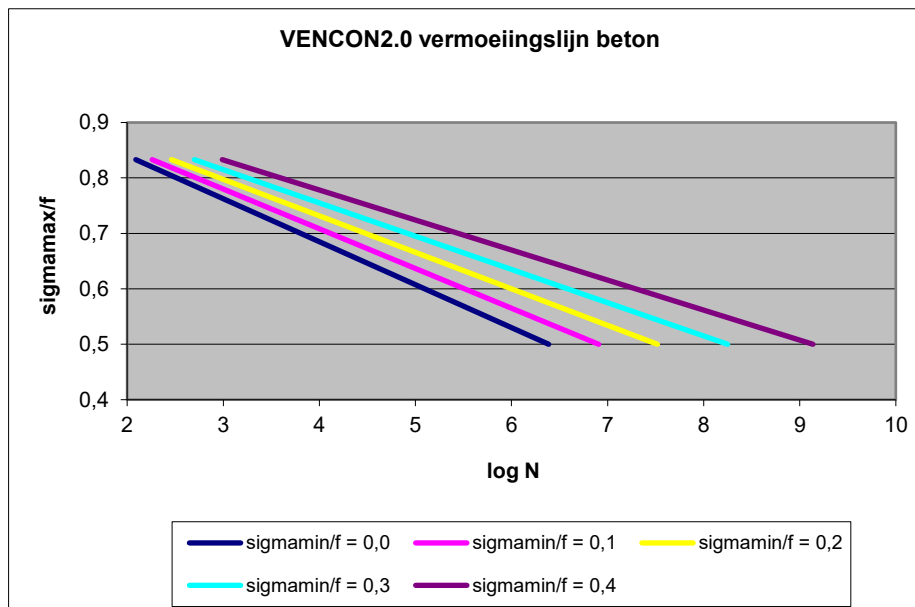
Voor de dimensionering van de doorgaand gewapende betonverharding is de vermoeiingsrelatie van het beton zeer belangrijk. De volgende vermoeiingsrelatie moet worden gehanteerd [1]:

$$\log(N_i) = \frac{12,903 - (0,995 \cdot \sigma_{\max,i} / f_{brm})}{1,000 \cdot 0,7525 \cdot \sigma_{\min,i} / f_{brm}} \quad \text{met } 0,5 \leq \sigma_{\max} / f_{brm} \leq 0,883 \quad (B2.4)$$

waarin:

- N_i = toelaatbaar aantal herhalingen van wiellast P_i c.q. de verkeerslast-spanning σ_{Pi} tot bezwijken bij een temperatuurgradiënt-spanning σ_{Ti} (zie par.6.2.1.2)
- $\sigma_{\min,i}$ = optredende minimum buigtrekspanning (= temperatuurgradiënt-spanning σ_{Ti})
- $\sigma_{\max,i}$ = optredende maximum buigtrekspanning (= verkeerslast-spanning σ_{Pi} + temperatuurgradiënt -spanning σ_{Ti})
- f_{brm} = gemiddelde buigtreksterkte (N/mm²) na 28 dagen voor kortdurende belastingen (formule B2.2)

Formule B2.4 is grafisch weergegeven in Figuur B2.1.



Figuur B2.1. VENCON2.0 vermoeiingslijn voor beton

Formule B2.4 en figuur B2.1 geven aan dat in VENCON2.0 verondersteld wordt dat er geen vermoeiingsschade in de betonlaag optreedt indien de optredende maximale buigtrekspanning $\sigma_{\max}$ (t.g.v. verkeerslast plus temperatuurgradiënt) kleiner is dan 50% van de gemiddelde buigtreksterkte f_{brm} . De maximale buigtrekspanning $\sigma_{\max}$ mag niet groter zijn dan 83,3% van de gemiddelde buigtreksterkte f_{brm} ; op deze wijze wordt veiligheid tegen incidentele overbelasting ingebouwd in de dimensionering. De verkeerslast- en temperatuurgradiënt-spanningen worden in VENCON2.0 voor diverse potentieel kritieke locaties van de betonlaag berekend.

Bijlage B.3 Addendum parkeervoorzieningen in vezelversterkt beton

1.1 Algemeen

Tot op heden heeft Rijkswaterstaat positieve ervaringen opgedaan met het toepassen van vezelversterkt beton op de parkeervoorzieningen op verzorgingsplaatsen. Voor het vaststellen van de benodigde laagdikte, wordt VENCON2.0 ingezet.

In VENCON2.0 is het echter niet mogelijk om te rekenen met eigenschappen van vezelversterkt beton en zijn aanvullende ontwerprandvoorwaarden noodzakelijk.

1.2 Geschiktheid vezelversterkt beton

Het vezelversterkt betonmengsel dient een combinatie te bevatten van draadstaalvezels, gefreesde staalvezels en polypropeenvezels. De samenstelling dient zodanig te zijn dat na verwerking, dit resulteert in een scheurvrije oppervlak over een minimale lengte van 60 meter. Dit dient vooraf te zijn aangetoond aan de hand van een proefvak of gerealiseerd werk.

De druksterkte van het toe te passen mengsel dient te voldoen aan de sterkteklasse C35/45 conform NEN-EN 206-1 artikel 8.2.1.3 tabel 18 met N=5;

De karakteristieke buigtreksterkte dient aanvullend te worden bepaald op basis van proefstukken beproefd conform NEN-EN 14651 en waarbij proefresultaten zijn uitgewerkt conform CUR aanbeveling 111. Hierbij dient uit te worden gegaan van minimaal 6 proefstukken. De gevonden waarde mag niet kleiner zijn dan de in het ontwerp gehanteerde waarde bepaald op basis van de beton sterkteklasse.

1.3 Dimensionering

Als gevolg van de hogere buigtreksterkte, mag een reductie van 10% worden aangehouden ten opzichte van de met VENCON2.0 berekende laagdikte. De laagdikteberekening moet zijn uitgevoerd uitgaande van C35/45 voor de sterkteklasse van het beton.

1.4 Voegen

Indien mogelijk, de parkeervoorzieningen uitvoeren in een arbeidsgang. In geval constructievoegen noodzakelijk zijn, deze uitvoeren conform par 7.1 en par 7.3.

Afhankelijk van de lengte van het te storten oppervlak, kan het noodzakelijk om 1 of meerdere dwars schijnvoegen aan te brengen. Deze dienen te worden ingezaagd tot 1/3 van de betonlaag dikte en afgevuld met bitumineuze voegvulmassa.

1.5 Afwerking

De zijden van de betonconstructie welke grenzen aan bermgedeelten dienen te zijn voorzien van een bandconstructie in RWS-profiel en als lijnconstructie machinaal te worden aangebracht;

Naden tussen de betonlaag en aangrenzende verhardingen, dienen vloestofdicht te worden afgewerkt;

Het betonoppervlak van de parkeervoorzieningen dient in dwarsrichting te worden voorzien van een bezemstreek, met textuurdiepte van 0,6 mm — 0,8 mm;

Indien vanuit de Vraagspecificatie gekleurd beton gewenst is, dient dit “door en door” in de betonlaag aanwezig te zijn en niet slechts aan het oppervlak.