

Belastingsproeven op ankerbouten in asfalt

Ing. W.H.M. van de Pol

R-2000-7

Belastingsproeven op ankerbouten in asfalt

Trek- en afschuifproeven op drie typen ankerbouten voor
afschermvoorzieningen op H4-niveau

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2000-7
Titel:	Belastingsproeven op ankerbouten in asfalt
Ondertitel:	Trek- en afschuifproeven op drie typen ankerbouten voor afschermvoorzieningen op H4-niveau
Auteur(s):	Ing. W.H.M. van de Pol
Onderzoeksmanager:	Ir. L.T.B. van Kampen
Projectnummer SWOV:	55.418
Projectcode opdrachtgever:	Overeenkomst BDD-3493, orderbon 97 008275
Opdrachtgever:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst Rijkswaterstaat
Trefwoord(en):	Load, tension, shear, simulation, anchorage, bolt, safety fence, steel, bitumen, concrete, absorption, evaluation (assessment).
Projectinhoud:	In simulatieonderzoek naar voertuigkeringen op H4-niveau is tot voor kort uitgegaan van verankering daarvan in beton. Toepassing van deze voertuigkeringen moet echter ook mogelijk zijn op asfalt. Dit rapport doet verslag van belastingsproeven op drie typen verankering in asfalt. De resultaten worden vergeleken met de gegevens van verankering in beton.
Aantal pagina's:	22 + 50 blz.
Prijs:	f 34,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2000

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Samenvatting

In opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Apeldoorn heeft de SWOV simulatieonderzoek gedaan naar de ontwikkeling van voertuigkeringen op H4-niveau. Het gaat daarbij onder andere om stalen en betonnen uitvoeringen van een verbrede STEP-barrier. Voor de verankering van deze constructies is in het simulatieonderzoek steeds uitgegaan van verankering in beton.

De stalen STEP-barrier dient daarnaast ook op asfalt toegepast te kunnen worden. Van verankeringen in asfalt zijn echter geen bruikbare gegevens beschikbaar. Dit vormde de aanleiding voor dit onderzoek om enkele belastingsproeven uit te voeren. Er zijn daarbij drie typen ankerbouten beproefd. Twee van deze typen verankeringen, het zogenaamde VD-anker en het VD-I-anker, zijn lijmankers. De derde verankering is een mechanisch anker, het zogenaamde SR-anker. De ankers bestaan uit M24-draadeinden met een kwaliteit van 8.8. Bij de VD-ankers is ook de plaatsingsdiepte en bij de VD-I-ankers en de SR-ankers is tevens de snelheid van de krachtopbouw gevarieerd.

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is, dat de SR-verankering een goed alternatief is om in asfalt als verankering op H4-niveau te worden toegepast. In het simulatieonderzoek voor de STEP-barrier is uitgegaan van vier verankeringen met elk vier ankerbouten die bij elkaar 1600 kN trekkracht kunnen opnemen. Vier SR-verankeringen met eveneens vier bouten per verankering zijn ruim voldoende om deze kracht op te nemen (maximale kracht 2768 kN). VD- en VD-I-verankeringen in dezelfde configuratie kunnen onvoldoende kracht opnemen.

Summary

Loading tests on anchor bolts in asphalt; Tensile and shearing tests on three types of anchor bolts for H4-level barriers

As commissioned by the Civil Engineering Division of the Department of Public Works in Apeldoorn, SWOV carried out research simulations for the development of H4-level safety barriers. These included steel and concrete designs for a wide STEP barrier. Anchoring of these constructions in concrete was always the starting point for research simulations.

The steel STEP barrier also had to be capable of being used with asphalt. However, there was no useful information available about anchoring in asphalt. This was therefore the basis for this research involving a number of loading tests. Three types of anchor bolts were tested. Two of these, the so-called VD anchor and the VD-I anchor, were adhesive anchors. The third anchor, the so-called SR anchor, was a mechanical one. The anchors consisted of M24 studs with an 8.8 quality rating. The placement depth was varied with the VD anchors and a range of speeds and forces was tested with the SR anchors and the VD-I anchors.

The most important conclusion from this research was that SR anchoring is a good option for anchoring in asphalt at H4 level. The research simulations for the STEP barrier involved four anchors, each with four anchor bolts, that together could absorb 1600 kN of tensile force. Four SR anchors, with four bolts per anchor, were more than sufficient to absorb this force (maximum force 2768 kN). VD and VD-I anchors with the same configuration were unable to absorb sufficient force.

Inhoud

1.	Inleiding	6
2.	Opzet en uitvoering van het onderzoek	8
2.1.	Ankersystemen	8
2.2.	Locatie	8
2.3.	Proefopstelling	9
3.	Resultaten belastingsproeven	10
3.1.	Afschuifproeven	10
3.2.	Trekproeven	11
4.	Vergelijking van ankerbouten in asfalt en beton	13
5.	Discussie	16
6.	Conclusies en aanbevelingen	19
	Literatuur	21
Bijlage 1	Afbeeldingen 1 t/m 4	23
Bijlage 2	Rapport B + BTec	31

1. Inleiding

De SWOV heeft in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Apeldoorn een simulatieonderzoek uitgevoerd naar de werking van de aangepaste STEP-barrier bij simulaties op H4-niveau conform NEN 1317-1 en NEN 1317-2 (CEN, 1998a; 1998b). Het gaat hierbij om zowel de stalen als de betonnen uitvoering van de STEP-barrier. De aanpassing bestaat uit een veel bredere uitvoering, de STEP-barrier wordt met 25 cm verbreed en bij de verankerde STEP-barrier wordt een leuning toegepast. De simulaties zijn uitgevoerd op twee typen STEP-barriers:

- een verbrede verankerde stalen STEP-barrier met leuning;
- een verbrede onverankerde betonnen STEP-barrier met HAITSMA-koppeling en leuning.

Uit resultaten van eerder uitgevoerde simulaties op de verbrede verankerde stalen STEP-barrier in beton blijkt, dat de sterkte van de verankeringen een grote invloed hebben op de werking van de barrier. Eén van de conclusies uit het simulatieonderzoek is dat één standaardverankering (zoals toegepast bij de normale H2-STEP-barrier) niet in staat is een H4-aanrijding te weerstaan. Er moeten vier maal zoveel standaardverankeringen aanwezig zijn om een H4-aanrijding met goed gevolg te weerstaan.

De verankerde verbrede stalen STEP-barrier dient ook op asfalt geplaatst te kunnen worden. Een rechtstreekse vertaling van de sterkte van de standaardverankering naar toepassing in asfalt is naar verwachting niet juist. Er wordt van uitgegaan dat krachten in beton (veel) groter zijn en sneller zullen oplopen dan in asfalt maar dat de krachten in asfalt (veel) langer blijven werken. Asfalt werkt plastischer dan beton. Dit geldt zowel in verticale richting (trek) als in horizontale richting (afschuiven). Over toepassen van verankeringen in asfalt is geen onderzoek voorhanden dat als basis kan dienen voor de ontwikkeling van de verbrede STEP-barrier.

In 1996 is getracht een eerste inzicht te verkrijgen in het gedrag van ankerbouten in asfalt aan de hand van enkele 'full-scale' botsproeven. Twee botsproeven op ware schaal zijn op de verankerde (standaard) stalen STEP-barrier uitgevoerd door het testinstituut L.I.E.R. te Lyon in Frankrijk. De SWOV heeft hier verslag van gedaan (Van de Pol, 1996). De verankeringen stonden voor een gedeelte in beton en voor een gedeelte in asfalt. De aanrijding van de constructie vond plaats bij de verankeringen in beton. De verankeringen in asfalt werden hierdoor niet zwaar belast. Toch is getracht enig inzicht in de werking van de ankerbouten in asfalt uit de resultaten van de aanrijding te verkrijgen. Uit deze proeven op ware schaal valt af te leiden, dat asfalt bij ankerbouten onder trekspanning eerst plastisch vervormt, voordat breuk optreedt. Het asfalt bolt op. De asfaltlaag was in deze proeven maar 6 á 7 cm dik.

Om het gedrag van de verankering in een dikke asfaltlaag te beproeven heeft de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Apeldoorn de SWOV opdracht gegeven om trek- en afschuifproeven op ankerbouten in asfalt te laten uitvoeren. De asfaltlaag moet daarbij ongeveer 30 cm dik zijn. Dit onderzoek moet antwoord geven op de volgende vragen:

- Kunnen de vereiste krachten bij de verbrede STEP-barrier worden opgenomen met de beproefde ankerbouten in asfalt?
- Is een voorgestelde configuratie met vier standaardverankeringen te realiseren met de beproefde ankerbouten?

De resultaten van deze proeven op verankering in asfalt zullen tevens worden vergeleken met de resultaten van reeds uitgevoerde proeven in beton.

2. Opzet en uitvoering van het onderzoek

De SWOV heeft B + BTec Boor- en Bevestigingstechniek BV te Dordrecht opdracht gegeven om trek- en afschuifproeven op ankerbouten in asfalt te organiseren en uit te voeren. In samenwerking met de SWOV en de Bouwdienst heeft B + BTec een proevenprogramma opgezet. De Bouwdienst heeft de locatie voorgedragen waar de proeven zijn uitgevoerd.

2.1. Ankersystemen

De ankersystemen die zijn beproefd, zijn:

- lijmanker, glascapsules in combinatie met stalen ankerstangen (VD), zie *Bijlage 2, p. 14*.
- lijmanker, glascapsules in combinatie met binnendraadhulzen (VD-I), zie *Bijlage 2, p. 15*.
- mechanisch anker, de zogenaamde Schweizer Riegel (SR), zie *Bijlage 2, p. 16*.

De ankers bestaan uit draadeinden M 24, kwaliteit 8.8. De binnendraadhuls van de VD-I-verankering heeft een kwaliteit vergelijkbaar met 5.8. De kwaliteit van de Riegel van de SR-verankering is RVS 316. De Riegel is een soort moer onder in het boorgat waar de ankerbout in wordt gedraaid.

Alle drie typen ankers worden op trek en op afschuiven belast. Per type anker worden drie ankers beproefd. Hierdoor kan enig inzicht worden verkregen in spreiding van de resultaten en van de invloed van snelheid waarmee de proef wordt uitgevoerd. Tevens zijn bij het ankertype VD ook drie afwijkende plaatsingsdiepten toegepast. In *Bijlage 2, p. 5, Tabel 1* wordt een overzicht gegeven van de beproefde ankers.

Het 'bezwijkingsmechanisme' van de verankering kan in drie typen worden onderscheiden, die afzonderlijk of in combinatie met elkaar kunnen voorkomen:

- bezwijken van het staal;
- bezwijken van de lijmverbinding;
- bezwijken van het asfalt.

2.2. Locatie

De ankerbouten zijn op 12 april 1999 in asfalt aangebracht onder een viaduct over de A1, ter hoogte van afrit 22, Twello. De gaten zijn nat geboord met een diamantboor. De ankers zijn volgens voorschrift aangebracht en verlijmd in nog vochtige gaten. De proeven zijn drie dagen na het aanbrengen van de ankerbouten uitgevoerd. De temperatuur bedroeg circa 10°C.

De totale dikte van het asfalt was circa 260 mm. De samenstelling van het asfalt werd aan de hand van boorkernen (globaal) vastgesteld:

- circa 40 mm dicht asfaltbeton (DAB);
- circa 40 mm open asfaltbeton (OAB);
- circa 60 mm grint asfaltbeton (GAB);
- circa 60 mm grint asfaltbeton (GAB);
- circa 60 mm grint asfaltbeton (GAB).

De ankerbouten zijn zo ver uit elkaar geplaatst dat er naar verwachting geen invloed bij trek dan wel afschuiven op de andere ankers wordt uitgeoefend.

2.3. Proefopstelling

De Foto's 1 t/m 4 in Bijlage 2 geven een beeld van de proefopstelling onder het viaduct over de A1. De afschuifkrachten worden via een pilaar van het viaduct overgebracht op de ondergrond. De afstand van de steunen van het frame voor de trekproeven tot de ankerbout is groter dan de plaatsingsdiepte van de ankerbout. Aangenomen wordt dat deze afstand groot genoeg is om geen invloed op de trekproef te kunnen uitvoeren.

Voor de registratie van de kracht is een krachtdoos (loadcel) gebruikt met een bereik van 300 kN. Voor het meten van de verplaatsing is een contactloze verplaatsingsopnemer gebruikt. De belasting op de ankerbout vindt plaats via een hydraulische vijzel en een daarop aangesloten elektrische pomp.

De maximale belasting wordt na circa 4 minuten bereikt. Tijdens het uitvoeren van de proeven is besloten om ook enkele trekproeven uit te voeren met de maximaal mogelijke belastingssnelheid. De maximale belasting wordt dan na 20 seconden bereikt. Hierdoor wordt het ook mogelijk om de eventuele invloed van de belastingssnelheid vast te stellen.

3. Resultaten belastingsproeven

3.1. Afschuifproeven

Op de drie typen verankeringen zijn vijf afschuifproeven uitgevoerd. Bij de VD-verankering zijn beide ankerbouten gelijktijdig beproefd, bij de VD-I-verankering en de SR-verankering is één ankerbout per proef beproefd. De maximale slaglengte van de testapparatuur is niet lang genoeg om de beproefde typen verankeringen tot breuk te belasten.

In *Tabel 1* zijn de resultaten van de afschuifproeven ondergebracht.

Ankertype	Ankerbout	Bezwijking	Maximale belasting (kN)	Ankerdiepte (mm)
VD	2xM24	asfalt	193,5	210
VD-I	1xM24	asfalt+huls	89,5	210
VD-I	1xM24	asfalt+huls	119,5	210
SR	1xM24	asfalt	157,5	235
SR	1xM24	asfalt	127,7	235

Tabel 1. Resultaten van de afschuifproeven. Bij de VD-verankering zijn de twee ankerbouten gelijktijdig belast.

Ten gevolge van de relatieve grote verplaatsingen die tijdens de proeven optraden was het niet in alle gevallen mogelijk een volledig diagram te maken van de krachtopbouw tegen de verplaatsing. De maximale kracht is wel bekend, maar niet bij welke verplaatsing die kracht optrad.

Bij de VD-verankeringen en de SR-verankeringen wordt het asfalt vervormd en vervormen de ankerbouten, zie *Foto's 5, 6 en 7 van Bijlage 2*. De ankerbout op *Foto 7* is ongeveer 3,5 cm door het asfalt gedrukt. Op maaiveldhoogte is de ankerbout vervormd. De tweede vervorming ligt ongeveer 4 tot 5 cm onder het maaiveld.

Bij de VD-I-verankering wordt eerst het asfalt vervormd waarna de huls onder de ankerbout afbreekt, zie *Foto 8 van Bijlage 2*. Het breukvlak van de binnendraadhuls laat een brosse breuk zien. Dit geldt voor beide proeven. Ook de plaats van breken is gelijk. De materiaalkwaliteit van de binnendraadhuls is vergelijkbaar met 5.8. Alle proeven zijn uitgevoerd met de lage krachtopbouw.

De maximale afschuifkrachten van de VD-verankering en de VD-I-verankering zijn van gelijke grootteorde, per ankerbout zijn de gemiddelde krachten ongeveer 100 kN. De zogenaamde lineaire stijfheid bedraagt circa $6,3 \cdot 10^6$ N/m. De lineaire stijfheid is het quotiënt van de maximale kracht en de bij die kracht behorende verplaatsing. De afwijking in de maximale afschuifkrachten van de twee beproefde VD-I-verankeringen bedraagt ongeveer 14% van de gemiddelde kracht van 104,5 kN.

De maximale afschuifkracht van de SR-verankering ligt hoger, de gemiddelde afschuifkracht bedraagt 143 kN. De lineaire stijfheid is circa

5,3 10⁶ N/m. De afwijking in de maximale afschuifkracht van de twee beproefde SR-verankeringen bedraagt ongeveer 10% van het gemiddelde van 143 kN. In *Afbeelding 2 in Bijlage 1* zijn de resultaten van de afschuifproeven samengevat.

3.2. Trekproeven

Op de drie typen verankeringen zijn twaalf trekproeven uitgevoerd. Op elk type zijn drie trekproeven uitgevoerd, daarnaast bij de VD-verankering nog drie extra trekproeven met afwijkende plaatsingsdiepte. Bij de VD-I-verankering en de SR-verankering zijn twee van de drie verankeringen met een snelle krachtopbouw beproefd. De maximale belasting werd daarbij na circa 20 seconden bereikt. Bij de andere proeven vond de maximale belasting na circa 4 minuten plaats.

De maximale slaglengte van de testapparatuur is niet lang genoeg om de beproefde typen verankeringen tot breuk te belasten.

In *Tabel 2* zijn de resultaten van de trekproeven ondergebracht.

Ankertype	Ankerbout	Bezwijking	Maximale belasting (kN)	Ankerdiepte (mm)	Kracht per ankerlengte (N/mm)	Afschuifspanning lijmnaad (N/mm ²)
VD	1xM24	lijmnaad	52,7	210	250	2,9
VD	1xM24	lijmnaad	48,4	210	230	2,6
VD	1xM24	lijmnaad	42,5	210	200	2,3
VD	1xM24	lijmnaad	50,6	230	220	2,7
VD	1xM24	lijmnaad	52,5	250	210	2,8
VD	1xM24	lijmnaad	45,2	150	300	2,4
VD-I	1xM24	lijmnaad	66,3	210	315	2,5
VD-I*	1xM24	lijmnaad	98,5	210	470	3,7
VD-I*	1xM24	lijmnaad	101,4	210	480	3,8
SR	1xM24	asfalt	173,5	235	n.v.t.	n.v.t.
SR*	1xM24	asfalt	221,8	235	n.v.t.	n.v.t.
SR*	1xM24	asfalt	229,9	235	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 2. Resultaten van de trekproeven. De maximale belasting werd na 4 minuten bereikt. Twee ankertypen werden tevens met een snelle krachtopbouw beproefd (maximale belasting na 20 seconden).*

Ten gevolge van de relatieve grote verplaatsingen die tijdens de proeven optraden was het niet in alle gevallen mogelijk een volledig diagram te maken van de krachtopbouw tegen de verplaatsing. De maximale kracht is wel bekend, maar niet bij welke verplaatsing die kracht optrad.

Bij de VD-verankeringen en de VD-I-verankeringen breekt de lijmnaad (zie *Foto's 9 en 10 van Bijlage 2*) en bij de SR-verankeringen bezwijkt het asfalt, zie *Foto's 11 t/m 14 van Bijlage 2*.

Van de drie beproefde ankertypen geeft de VD-verankering de kleinste gemeten maximale trekkracht, uitgaande van een ankerdiepte van 210 mm gemiddeld 48 kN, en de SR-verankering veruit de grootste maximale

trekkracht van 173,5 kN (één meting bij een lage belastingssnelheid). De VD-I-verankering heeft een wat grotere maximale trekkracht dan de VD-verankering, namelijk 66,3 kN (één meting bij een lage belastingssnelheid).

De grootste afwijking in de gemeten maximale trekkrachten van de drie beproefde VD-verankeringen met een ankerdiepte van 210 mm bedraagt ongeveer 11% van het gemiddelde van 48 kN. Vergroting dan wel verkleining van de plaatsingsdiepte levert een evenredige vergroting dan wel verkleining van de maximale trekkracht op.

De VD-I-verankering heeft een bijna 40% grotere maximale trekkracht dan de VD-verankering. Bij een snelle krachtopbouw is de maximale trekkracht circa 50% groter dan bij de lage krachtopbouw. De spreiding in de trekkracht van de twee VD-I-verankeringen bij snelle opbouw van de kracht is klein.

Bij zowel de VD-verankering als de VD-I-verankering bolt het asfalt iets op. De hoogte van deze opbolling is enkele millimeters. De lijmverbinding is niet sterk genoeg om meer uitbollen van het asfalt te bewerkstellen. De lineaire stijfheid van de trekkracht bedraagt ongeveer $2,9 \cdot 10^7$ N/m voor beide verlijmde ankers.

De SR-verankering geeft de grootste maximale trekkracht, circa 3,5 maal die van een VD-verankering en circa 2,5 maal die van een VD-I-verankering. Bij een snelle krachtopbouw bij de SR-verankering is de maximale trekkracht circa 30% groter dan bij de lage krachtopbouw. De afwijking in de trekkracht van de twee beproefde SR-verankeringen bij snelle opbouw van de kracht bedraagt ongeveer 2% van de gemiddelde trekkracht van 226 kN. De lineaire stijfheid van de trekkracht bedraagt ongeveer $1 \cdot 10^7$ N/m.

Bij de SR-verankering is de opbolling van het asfalt veel groter dan bij de twee typen verlijmde verankeringen. Bij de proeven is ongeveer 2 cm gemeten. Gesteld moet worden, dat de twee SR-verankeringen niet tot breuk zijn belast (te weinig slaglengte). De opbolling kan dus veel groter worden bij verdergaande belasting.

Voor de afschuifspanning van de lijmnaad geldt, dat deze bij de trekproeven met een lage belastingssnelheid gemiddeld ongeveer $2,6 \text{ N/mm}^2$ bedraagt. De grootste afwijking van de gemiddelde afschuifspanning bedraagt ongeveer 12%. Het type lijmanker (VD of VD-I) en de plaatsingsdiepte heeft op de afschuifspanning geen noemenswaardige invloed. Verhoging van de belastingssnelheid blijkt een grotere afschuifspanning op te leveren, namelijk ongeveer $3,8 \text{ N/mm}^2$.

4. Vergelijking van ankerbouten in asfalt en beton

De sterkte van een standaardverankering, die in de simulaties wordt toegepast, is gebaseerd op trekproeven die in beton zijn uitgevoerd door het Keuringsinstituut en Laboratorium voor Bouw- en Metaalnijverheid (Levelt, 1992) en door de Technische Universiteit München (Kupfer, 1976). De trekproeven uitgevoerd door het Keuringsinstituut en Laboratorium voor Bouw- en Metaalnijverheid bestaan uit drie proeven met M16 8.8 draadeinden in beton met een kwaliteit van B45. De gemeten treksterkte bedraagt 105 kN, 111 kN en 113 kN. Gemiddeld geeft dit een maximale trekkracht van 110 kN. De maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde bedraagt bijna 5%.

De trekproeven uitgevoerd door de Technische Universiteit München bestaan uit vijf proeven met M16 8.8 draadeinden. Bij deze proeven werden twee draadeinden tegelijk uit het beton getrokken. De kwaliteit van het beton bedraagt B35. De gemeten treksterkte bedraagt 184 kN, 162 kN, 162 kN, 163 kN en 169 kN. Gemiddeld geeft dit een maximale trekkracht van 168 kN. Per draadeinde is dit $168 / 2 = 84$ kN. De maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde bedraagt bijna 10%.

Door TNO Bouw is een uitgebreide serie trekproeven op ankerbouten in beton uitgevoerd (Hordijk, 1996). Het betreft hier lijmankers van B + BTec, type VD met zeven verschillende diameters. Elke diameter is drie maal beproefd. De kwaliteit van de draadeinden is 8.8 en van beton is de sterkteklasse B35.

De gemeten treksterkte voor de M16 draadeinden bedraagt 94 kN, 101 kN en 96 kN. Gemiddeld geeft dit een maximale trekkracht van 97 kN. De maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde bedraagt bijna 3%. Deze waarden komen goed overeen met de waarden uit de twee hierboven beschreven onderzoeken.

De gemeten treksterkte voor de M24 8.8 draadeinden bedraagt 184 kN, 171 kN en 213 kN. Gemiddeld geeft dit een maximale trekkracht van 189 kN. De maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde bedraagt bijna 13%.

De snelheid van de krachtopbouw is laag, circa 3 minuten tot maximale belasting. Deze snelheid komt redelijk overeen met de snelheid van krachtopbouw bij de proeven in asfalt die in dit rapport zijn beschreven (4 minuten).

Voor de M16 8.8 draadeinden zijn de resultaten uit de bovenstaande drie onderzoeken vergelijkbaar. Hieruit kan worden afgeleid dat de resultaten met de M24 8.8 draadeinden (Hordijk, 1996) waarschijnlijk wel representatief zijn voor het gedrag van dit type ankers in beton.

Vergelijking van de resultaten van de proeven in asfalt met de resultaten van de proeven in beton moet aangeven of de gebruikte invoergegevens voor de verankeringen in de reeds uitgevoerde simulaties op H4-niveau voldoende betrouwbaar zijn om de conclusies van deze simulaties te kunnen handhaven.

Trekproeven

De trekproef op de M24 8.8 VD-verankering in asfalt wordt vergeleken met de trekproef op de M24 8.8 VD-verankering in beton uit de literatuur (Hordijk, 1996). Op beide verankeringen zijn drie trekproeven uitgevoerd. In *Tabel 3* zijn de resultaten van de proeven opgenomen. Daarnaast bevat de tabel de resultaten van proeven op de VD-I- en de SR-verankering bij een lage belastingsnelheid.

Ondergrond	Ankertype	Bezwijking	Maximale belasting (kN)	Afwijking t.o.v. gemiddelde (%)	Kracht per ankerlengte (N/mm)	Afschuifspanning lijmnaad (N/mm ²)
Beton	VD	beton	189	13	787	9,2
Asfalt	VD	lijmnaad	48	11	227	2,6
	VD-I	lijmnaad	66	n.v.t.	315	2,5
	SR	asfalt	173	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 3. Vergelijking van de resultaten van trekproeven in asfalt en beton. Bij de VD-ankers zijn de gemiddelden van drie trekproeven gegeven, bij de andere de resultaten van één trekproef.

Afbeelding 1 in Bijlage 1 is een grafische weergave van de krachtopbouw tegen de verplaatsing van de ankers, onder andere van de trekproeven die in *Tabel 3* vergeleken worden. De resultaten zijn weergegeven van trekproeven bij zowel lage snelheid van krachtopbouw (getrokken lijnen) als - voor sommige ankertypen - bij hogere snelheid van krachtopbouw (gestreepte lijnen). De getrokken zwarte lijnen zijn de drie trekproeven op de VD-ankers in asfalt. De getrokken rode lijn is de trekproef op het VD-I-anker in asfalt. De getrokken groene lijn is de trekproef op het SR-anker in asfalt. De getrokken blauwe lijn is het gemiddelde van de drie trekproeven op de M24 VD-ankers in beton. De blauwe streep-stip-lijn is het gemiddelde van de drie trekproeven op de M16 8.8 ankers in beton (Hordijk, 1996). Deze proeven komen goed overeen met de proeven uit de andere twee uitgevoerde series trekproeven (Kupfer, 1976; Levelt, 1992).

De krachtopbouw vindt bij verlijmde ankers in beton veel sneller plaats dan bij dit ankertype in asfalt. De maximale kracht wordt bereikt bij 1 tot 1,5 mm verplaatsing. De maximale kracht in asfalt wordt bereikt bij 2 tot 4 mm verplaatsing. De maximale kracht in beton is circa vier maal zo groot als in asfalt, circa 189 kN tegen circa 48 kN. De lineaire stijfheid van de verankering in beton bedraagt ongeveer $2,7 \cdot 10^8$ N/m en in asfalt ongeveer $2,9 \cdot 10^7$ N/m. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat asfalt veel plastischer reageert dan beton en minder sterk is. Het beton breekt en daarna de lijmnaad, terwijl het asfalt eerst enkele millimeters opbolt voordat de lijmnaad gaat breken. Na breken valt de kracht in beton sneller terug dan in asfalt. Door zijn plastische eigenschappen breekt het asfalt over een langere tijd.

Het SR-anker geeft een ander beeld in de krachtopbouw te zien dan de VD- en VD-I-ankers. De krachtopbouw verloopt in verhouding veel langzamer. De maximale kracht wordt pas bereikt bij naar schatting 25 mm verplaatsing. De maximale kracht is echter veel hoger dan de andere twee

verankeringen in asfalt, namelijk circa 173 kN. De lineaire stijfheid is veel lager, namelijk $1 \cdot 10^7$ N/m. Deze lage stijfheid wordt veroorzaakt, doordat slechts een relatief klein voorwerp door het asfalt wordt getrokken, namelijk de Riegel (zie *Bijlage 2, p. 16*).

Het breekpatroon van de ankerbouten in beton en asfalt verschilt ook sterk. Bij verlijmd ankers in beton breekt eerst het beton en daarna breekt de lijmnaad. Er vindt min of meer een 'brosse' breuk plaats (zie *Bijlage 1, Afbeelding 3*). Bij verlijmd ankers in asfalt bolt eerst het asfalt met enkele millimeters op en daarna breekt de lijmnaad. Er vindt een soort 'verharding' in het asfalt op waardoor het niet breekt (zie *Bijlage 1, Afbeelding 4*).

Afschuifproeven

In de beschikbare literatuur over belastingsproeven in beton zijn geen proeven op afschuiven gevonden. Een vergelijking met afschuifproeven in asfalt is dus niet mogelijk.

Afbeelding 2 in Bijlage 1 is een grafische weergave van de krachtopbouw tegen de verplaatsing van de ankers bij afschuifproeven in asfalt, bij lage snelheid van krachtopbouw. De getrokken zwarte lijn is het resultaat van de afschuifproef op de dubbele VD-ankers in asfalt. De zwarte streeplijn is het geschatte resultaat van een enkele VD-anker. De getrokken rode lijnen zijn de resultaten van de afschuifproeven op de VD-I-ankers in asfalt. De getrokken groene lijnen representeren de afschuifproeven op de SR-ankers in asfalt.

Vooralsnog wordt aangenomen dat de verschillen tussen afschuifproeven in asfalt en beton overeenkomen met de verschillen tussen de trekproeven in asfalt en beton. Dit houdt in dat de afschuifproeven in beton (veel) hogere maximale afschuifkrachten geven dan in asfalt, en dat de verplaatsingen (veel) kleiner zullen zijn.

Voor zover bekend zijn er geen proeven in beton uitgevoerd met een snelle krachtopbouw. Er zijn echter geen redenen aan te voeren, waarom in beton de krachten bij een snelle krachtopbouw niet hoger zullen zijn dan bij een langzame krachtopbouw.

Samenvattend

Samenvattend wordt gesteld dat de SR-verankering in asfalt een goede vervanger is voor de lijmverankering in beton. De sterkte van de standaardverankering in de uitgevoerde simulaties voor de STEP-barrier is gebaseerd op trekproeven op M16 8.8 ankerbouten in beton. De treksterkte van deze ankerbouten bedraagt ongeveer 100 kN. Om in asfalt aan deze waarde te kunnen voldoen, moet de SR-verankering worden toegepast. Uit de trekproef blijkt dat het SR-anker in asfalt een treksterkte van 173 kN levert. Dit is ruim voldoende. Worden de standaardverankeringen in de simulaties vervangen door de SR-verankeringen, dan zullen de conclusies uit de uitgevoerde simulaties niet wezenlijk veranderen. Door de wat grotere verplaatsingen van de ankerbouten in asfalt, zal de barrier waarschijnlijk wat minder star reageren dan met de ankerbouten in beton. De VD-verankering en de VD-I-verankering zijn met hun respectievelijk 48 kN en 66 kN niet sterk genoeg. Bovendien lijkt de VD-I-verankering minder geschikt in verband met zijn relatief lage maximale afschuifbelasting.

5. Discussie

Op grond van de resultaten van de uitgevoerde belastingsproeven op ankerbouten in asfalt, wordt nader ingegaan op een aantal omstandigheden die de resultaten van deze proeven kunnen beïnvloeden in zowel positieve als negatieve zin.

Verankering op H4-niveau

Uit simulaties van Van de Pol (1999) blijkt dat een STEP-barrier op H4-niveau vier standaardverankeringen per 6 meter elementlengte moet hebben om aan dit H4-niveau te voldoen. De standaardverankering bestaat uit vier ankerbouten M16 8.8. Deze ankerbout in beton kan maximaal 100 kN als trekkracht opnemen. Per standaardverankering kan dus maximaal 400 kN aan trekkracht worden overgebracht. De benodigde vier standaardverankeringen leveren dus een treksterkte van 1600 kN op. Uit de resultaten van de trekproeven in asfalt blijkt dat alleen de SR-verankering aan deze benodigde trekkracht kan voldoen. Het aantal verankeringen per element en het aantal ankerbouten per verankering blijven elk gelijk, namelijk vier. Eén verankering levert dan vier maal 173 is 692 kN aan trekkracht op. De vier verankeringen leveren gezamenlijk dus 2768 kN aan trekkracht op. Dit is ruim voldoende.

Wijze van breken ankertypen

De maximale slaglengte van de pers is niet groot genoeg om tijdens de afschuifproef de ankerbouten tot breuk te belasten. Bij de trekproeven is de slaglengte van de pers wel lang genoeg bij de verlijmdde verankeringen. Bij de SR-verankeringen is de slaglengte bij lange na niet genoeg om de verankering tot breuk te belasten.

Bij de VD-I-verankering, op afschuiven belast, braken bij beide proeven de binnendraadhulzen. De breukvlakken laten een brosse breuk zien. Mogelijk is de vorm van de binnendraadhuls niet geschikt voor deze vorm van belasten. Beide zijn op dezelfde plaats gebroken, aan de onderkant van de binnendraad. De vervormingslengte van het asfalt in zijdelingse richting is relatief groot ten opzichte van de diepte in het asfalt waarover deze verplaatsing plaats vindt. Bij de trekproeven braken de binnendraadhulzen niet af.

Het is onduidelijk wat er zal gebeuren wanneer de VD- en de SR-verankeringen met voldoende slaglengte van de pers worden belast. De ankerbouten zullen verder door het asfalt "snijden" en de vervorming van de ankerbout zal veel groter worden. Hoe een breuk zal ontstaan is niet voorspelbaar.

Invloed temperatuur

De proeven zijn begin april uitgevoerd. De temperatuur tijdens het uitvoeren van de proeven is niet boven de 10 °C geweest. Vooralsnog wordt aangenomen dat de invloed van de temperatuur van het asfalt op de trekproeven niet groot zal zijn. De invloed van de buitentemperatuur zal daarvoor naar verwachting niet diep genoeg in het asfalt merkbaar zijn. Daarentegen kan de invloed van de temperatuur bij de afschuifproeven wel groot zijn. Bekend is, dat bij zeer warm weer de bovenlaag zelfs 'stroperig' kan worden. Als deze invloed enkele centimeters diep gaat, kan de

vervorming van de ankerbouten bij afschuiving (veel) groter worden, voordat een breukmechanisme in werking treedt.

Invloed snelheid krachtopbouw

Tijdens het uitvoeren van de trekproeven is besloten om enkele proeven uit te voeren met de maximale belastingssnelheid die de testapparatuur toelaat. De maximale belasting wordt dan reeds na 20 seconden bereikt. De snelheid van de krachtopbouw blijkt duidelijk invloed te hebben op de grootte van de maximale kracht, maar ook op de snelheid waarmee deze kracht (de stijfheid) wordt bereikt.

Verhoging van de snelheid van de krachtopbouw van 4 minuten naar 20 seconden tot maximale kracht levert een vergroting van de maximale trekkracht op van 30% tot 50%. Verondersteld mag worden, dat dit ook het geval zal zijn bij afschuiving.

De spreiding in de maximale trek- en afschuifkrachten is bij de langzame krachtopbouw groter dan bij de snelle krachtopbouw. Dit ligt in de lijn van de verwachting.

Bij een aanrijding is de krachtopbouw nog veel sneller, een aanrijding duurt slechts 2 tot 3 seconden.

Invloed ankertype

Bij de afschuifproeven van de verlijmde ankers lijkt het ankertype niet een al te grote invloed op de grootte van de krachten te hebben. Het is mogelijk dat bij de VD-I-verankering, wanneer de binnendraadhuls niet breekt, de afschuifkracht groter zal zijn. De afschuifkracht bij de SR-verankering ligt beduidend hoger (ruim 40%) dan bij de lijmverankeringen.

Bij de trekproeven blijken er wel duidelijke verschillen tussen de verlijmde ankers. De VD-I-verankering is grofweg 40% sterker dan de VD-verankering. De SR-verankering is veel sterker, ongeveer 3,5 maal sterker dan de VD-verankering en 2,5 maal sterker dan de VD-I-verankering.

Invloed plaatsingsdiepte

Bij de VD-verankering is de plaatsingsdiepte gevarieerd. De invloed van de plaatsingsdiepte van het anker op de maximale trekkracht blijkt daarbij ongeveer evenredig met de plaatsingsdiepte. Hoe dieper het anker wordt verlijmd, hoe groter de maximale trekkracht zal worden. Dit gaat op totdat de vloeigrens van het materiaal van het anker wordt bereikt, dan breekt het anker en niet de lijmnaad. Bij de afschuifproeven is de plaatsingsdiepte niet gevarieerd. Vooral nog wordt aangenomen dat bij afschuiving de plaatsingsdiepte (veel) minder invloed zal hebben op de maximale afschuifkracht dan bij trek.

Invloed vocht in boorgat bij lijmen

Tijdens het verlijmen van de ankers was het boorgat nog vochtig. In hoeverre dit, samen met de lage temperatuur (maximaal 10°C), invloed heeft op de kwaliteit van de lijmnaad, is niet bekend. Het proces van uitharden vond plaats in drie dagen.

Invloed onderlinge afstand ankerbouten

Wanneer verscheidene ankerbouten voor een verankering worden gebruikt, is de onderlinge afstand tussen de ankerbouten van (groot) belang. Staan de ankerbouten te dicht bij elkaar, dan beïnvloeden de breekkrachten in de ankerbouten elkaar. Voor een M24 SR-ankerbout in beton betekent dit bijvoorbeeld een aanbevolen hartafstand tussen de ankerbouten van

580 mm. Dit is circa 2,5 maal de plaatsingsdiepte van de ankerbout. Voor een M16 SR-ankerbout in beton is de aanbevolen hartafstand 420 mm. Voor ankerbouten in asfalt zijn geen aanbevolen afstanden bekend. Uit de uitgevoerde proeven blijkt echter wel, dat de ankerbouten elkaar onderling beïnvloeden. Uit de *Foto's 9 t/m 14 van Bijlage 2* blijkt deze invloed. De opbolling van het asfalt bij de trekproeven op de VD- en de VD-I-verankering is klein (*zie Foto's 9 en 10*). Bij de trekproeven op de SR-verankering ontstaan naast het opbollen van het asfalt ook (grote) scheuren in het asfalt. De invloed van de scheuren strekt zich in een cirkel om de ankerbout uit, met een straal van minimaal de plaatsingsdiepte van de ankerbout.

6. Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van de uitgevoerde belastingsproeven leiden tot de volgende conclusies en aanbevelingen.

Conclusies

Als belangrijkste conclusie kan worden gesteld dat de SR-verankering een goed alternatief is, om in asfalt als verankering op H4-niveau te worden toegepast. De vier SR-verankeringen leveren gezamenlijk 2768 kN, tegen 1600kN van de standaardverankeringen die gebruikt zijn in de simulaties voor de verbrede STEP-barrier.

De SR-verankeringen in asfalt nemen een grotere afschuifkracht op dan de andere twee verankeringen (VD en VD-I). De maximale afschuifkracht van de SR-verankering bedraagt circa 140 kN tegen circa 100 kN van de andere twee verankeringen. De ankerbouten vervormen over een afstand van meer dan 4 cm. De binnendraadhuls van de VD-I-verankering kan deze grote vervorming niet aan en breekt reeds bij een vervorming van circa 2 cm. De afwijking ten opzichte van de gevonden gemiddelde afschuifkracht bij de SR-verankering bedraagt circa 10% en bij de VD-I-verankering circa 14%. De lineaire stijfheid bij de SR-verankering bedraagt circa $5,3 \cdot 10^6$ N/m en bij de andere twee verankeringen circa $6,3 \cdot 10^6$ N/m.

De SR-verankeringen in asfalt nemen tevens een veel grotere trekkracht op dan de andere twee verankeringen (VD en VD-I). De maximale trekkracht van de SR-verankering bedraagt circa 173 kN tegen respectievelijk circa 48 kN en 66 kN van de andere twee verankeringen. Deze maximale trekkracht wordt echter veel later bereikt. De verplaatsing bedraagt ongeveer 25 mm tegen ongeveer 3 mm bij de andere twee verankeringen. Hierdoor is de lineaire stijfheid van de kracht van de SR-verankering ook lager dan bij de verlijmde verankeringen. De lineaire stijfheid van de SR-verankering bedraagt $1 \cdot 10^7$ N/m en van de verlijmde ankers circa $2,9 \cdot 10^7$ N/m. Bij de VD-verankering is de gemeten afwijking ten opzichte van de gevonden gemiddelde trekkracht circa 11%.

Het opvoeren van de belastingsnelheid heeft een duidelijke invloed op de hoogte van de maximale trekkracht. Bij de VD-I-verankering is deze trekkracht ongeveer 50% groter. Bij de SR-verankering is de maximale trekkracht ongeveer 30% groter.

De spreiding in de gemeten maximale krachten is bij de opgevoerde belastingsnelheid veel kleiner dan bij de lage belastingsnelheid.

Verlijmde ankers in asfalt nemen een veel kleinere trekkracht op dan in beton. De trekkracht in beton is circa vier maal zo groot. Ook de lineaire stijfheid van de verlijmde ankers is in asfalt veel lager dan in beton. De lineaire stijfheid in beton is circa tien maal zo groot. Het terugvallen van de kracht in asfalt vindt over een veel grotere afstand plaats dan in beton. Het beton geeft de indruk van een 'brosse' breuk en het asfalt veel meer van een plastische breuk.

De SR-verankering in asfalt heeft een maximale belasting van dezelfde grootteorde (circa 180 kN) als die van de verlijmde M 24 8.8 verankering in

beton. De krachtopbouw vindt echter over een grotere afstand plaats dan in beton. Dit geldt voor zowel trek als afschuiven. De (standaard)verankering voor voertuigkeringen op asfalt die tot nu toe door Rijkswaterstaat worden gebruikt, is gebaseerd op de M 24 4.6 ankerbouten. Deze ankerbouten leveren een vloeikracht van circa 85 kN en een breekkracht van 143 kN. De SR-verankering voldoet aan deze krachten, de andere twee verankeringen (VD en VD-I) niet.

De onderlinge afstand van de ankerbouten (gezien in de lengterichting van de constructie) verdient aandacht. Zeker bij toepassing van de SR-ankerbouten heeft deze afstand invloed op de maximaal toelaatbare belasting op de ankerbout.

Aanbevelingen

Dit onderzoek was opgezet om op korte termijn te kunnen vaststellen of afschermvoorzieningen op H4-niveau met goed gevolg in asfalt kunnen worden verankerd.

Uit de resultaten van het onderzoek zijn een aantal factoren naar boven gekomen die de resultaten van dit onderzoek hebben kunnen beïnvloeden. Deze omstandigheden verdienen nader onderzoek en worden hieronder genoemd:

- de invloed van een zeer snelle krachtopbouw (maximaal 2 seconden) op de maximale trek- en afschuifkracht;
- de invloed van de gladheid van het boorgatoppervlak;
- de relatie tussen de indringingsdiepte van de buitentemperatuur in het asfalt en de krachtopname;
- de invloed van de plaatsingsdiepte op de afschuiving van een VD- of een SR-verankering;
- de relatie tussen de omvang van de Riegel bij de SR-verankering en de lineaire stijfheid van de kracht;
- de invloed van de onderlinge afstand van twee ankerbouten op de maximaal toelaatbare trekkracht op beide ankerbouten.

Literatuur

CEN (1998a). *Road restraint systems. Part 1: Terminology and general criteria for tests methods*. NEN-EN 1317-1 Comité Européen de Normalisation.

CEN (1998b). *Road restraint systems. Part 2: Safety barriers. Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods*. NEN-EN 1317-2 Comité Européen de Normalisation.

Hordijk, D.A. (1996). *Trekproeven op lijmmankers van B + BTec; Systeem: Hamercapsule HaC met draadeinden M8, M10, M12, M16, M20, M24 en M30*. 96-CON-R0628/05. TNO Bouw, Delft.

Kupfer, H. (1976). *Bericht über 5 Auszieversuche an Verbundankern M16 "SYSTEM-NEHER Typ E-16-8-150"*. Technische Universität München.

Levelt, F.J. (1992). *Lijmen van ankers in beton*. Rapport nummer 246259 B. Koning & Bienfait B.V., Keuringsinstituut en Laboratorium voor Bouw- en Metaalnijverheid, Amsterdam.

Pol, W.H.M. van de (1996). *Twee botsproeven op de verankerde stalen STEP-barrier*. R-96-26. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Pol, W.H.M. van de (1999). *Verbrede STEP-barriers, simulatieonderzoek op H4-niveau*. A-99-13. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam [Niet openbaar].

Bijlage 1

Afbeeldingen 1 t/m 4

Afbeelding 1. *Krachtopbouw en verplaatsing van M24 ankerbouten in asfalt (rood, groen en zwart) en van M24 en M16 ankerbouten in beton (blauw) bij de trekproeven.*

Afbeelding 2. *Krachtopbouw en verplaatsing van M24 ankerbouten in asfalt bij de afschuifproeven.*

Afbeelding 3. *Schematische weergave van het breekpatroon van een verlijmde ankerbout in beton.*

Afbeelding 4. *Schematische weergave van het breekpatroon van een verlijmde ankerbout in asfalt.*

Bijlage 2

Rapport B + BTec

Verslag van trek- en afschuifproeven op drie typen M24 verankeringen in asfalt (B + BTec, rapport 99-SAS-N018/02, 7 mei 1999).

