

WINDHINDER VOOR HET WEGVERKEER

Een probleemanalyse, mogelijkheden voor oplossingen (o.a. een "half-open" windscherm) een onderzoeksmethodiek, en een toepassing voor de stormvloedkering Oosterschelde

Consult ten behoeve van de Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde

R-82-24

Drs. P.I.J. Wouters

Leidschendam, 1982

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

In dit consult wordt een probleemanalyse gegeven van de hinder van wind en de mogelijke gevolgen daarvan voor de veiligheid van het wegverkeer over de toekomstige stormvloedkering in de Oosterschelde. Te verwachten is dat ter plekke sprake zal zijn van een aanmerkelijke toename in windsterkte, gecombineerd met dusdanige variaties in windsnelheid en windrichting, dat koers houden vooral voor storingsgevoelige bestuurder/voertuigcombinaties ernstig bemoeilijkt wordt.

Aanbevolen wordt dan ook maatregelen te treffen, waartoe twee mogelijkheden voor oplossingen besproken worden. De eerste bestaat uit het instellen van alternerend eenrichtingsverkeer en het tegelijkertijd instellen van een wind(snelheid en richting)afhankelijke snelheidsbeperking. De tweede uit het aanbrengen van een "half-open" windscherm voor wind uit westelijke richtingen en een windafhankelijke snelheidsbeperking in aanvulling daarop voor wind uit oostelijke richtingen.

Tevens wordt een opzet voor onderzoek gegeven ter toetsing van de probleemanalyse en ter ontwikkeling van een oplossing, waarbij de aandacht vooral uitgaat naar die van een "half-open" windscherm voor het breken van de wind en voor het wijzigen van het profiel van luchtstroming. In dit onderzoek, waarvan de methode van onderzoek generaliseerbaar is, worden resultaten van windtunnel- en mens/machinesysteem-simulaties met elkaar in verband gebracht.

SUMMARY

Hindrance of wind for road traffic

The report deals with the hindrance of wind for the traffic on a future dam in the Oosterschelde estuary, the Netherlands, and with possible local countermeasures.

An analysis points out a considerable increase of windstrength in combination with changes in windspeed and -direction so that severe difficulties in course holding, especially of sensitive driver/vehicle-combinations, are to be expected.

Therefore countermeasures are recommended, of which two kinds are

discussed. One concerns a restriction of the traffic flow by introducing alternating one-way traffic, combined with a wind-dependent speed-limit. The other suggests the construction of a partly-permeable screen to brake the wind and to change the windprofile for westerly winds, and a wind-dependent speed-limit for easterly winds.

The report also contains a research method for testing the theoretical analysis and for finding solutions; in particular the design-features of the screen. This method, in which results of windtunnel measurements and man/machine-system simulations are related, may be generalised.

INHOUD

1. Inleiding
2. Probleemanalyse
 - 2.1. De probleemsituatie
 - 2.2. De windomstandigheden
 - 2.3. De inwerking van wind op het verkeer
3. Inventarisatie van oplossingen
 - 3.1. Een overzicht van maatregelen en voorzieningen
 - 3.2. Een "half-open" windscherm
 - 3.3. Een keuze voor een oplossing
4. Het ontwikkelen van een oplossing
 - 4.1. Doel en inrichting van onderzoek
 - 4.2. Opzet van de eerste fase van onderzoek
 - 4.2.1. Het eerste deelproject van Fase 1
 - 4.2.2. Het tweede deelproject van Fase 1
 - 4.2.3. Het derde deelproject van Fase 1
 - 4.3. Opzet van de tweede fase van onderzoek
 - 4.3.1. Het eerste deelproject van Fase 2
 - 4.3.2. Het tweede deelproject van Fase 2
 - 4.3.3. Het derde deelproject van Fase 2
 - 4.3.4. Een (mogelijk) extra deelproject van Fase 2
 - 4.4. Opzet van de derde fase van onderzoek
 - 4.4.1. Het eerste deelproject van Fase 3
 - 4.4.2. Het tweede deelproject van Fase 3
5. Tenslotte

Literatuur

Bijlagen

1. INLEIDING

Het consult heeft tot onderwerp de hinder van wind voor het wegverkeer en in het bijzonder het ontwikkelen van een oplossing voor de veiligheid van het verkeer over de toekomstige stormvloedkering in de Oosterschelde.

Het bevat een analyse van de te verwachten eigenschappen van de wind en van de problemen die het verkeer hiervan kan ondervinden. Dit voor een situatie die gekenmerkt wordt door een weg hoog boven open water en een door de vormgeving van de stormvloedkering beïnvloede luchtstroming. Vervolgens worden de voorzieningen en maatregelen geïnventariseerd die er toe kunnen bijdragen om, al dan niet in combinatie met elkaar, de windinwerking op het verkeer dan wel de gevolgen ervan tot een aanvaardbaar niveau te beperken. Tevens bevat het consult een opzet voor onderzoek ter toetsing en kwantificering van genoemde probleemanalyse, die theoretisch en kwalitatief van aard is en ter ontwikkeling van een bepaalde, mogelijk effectieve oplossing voor de windhinder, namelijk een scherm voor het breken van de wind en voor het wijzigen van het profiel van luchtstroming. Het onderzoek betreft voornamelijk laboratoriumonderzoek, waarbij resultaten van windtunnelmetingen en mens/machinesysteem-simulaties met elkaar in verband gebracht worden.

Het consult is opgesteld ten behoeve van de Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde.

De onderdelen: probleemanalyse en inventarisatie van oplossingen zijn aanvankelijk in het kort behandeld ter advisering van Rijkswaterstaat over de vraagstelling of er op de stormvloedkering uit overwegingen van verkeersveiligheid voorzieningen of maatregelen met betrekking tot windhinder getroffen dienen te worden en zo ja, welke mogelijkheden er daarvoor bestaan.

Nadat Rijkswaterstaat het besluit genomen had tot onderzoek over te treffen maatregelen, waarbij de voorkeur uitgesproken werd voor die van het plaatsen van schermen langs de wegwand, werd de SWOV gevraagd een consult te brengen over de aanpak en uitvoering van een onderzoek dat tot doel heeft de juiste vorm en wijze van plaatsing van schermen vast te stellen (zie Bijlage 1).

Hierop is gezien de tijdsdruk in eerste instantie gereageerd met een SWOV-nota: "Windhinder voor het wegverkeer op de stormvloedkering Oosterschelde"; Onderzoekopzet (88590, augustus 1981). Vanwege de inhoudelijke samenhang in zowel de vraagstellingen als hun beantwoordingen, bevat dit consult niet alleen de gevraagde onderzoekopzet, maar ook de beide hiervoor genoemde onderdelen.

Het consult is opgesteld door drs. P.I.J. Wouters (Afdeling Pre-crash onderzoek SWOV).

2. PROBLEEMANALYSE

In dit hoofdstuk komt achtereenvolgens aan de orde: een beschrijving van de locatie, een analyse van de windomstandigheden op de weg over de stormvloedkering en een probleemstelling met betrekking tot de invloed van die omstandigheden voor de veiligheid van het verkeer ter plekke.

2.1. De probleemsituatie

Door middel van twee kunstmatige eilanden wordt de Oosterschelde in drie stroomgaten opgedeeld. Gerekend van Schouwen-Duiveland af zijn deze stroomgaten respectievelijk ongeveer 1200 m, 1100 m en 1900 m breed. In de toekomst kunnen ze afgesloten worden met daartoe neer te laten schuiven, respectievelijk 15, 16 en 32 in aantal. Doorgaans zullen de schuiven opgetrokken blijven, omdat de stroomgaten alleen bij extra hoge waterstanden afgesloten worden.

Ter verbinding van Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland is een weg geprojecteerd, deel uitmakend van het Rijkswegenplan. Deze weg komt van de zeezijde gerekend, achter de schuiven te liggen op +12 m NAP, of loopt over de kunstmatige eilanden. De trajecten over water zijn respectievelijk N-Z, NNO-ZZW en N-Z georiënteerd.

De schuiven worden opgehangen tussen pijlers. Deze pijlers steken boven het wegooppervlak uit. Ter hoogte van het wegdek zijn ze ca. 8,5 m breed met middenin een opening van ca. 3,5 m. De schuiven zijn 45 m breed. Als ze zijn opgetrokken steekt een aantal eveneens boven het wegooppervlak uit en wel tot ca. 1 m. De overige reiken tot weghoogte of tot ca. 5 m daaronder. De onderkanten van de schuiven bevinden zich dan op +1,2 m NAP. Bijlage 2 is de door RWS verstrekte tabel van de hoogten van de bovenkanten van de schuiven. Opgemerkt wordt dat een schuif tijdens onderhoud 1,3 m hoger geheven wordt dan in de tabel aangegeven is en dat dit voor enige schuiven altijd zal gelden.

In eindfase van de bouw kent de wegindeling een aan zeezijde gelegen deel bestemd voor een werkweg en een deel bestemd voor een enkelbaans autoweg voor tweerichtingverkeer (zie Bijlage 3). De rijstroken worden 3,5 m breed en de kantstroken 2 m. De kortste afstand tussen autoweg en de pijlers en schuiven van de stormvloedkering bedraagt ca. 10 m.

Het ligt in de bedoeling op het werkwegdeel langs de geleiderailconstructie die tussen werk- en autoweg aangebracht wordt, een rijwielpad aan te leggen.

2.2. De windomstandigheden

De windomstandigheden op de weg over de stormvloedkering zoals onderzocht door de verkeersdeelnemer zijn uiteindelijk het resultaat van eigenschappen van de heersende wind en invloeden daarop van de vormgeving van de stormvloedkering en van het overige verkeer.

Natuurlijke wind

In de grenslaag boven het aardoppervlak neemt de gemiddelde windsnelheid toe met het toenemen van hoogte en met het afnemen van de zogenaamde oppervlakteruwheid (zie bijv. Rijkooft, 1968). Deze toename in gemiddelde windsnelheid zal voor de weg over de stormvloedkering aanzienlijk zijn, gegeven een hoogte van +12 m NAP en de lage oppervlakteruwheid van open zee. Teneinde enige indicatie van dit effect te geven, maar onder het voorbehoud dat voornamelijk nauwkeurige gegevens hierover ontbreken, het volgende rekenvoorbeeld. Uit de formule voor het logaritmisch windprofiel volgt dat op 15 m hoogte boven open zee (de "ruwheidsparameter" $\equiv Z_0 = 10^{-3}$ m) de gemiddelde windsnelheid 2,5 maal hoger is dan op 5 m boven land, gekarakteriseerd als een homogeen landschap van "weiland, akkerbouw en heggen" ($Z_0 = 10^{-1}$ m).

De verdeling van windrichtingen (zie KNMI, 1972) duidt erop dat wind van hogere sterkte vooral uit westelijke tot zuidelijke richtingen komt.

Invloeden op de luchtstroming

Duidelijk is dat beïnvloeding van de luchtstroming voornamelijk zal optreden bij windrichtingen niet-parallel aan de stormvloedkering, derhalve voor wind uit westelijke en oostelijke richtingen. Te onderscheiden zijn invloeden van:

A. De stormvloedkering als zodanig

De aanwezigheid van de stormvloedkering in een verder vlakke omgeving veroorzaakt bij zijwind opstuwung van lucht, vooral wanneer de schuiven opgetrokken zijn en meer naarmate de schuiven hoger reiken. Dit zal onder meer tot een forse toename van de windsnelheid leiden. Het effect verschilt voor wind uit westelijke en oostelijke richtingen. Bij westelijke windrichtingen is namelijk sprake van een (vrijwel) dichte wand (een "vlakke plaat"-situatie), terwijl bij oostelijke wind de lucht eerst in de ruimte tussen de pijlers, waarop het wegdek rust, samengedrukt wordt.

B. De pijlers

De pijlers waartussen de schuiven bevestigd zijn, schermen periodiek om de 45 m en over een lengte van ca. 8,5 m de wind af en veroorzaken daarmee bij westelijke wind ter hoogte van derijweg een min of meer deterministische storing (die gesuperponeerd wordt op de stochastische storing van natuurlijke wind).

C. De schuiven

In opgehaalde toestand variëert de hoogte van de bovenkanten van de schuiven. In verband met de zgn. opstuwung van lucht is al opgemerkt dat dit zal leiden tot verschillen in de (gemiddelde) windsnelheid op de weg. Een ander gevolg van opstuwung is dat de stromingsrichting van de lucht verandert.

Steekt een schuif boven het wegdek uit, dan ontstaat bij westelijke windrichtingen achter de schuif een zone die gekenmerkt wordt door een verlaagde (gemiddelde) winddruk en het bestaan van "stationnaire" wervels dwars over de weg. Deze wervels kunnen leiden tot omkering van de windrichting (zie bijv. Plate, 1966). Ook voor schuifhoogten gelijk aan die van het wegoppervlak of daar niet al te ver onder mag een dergelijk effect op de luchtstroming vlak boven de rijweg verwacht worden.

D. Het overige verkeer

Voertuigen schermen wind die van opzij komt af. Hierdoor ontstaan er aan de lijzijde van het voertuig aan zijn voor- en achterkant, plotse-linge verschillen in windsnelheid. Daarnaast veroorzaakt een rijdend voertuig zelf luchtverplaatsingen. De luchtstromingen die daarvan het

gevolg zijn worden gekenmerkt door een "boeggolf" aan de voorkant van het voertuig en een "kielzog" aan de achterkant. Deze effecten zijn vooral van belang als storing voor lichtere voertuigen als personenauto's en bestelbusjes wanneer deze bij harde zijwind vrachtwagens of autobussen passeren, dan wel er door gepasseerd worden (zie bijv. Wouters & Mooyman, 1980).

Benadrukt wordt dat voorgaande analyse van de windomstandigheden op de weg over de stormvloedkering op theoretische overwegingen berust en verder kwalitatief van aard is.

Wat de theoretische overwegingen betreft zou toetsing en eventuele aanvulling erop mogelijk zijn door middel van windtunnelmetingen aan schaalmodellen en, wanneer (een deel van) de stormvloedkering eenmaal gereed is, met veldmetingen ter plaatse.

Over de kwalitatieve aard van de analyse zij opgemerkt dat ervan uitgegaan moet worden dat langs theoretische weg geen voldoende nauwkeurig kwantitatief beeld van de windomstandigheden te verkrijgen is. Daartoe zijn eveneens windtunnel-, dan wel veldmetingen noodzakelijk. Duidelijk is dat het ontbreken van kwantitatieve gegevens een beperking vormt voor de hierna te geven probleemstelling betreffende de inwerking van wind op het verkeer.

2.3. De inwerking van wind op het verkeer

Door de inwerking van wind worden de bewegingen van voertuigen beïnvloed. De bestuurder of berijder van het voertuig dient de ontstane afwijking in deze bewegingen, en in het bijzonder die welke de positie en de koers van het voertuig op, respectievelijk ten opzichte van de weg betreffen, te ondervangen. In dit regelproces zijn eigenschappen van de windstoring, het voertuig en de bestuurder of berijder, ook in hun onderlinge relatie, van belang.

In een eerder uitgebracht consult over windhinder op de Moerdijkbrug (SWOV, 1979) wordt op deze eigenschappen en hun onderlinge relatie uitvoeriger ingegaan. Kortheidshalve daarnaar verwijzend, wordt hier slechts vermeld dat van windstoring de grootte en frequentie van belang zijn, vooral bestelbusjes, personenauto/caravancombinaties en de

verschillende typen tweewielers gevoelig zijn voor windinwerking en dat bestuurders slechts voertuigbewegingen tot een bepaalde frequentie adequaat kunnen beheersen en voor hen zaken als ervaring, voorspelbaarheid van de storing, periodiciteit in voertuigbewegingen e.d. een belangrijke rol spelen.

Het verkeer op de autoweg over de stormvloedkering staat bloot aan wind van hogere sterkte dan die van de tezelfder tijd over lager gelegen land heersende wind. Bij opgetrokken schuiven zal de windsterkte voor windrichtingen niet-parallel aan de stormvloedkering nog meer toenemen. Het een en ander tengevolge van de in par. 2.2. beschreven effecten van het toenemen van de gemiddelde windsnelheid met de hoogte en bij geringere oppervlakteruwheid en door opstuwung van lucht. Verder dient opgemerkt dat natuurlijke wind in de grenslaag "vlagerig" is, met andere woorden fluctuaties in snelheid en richting vertoont, en daarmee een stochastische storing vormt.

Voor windrichtingen (nagenoeg) evenwijdig aan de weg zal wind (voornamelijk) een af- of toename van rijsnelheden veroorzaken. Bij wind van (meer) opzij zijn (ook) dwarsverplaatsingen en koershoekwijzigingen van een voertuig het gevolg. De mate waarin dit laatste gebeurt is behalve van de windsterkte en windrichting, tevens afhankelijk van de dynamische eigenschappen van het voertuig. Als de bestuurder of berijder deze afwijkingen niet tijdig in voldoende mate ondervangt ("compensatory control"), leidt dit uiteindelijk tot een buiten de rijstrook geraken; een situatie, die als verkeersonveilig te bestempelen valt. Het reageren van een bestuurder op deze afwijkingen in positie en koers van zijn voertuig wordt bemoeilijkt, omdat stochastische storingen niet voorspelbaar zijn. Daarbij komt dat bij rijsnelheden toegestaan op autowegen, op zich kleine koersafwijkingen al snel tot overschrijding van de rijstroken leiden. Dit vergt een adequate reactie, waar zeker minder ervaren bestuurders of berijders problemen mee zullen hebben, gezien de grootte van de storing en het voorkomen van frequenties in natuurlijke wind van tussen de $\frac{1}{2}$ en 1 HZ (Hayashi & Furusha, 1966), liggend tot aan de grens van het menselijke regelbereik.

Bij westelijke windrichtingen schermen de op regelmatige afstanden geplaatste pijlers de wind voor een belangrijk deel af. Dit wegvallen

van stuwdruk leidt er toe dat een voertuig eerst als het ware naar de pijler toe getrokken wordt om er vervolgens weer vanaf geduwd te worden. Dit vormt een periodieke, deterministische storing.

Bij een vaste onderlinge afstand tussen de pijlers wordt de frequentie van de opeenvolgende storingen op het voertuig verder bepaald door de rijsnelheid. De mate van inwerking van een afzonderlijke storing hangt, behalve van voertuigeigenschappen, af van de grootte van het verschil in stuwdruk en de duur van de storingsinwerking, die weer gegeven een vaste pijlerbreedte verder bepaald wordt door de rijsnelheid. Hiervoor is al aangegeven dat er op de stormvloedkering hoge windsterkten te verwachten zijn, zodat afscherming van wind tot grote verschillen in stuwdruk kunnen leiden. De duur van inwerking (ca. 0,3 à 0,4 s) is voldoende lang om duidelijk positie- en koersveranderingen van het voertuig te veroorzaken. Deze periodiek optredende storingen vergen stuurcorrecties van een flinke amplitudo bij een frequentie van rond de $\frac{1}{2}$ Hz in een situatie waarbij, gezien de inwerking van extra harde "natuurlijke" wind, al een behoorlijk hoge prestatie van een bestuurder verlangd wordt. Het periodieke karakter van de storingen houdt daarbij nog het gevaar in van opslingeren van voertuigbewegingen. Wanneer namelijk een afwijking niet volledig gecorrigeerd is en het resterende deel in fase is met de afwijking veroorzaakt door de volgende storing, resulteert dit in een afwijking die de som is van beide. In dit soort processen is wel vaak sprake van een "leereffect" bij bestuurders of berijders dat een gunstige uitwerking heeft op de door hen geleverde prestaties. Dit effect zal echter alleen van betekenis zijn voor ervaren of met de situatie bekend zijnde verkeersdeelnemers, dan wel voorzover de toename in koers- en positiewijzigingen per storing voldoende tijd biedt om te "leren".

Over de opstuwning van lucht bij wind uit westelijke richtingen in het geval dat de schuiven opgetrokken zijn, is opgemerkt dat deze een verhoging van de windsterkte en een verandering van de stromingsrichting ter plekke van de rijweg tot gevolg heeft. De hoogte van de bovenkanten van de schuiven variëert en daarmee de (gemiddelde) windsnelheid en de stromingsrichting. Van groot belang daarbij lijkt dat achter schuiven waarvan de bovenkanten zich boven of op ongeveer gelijke hoogte bevinden als het wegooppervlak, een "stationnaire" wervel

kan ontstaan dwars over de weg. Omkering van de windrichting zou hier zelfs het gevolg van kunnen zijn. Duidelijk is dat een bestuurder of berijder, die tot taak heeft een rechte koers van zijn voertuig te handhaven en die taak uitvoert in een bepaalde verwachting over de richting van de winddruk uitgeoefend op zijn voertuig, in dat geval ernstig belemmerd wordt in de uitvoering van zijn taak.

Tenslotte wordt nog gewezen op de invloed van luchtverplaatsingen en afscherming van wind door voornamelijk vrachtwagens en bussen in passersituaties. Bij harde zijwind ondervinden vooral voertuigen met minder goede aerodynamische eigenschappen hiervan een aanzienlijke invloed en levert de correctie van positie- en koersafwijkingen in het bijzonder aan minder ervaren bestuurders en berijders problemen op (zie verder SWOV, 1979; Wouters & Mooyman, 1980).

3. INVENTARISATIE VAN OPLOSSINGEN

In dit hoofdstuk wordt eerst een opsomming gegeven van eventuele oplossingen - of bijdragen daartoe - voor het probleem van de windhinder op de stormvloedkering. Daarbij is vooralsnog in het midden gelaten welke vorm of combinatie van vormen van windhinder als uitgangspunt voor maatregelen of voorzieningen gekozen zou moeten worden. Een van de genoemde oplossingen, namelijk die van een bepaald type windafscherming, wordt ter verduidelijking nader uitgewerkt. Tenslotte worden aanbevelingen gegeven voor maatregelen en voorzieningen.

3.1. Een overzicht van maatregelen en voorzieningen

In principe dienen zich de volgende oplossingen of bijdragen daartoe aan:

- Voorzieningen in verband met signalering en locatie van wind(stoten).

Te denken valt bijvoorbeeld aan waarschuwborden, windzakken e.d. Een niet bedacht zijn op storingen veroorzaakt lagere rijprestaties. Waarschuwen voor en het geven van informatie over de aard en eigenschappen van de storing kan daarom een gunstig effect hebben.

- Voorzieningen in verband met detectiemogelijkheden van koersafwijkingen.

Te denken valt bijvoorbeeld aan extra markering van de rijstrookbegrenzing, openbare verlichting e.d. Duidelijk is dat een snel en correct kunnen detecteren van koers- en positieafwijkingen ook zonder slecht-zichtomstandigheden van belang is bij het koers houden.

- Vergroting van de beschikbare ruimte ten opzichte van de benodigde.

Te denken valt bijvoorbeeld aan rijstrookverbreding, het creëren van ruimtelijke marges (zoals verharde kantstroken, dubbele belijning tussen rijstroken, enz.) e.d.

- Beperkingen van de verkeersstroom.

Te denken valt bijvoorbeeld aan een windafhankelijke rijstrooksignalering, waarmee alternerend eenrichtingsverkeer ingesteld wordt.

- Snelheidsbeperkingen en eventueel het voor het verkeer sluiten van de stormvloedkering.

Te denken valt bijvoorbeeld aan, analoog de op de Moerdijkbrug toegepaste maatregel (SWOV, 1979), systemen werkend op basis van continu

gemeten windsnelheid en windrichting en een vergelijking daarvan met een bepaald criterium.

- Voorzieningen ten behoeve van breking of richtingverandering van wind.

Te denken valt bijvoorbeeld aan windschermen, windgeleidingsconstructies e.d. Een bepaalde uitvoeringsvorm daarvan, nl. die van een "half-open" windscherm, wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

3.2. Een "half-open" windscherm

Gezien de in hoofdstuk 2 gegeven probleemanalyse zou men met een voorziening als een windscherm verschillende doelstellingen tegelijkertijd willen nastreven:

- een algehele verlaging van de windsterkte en het breken van de luchtwervels;
- een verminderen van het pulsvormige karakter van de door de pijlers veroorzaakte storingen en het zodanig afzwakken van het periodieke karakter ervan dat opslingeren van voertuigbewegingen voldoende tegengegaan wordt. Dit bij wind uit westelijke richtingen.

Met behulp van een "dicht" windscherm is een zone te creëren van verlaagde (gemiddelde) winddruk (zie bijv. Plate, 1966). Zo'n scherm veroorzaakt echter ook een "stationnaire" wervel, die kan leiden tot omkering van de windrichting (zie ook Jurksch, 1973). Terwijl derhalve met een dicht scherm in principe de eerstgenoemde doelstelling te verwezenlijken valt, veroorzaakt het tezelfdertijd een nieuw probleem. Daarnaast moet verwacht worden dat de invloed van vooral de pijlers op de luchtstroming duidelijk merkbaar blijft in het gebied achter het windscherm.

Om nu het nieuwe probleem van de luchtwervel achter het scherm te vermijden, of beter te ontcrachten, gaan de gedachten uit naar een "open" uitvoeringsvorm van een windscherm, waarbij het doorgelaten deel van de luchtstroming en de - ook bij een "half-open" scherm veroorzaakte - wervel (een luchtstroming met omgekeerde windrichting) elkaar tegenwerken, met andere woorden dat er een proces ontstaat van dissipatie van windenergie.

Kortom, de uitvoeringsvorm van een "half-open" windscherm zou kunnen voorzien in de algehele verlaging van de winddruk, de eerste doelstelling derhalve, zonder genoemd nieuw probleem te veroorzaken. Daarnaast

biedt de doorlaatbaarheid van een dergelijk scherm mogelijkheden om ook de tweede doelstelling te verwezenlijken. Het luchtstromingsprofiel achter het scherm is namelijk te beïnvloeden door de mate van doorlaatbaarheid te variëren over de lengte van het scherm. Een dergelijke variatie, afgestemd op de op regelmatige afstanden geplaatste pijlers, zou het deterministische karakter van de storing ten gevolge van de pijlers kunnen afzwakken. Daarmee valt tevens het in par. 2.3. besproken periodiciteitseffect "af te vlakken".

Wat nu de uitvoeringsvorm van een "half-open" windscherm ten behoeve van zowel de algehele verlaging van de winddruk als van een modificering van het windprofiel betreft, valt bijvoorbeeld te denken aan een "jaloezie met verticale lamellen": een rij rechtopstaande palen met daartussen openingen, waarbij de breedte van de openingen over het traject tussen twee pijlers verschilt.

Het gedachte windscherm zou direct naast de autoweg aangebracht moeten worden, dus tussen de werkweg en de autoweg in. Zijn hoogte zou zodanig gekozen moeten worden dat de rijweg over de gehele breedte in voldoende mate voor wind afgeschermd wordt.

Wat de constructieve kant betreft vereist plaatsing van zo'n windscherm het aanbrengen van bevestigingspunten, bijvoorbeeld in de vorm van een betonnen richel waar op regelmatige afstanden bouten door heen gestoken kunnen worden (een "meccano-strip"). Wellicht zijn er tevens gevolgen in verband met de geleiderailconstructie. Daarnaast kent plaatsing van een windscherm ook esthetische kanten.

Tenslotte dient bij het een en ander benadrukt te worden dat met de hiervoor geschetste oplossing voor de windhinderproblematiek geen praktijkervaring bestaat en dat de uiteindelijke vormgeving nog volledig ontwikkeld moet worden.

3.3. Een keuze voor een oplossing

Een keuze voor een bepaalde oplossing zal gebaseerd moeten zijn op een afweging van de kosten en baten van zo'n oplossing. Dit in "absolute" zin en ten opzichte van alternatieve mogelijkheden. Over aspecten van deze afweging en eventuele onderzoekconsequenties het volgende.

Te verwachten is dat ter plekke relatief veelvuldig hinder van wind zal optreden. Dit enerzijds gezien het voorkomen van harde wind. Uitgaande van KNMI-gegevens is te schatten dat in Zeeland jaarlijks gemiddeld rond de 20% van de tijd wind van meer dan 9 m/s op 10 m boven het maaiveld voorkomt. Anderzijds vanwege de in hoofdstuk 2 beschreven versterking van de wind en effecten als periodieke pulsvormige verstoringen.

In een nog niet afgerond SWOV-onderzoek is een globaal verband vastgesteld tussen het voorkomen van wind en het optreden van ongevallen. Op grond daarvan zijn echter geen voorspellingen te maken omtrent het optreden van ongevallen bij wind voor een specifieke locatie. Baten van maatregelen of voorzieningen in termen van reductie van ongevallen zijn dan ook niet aan te geven. Wel zou in een pilotexperiment bijvoorbeeld op een gereedgekomen deel van de stormvloedkering uit het koersverloop van een rijdend voertuig een beeld verkregen kunnen worden van de ernst van de stoorsituatie.

In het licht van de aard en de ernst van de verwachte hinder zijn de eerste twee in par. 3.1. genoemde oplossingen (waarschuwing e.d. voor windstoten, detectie van koersafwijking) op zich volstrekt onvoldoende, maar wel zinvol als aanvulling op andersoortige maatregelen. Een analoge opmerking valt te maken over een verbreding van de rijstrook (thans 3,5 m).

De volgende oplossingen lijken in aanmerking te komen.

1. Uitsluitend verkeerstechnische maatregelen. De eerste groep oplossingen bestaat uit het bij zeer harde wind instellen van alternerend eenrichtingsverkeer en het tegelijkertijd instellen van een wind(snelheid en richting)afhankelijke snelheidsbeperking voor het verkeer, dan wel de volledige afsluiting voor het verkeer bij extreme omstandigheden. Bij harde wind kan worden volstaan met het instellen van een windafhankelijke snelheidsbeperking voor het verkeer.

Wat nu precies zeer harde en harde wind is voor de specifieke windhindersituatie op de stormvloedkering zou via onderzoek vastgesteld moeten worden en wel in relatie tot de eigenschappen van bestuurder/voertuigcombinaties. Uitgaande van een daarmee vast te stellen meest kritische windhinderomstandigheid(heden), zou vervolgens een windafhankelijke-snelheidsbeperkingssysteem ontwikkeld moeten worden. Hiermee is een niet geringe onderzoekinspanning gemoeid.

2. "Half-open" windscherm. Voor wind uit westelijke richtingen lijkt een oplossing gevonden te kunnen worden in het aanbrengen van een "half-open" windscherm. Voor wind uit oostelijke richtingen (en eventueel voor de situatie dat afscherming van wind onvoldoende wordt) zal in aanvulling hierop een maatregel nodig zijn, bijvoorbeeld een windafhankelijke snelheidsbeperking.

Wat eventueel benodigd onderzoek betreft, lijkt het eerst nodig een (kwantitatief) beeld van de luchtstroming te verkrijgen. Vervolgens zou onderzocht moeten worden welke mate en welke vorm van windbeïnvloeding vereist is, gelet op de eigenschappen van een bestuurder/voertuigcombinatie. Dan zal duidelijk zijn op welke (combinaties van) invloeden een windscherm afgestemd moet worden. Via onderzoek zouden deze bevindingen in een iteratief proces dan weer vertaald moeten worden in een ontwerp voor een windscherm. Dit zal eveneens een aanzienlijke onderzoekinspanning vergen.

Het plaatsen van een vast windscherm zal, gezien de vereiste gedegen constructie en de lengte van trajecten, de nodige kosten met zich meebrengen. Tevens is er nog het genoemde esthetische element.

4. HET ONTWIKKELEN VAN EEN OPLOSSING

Gegeven een besluit van Rijkswaterstaat tot uitvoering van onderzoek over maatregelen tegen windhinder op de stormvloedkering bij voorkeur in de vorm van schermen langs de wegwand, zie hoofdstuk 1, komt in dit hoofdstuk een voorstel voor onderzoek aan de orde. Daartoe worden eerst doel en inrichting (zie ook het betreffende schema) en vervolgens een opzet van onderzoek besproken.

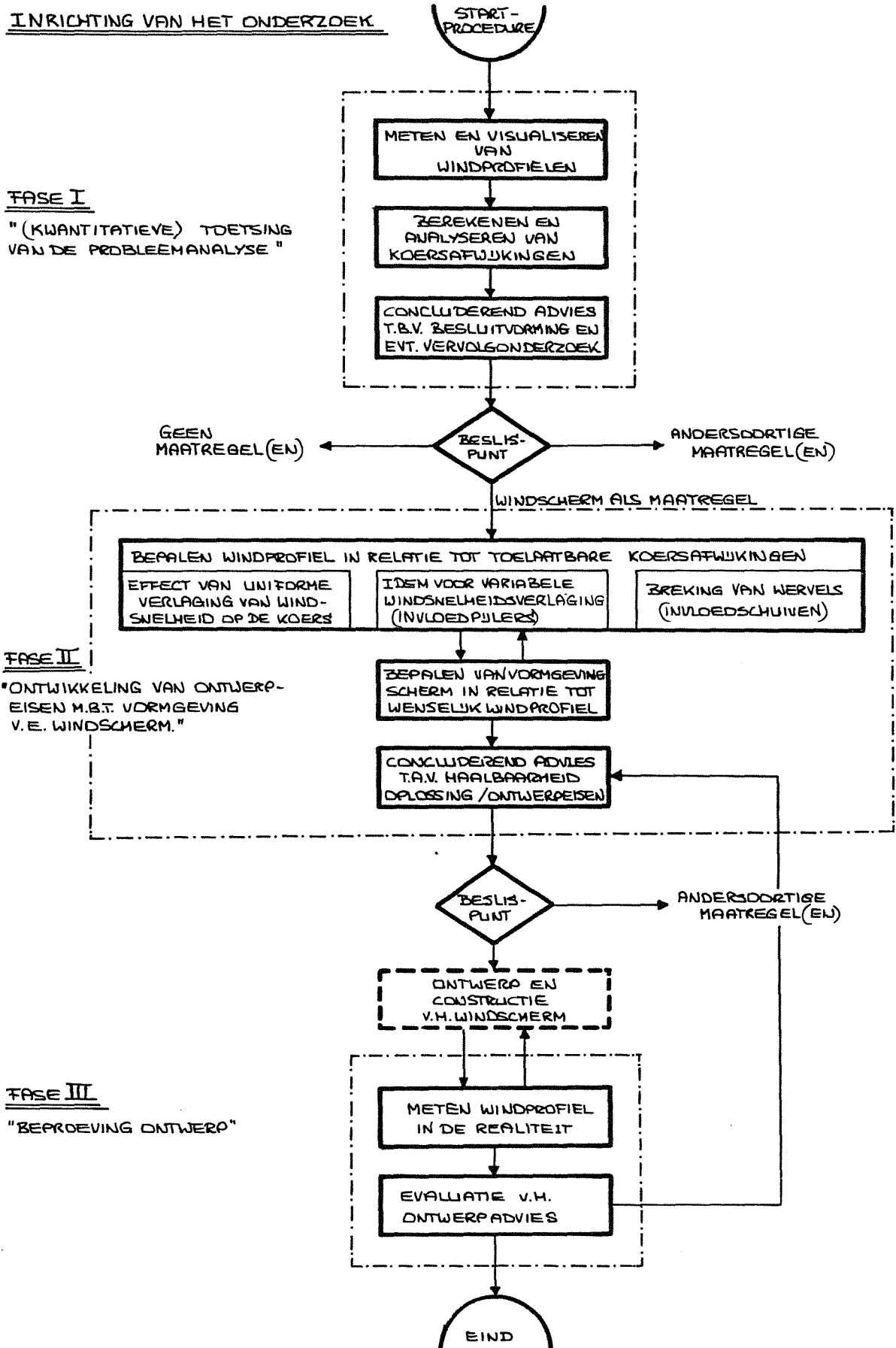
4.1. Doel en inrichting van onderzoek

Het uiteindelijke doel van het onderzoek is het bereiken van een oplossing voor de hinder van wind, die het verkeer naar vooralsnog verwacht wordt op de stormvloedkering zal ondervinden.

De verwachting dat wind ter plekke voor het verkeer gevaarlijke storingen zal veroorzaken berust op de in hoofdstuk 2 gegeven probleemanalyse. In het kort komt het erop neer dat op de Oosterschelde-stormvloedkering sprake kan zijn van een verhoging van de gemiddelde windsterkte, gecombineerd met dusdanige variaties in windsnelheid en windrichting dat koers houden vooral voor storingsgevoelige bestuurder/voertuigcombinaties ernstig bemoeilijkt kan worden. Deze analyse gaat uit van theoretische overwegingen en is tevens kwalitatief van aard. Om te kunnen beslissen of er ter plekke maatregelen getroffen dienen te worden en zo ja welke, is nodig de probleemanalyse te toetsen en te kwantificeren. Het kwantitatieve karakter van de toetsing is vereist omdat de mogelijkheden tot koers houden gerelateerd moeten worden aan absolute criteria, zoals de rijstrookbreedte. Resultaten van onderzoek voor deze toetsing zijn overigens nodig voor de verdere ontwikkeling van oplossingen en bevatten mogelijkwijze indicaties van belang voor de opzet van vervolgonderzoek.

Vanwege het hiervoor genoemde beslispunt ligt voor de hand deze (kwantitatieve) toetsing van de probleemanalyse als eerste fase van het onderzoek uit te voeren. Dit deelonderzoek heeft derhalve tot doel het vaststellen van de ernst en de aard van de windstoring voor het verkeer op de stormvloedkering ten behoeve van de besluitvorming omtrent het treffen van maatregelen en de keuze van de maatregel.

INRICHTING VAN HET ONDERZOEK



Zoals later uitgewerkt zal worden, zijn voor deze eerste fase van onderzoek de volgende werkzaamheden globaal te onderscheiden. Ten eerste: het vaststellen van de (relatieve) grootte en aard van de windstoring door middel van het meten en visualiseren van de windprofielen bij verschillende richtingen van de heersende wind. Ten tweede: het berekenen en analyseren van de invloed van deze eigenschappen van de storing tot (een) te kiezen windsterkte(n) van de heersende wind op de koers en het koers houden van storingsgevoelige bestuurder/voertuigcombinaties. Ten derde: het verwerken van onderzoekresultaten tot een advies ten behoeve van de besluitvorming over het al-dan-niet treffen van maatregelen, zo mogelijk voor de keuze van de vorm van oplossing en de richting van de ontwikkeling van die oplossing. Mogelijk bevatten de onderzoekresultaten ook aanwijzingen voor de opzet van eventueel gewenst vervolgonderzoek. Hiervan zal in het advies melding gemaakt worden.

Voor dit moment ervan uitgaande dat tot het treffen van maatregelen besloten wordt en gekozen wordt voor de groep van maatregelen genoemd in par. 3.3., waarvan het aanbrengen van een "half-open" windscherm het belangrijkste onderdeel vormt, is verder onderzoek nodig. Vooropgesteld dat deze oplossing nog levensvatbaar moet blijken te zijn, maar daar vooralsnog van uitgaande, zal dit onderzoek zich concentreren op vormgevingseisen. De tweede fase van onderzoek heeft dan tot doel het ontwikkelen van zodanige ontwerpeisen m.b.t. de vormgeving van een windscherm dat het verkeer tot een zekere sterkte van de heersende wind afdoende beschermd wordt tegen windstoringen.

Uit de eerste fase van het onderzoek is bekend voor welke windcondities en voor welke storingsvorm(en) ontoelaatbare koersafwijkingen optreden. Met dit gegeven als uitgangspunt zijn, zoals later uitgewerkt zal worden, voor de tweede onderzoekfase de volgende werkzaamheden globaal te onderscheiden. Ten eerste: het bepalen welke windeigenschappen op welke wijze en in welke mate gewijzigd moeten worden, opdat koersafwijkingen van specifiek gekozen bestuurder/voertuigcombinaties tot een gegeven windsterkte binnen nader aan te geven grenzen blijven. Ten tweede: het bepalen van dusdanige vormgevingseisen voor een "half-open" windscherm dat bedoelde windeigenschappen op de aangegeven wijze en mate gewijzigd worden. Waarschijnlijk is dat genoemde werkzaamheden in een iteratief proces uitgevoerd moeten worden en dat beide stappen

dus meer dan in eenmaal doorlopen zullen worden. Ten derde: het rapporteren van de onderzoekresultaten. Deze resultaten, te zamen met andere vereisten, bijvoorbeeld van constructieve of esthetische aard en die hier verder buiten beschouwing blijven, moeten dan leiden tot een ontwerp voor een windscherm.

Zoals ook in par. 3.3. aangegeven is, zal in aanvulling op het plaatsen van een windscherm voor wind uit oostelijke richtingen een aanvullende maatregel wenselijk kunnen zijn. Onder de windrichtingen waarvoor in de eerste onderzoekfase windprofielen gemeten worden, zal een oostelijke gekozen worden. Tevens zullen voor een windscherm met een uniforme doorlaatbaarheid de invloed ervan op de koers en het koers houden nagegaan worden voor die windrichting, in de idee dat een dergelijk scherm ook voor oostelijke wind een positief effect zou kunnen hebben.

Blijkt een zodanig effect echter onvoldoende te zijn dan zou voor harde oostelijke wind een windafhankelijke snelheidsbeperking ingesteld kunnen worden, af te leiden uit het onderzoek "Evaluatie windwaarschuwingssysteem Moerdijkbrug".

Het is tenslotte aan te bevelen na de ontwerpfase en voordat overgegaan wordt tot een volledig aannemen en plaatsen van een scherm in een derde fase een beperkt onderzoek uit te voeren. Deze onderzoekfase heeft dan tot doel na te gaan of de constructie op beoogde wijze de luchtstroming beïnvloedt. Wat de benodigde werkzaamheden betreft valt te denken aan het in een veldexperiment ter plekke meten van enkele windprofielen voor een segment, bestaande uit een pijler/schuif/pijler. Veronderstellend dat de constructie van het scherm het aanbrengen van (geringe) modificaties toelaat, zouden eventueel benodigde correcties aangebracht kunnen worden. De conclusies uit deze metingen dienen gerapporteerd te worden.

Afsluitend nog de opmerking dat dit consult zich niet bezig houdt met de evaluatie van toegepaste maatregelen, waaronder een onderzoek daartoe, evenmin als met het in constructieve zin ontwerpen van het scherm.

4.2. Opzet van de eerste fase van onderzoek

Voor het bereiken van de doelstelling van de eerste fase: de (kwantitatieve) toetsing van de probleemanalyse door middel van het vaststellen van de ernst en de aard van de windhinder voor het verkeer over de stormvloedkering zijn in drie deelprojecten (vormen van) werkzaamheden genoemd. Van deze werkzaamheden wordt in deze paragraaf aangegeven waar ze uit bestaan, door wie ze in principe verricht kunnen worden, aan welke wijze van uitvoering gedacht wordt en welke resultaten ze dienen op te leveren. Het ligt in de bedoeling de daarbij genoemde instituten uiteindelijk te doen verzoeken de onderzoekopzetten van deze drie deelprojecten in detail uit te werken.

4.2.1. Het eerste deelproject van Fase I

Inhoud

Het meten en visualiseren van windprofielen bij verschillende windrichtingen voor verschillende standen van de schuiven voor waterdoorlaat op voor het verkeer relevante plaatsen.

Uitvoerder

Het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR), in overleg met het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO (IW-TNO) en de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

Uitvoering

Gedacht wordt aan windtunnelmetingen aan een "getrouw" schaalmodel. Getrouw in de zin dat de schaal en de vormgeving zodanig zijn dat van oprijdende voertuigen in de werkelijkheid inwerkende wind relevante verschillen in windsnelheid en richting voldoende nauwkeurig gemeten worden. Volstaan kan worden met een schaalmodel van een segment van de stormvloedkering van een geschikte lengte, bijvoorbeeld bestaande uit een schuif/pijler/schuif/pijler/schuif en met uitwisselbare schuiven van verschillende lengte, een en ander te monteren op een draaibaar platform.

Het lijkt wenselijk vóórdat met metingen begonnen wordt, door bijvoorbeeld inblazen van rook in de windstroom van de tunnel het patroon van

luchtstroming in het bijzonder voor de lengte- en dwarsrichting ter plekke van de rijbaan even boven het wegdek zichtbaar te maken en (fotografisch) vast te leggen. Dit voor enkele windrichtingen en schuifhoogten, bijvoorbeeld voor wind van 270° , 240° , 210° en 90° (lengte-as segment genomen als 0° - 180°) en voor de hoogte, de gemiddelde en de laagste schuifhoogten. Behalve ter visualisering van de problematiek is deze informatie over de luchtstroming van belang voor de verdere inrichting van de metingen. Zo is ook meer inzicht te verkrijgen over het benodigde aantal meetpunten en hun onderlinge dichtheid, i.c. bemonstering, over de vraag of alle metingen voor twee rijstroken uitgevoerd moeten worden, over de vraag op welke hoogte boven het wegdek gemeten moet worden, enz. in verband met de ligging van het aerodynamisch drukpunt van voertuigen en de invloed van de luchtstroming daarop.

De metingen betreffen het bepalen en een voor het verdere gebruik van deze gegevens geschikte wijze vastleggen van de windrichting en windsnelheid, ter hoogte van het aerodynamisch drukpunt van voertuigen (ca. 1 m boven het wegdek), ter plekke van het midden van de rijstroken, over één compleet segment (: pijler/schuif/pijler). Dit voor wind uit enkele richtingen en voor enkele schuifhoogten. Bijvoorbeeld: de windrichtingen 270° , 240° , 210° en 90° met voor 270° drie schuifstanden, voor 240° en 210° de hiervoor meest kritisch gebleken stand en voor 90° de hoogste en de laagste stand.

Resultaten

Dit deelproject dient in hoofdzaak (naast genoemde visualisering) windsnelheids- en windrichtingsgegevens op te leveren, waaruit de in de werkelijkheid ondervonden en voor het koers houden van bestuurder/voertuigcombinaties relevante (veranderingen in) windsnelheid en windrichting eenvoudig en op een eenduidige wijze af te leiden zijn. Deze gegevens dienen als "ingangssignaal", te gebruiken in het volgende deelproject en moeten derhalve aan eisen voldoen, te stellen vanuit de verwerkbaarheid in een mens/machinesysteem-onderzoek, zie hiervoor par. 4.2.2. Beperkingen bij het één en ander liggen in de aard van windtunnelmetingen: de schaling; laminaire stroming in een tunnel versus een turbulente in de grenslaag; stabiele, neutrale en onstabiele profielen van hoogte/windsnelheid e.d. Aangenomen wordt dat windsnelheden uit metingen gegeven worden als verhoudingsgetallen tot de snelheid

van de heersende wind. Dergelijke gegevens zouden (in het volgende deelproject) eenvoudig om te zetten zijn. Tijdens een dergelijke bewerking zou tevens aan het dan verkregen windsnelheidsprofiel een stochastisch signaal toegevoegd (gesuperponeerd) kunnen worden. Verder is nodig dat gemeten wordt bij voldoende hoge tunnelwindsnelheden in verband met het vereiste neutrale karakter.

Tenslotte is een rapportage van werkzaamheden gewenst.

4.2.2. Het tweede deelproject van Fase 1

Inhoud

1. Het berekenen van de koersafwijkingen van bestuurder/voertuigcombinaties als gevolg van de windstoring, gegeven een bepaalde windsterkte.
2. Het bepalen van de (combinaties van) de storingsvorm(en), die tot ontoelaatbare koersafwijkingen leiden, i.c. het analyseren van de onder punt 1 gevonden resultaten.

Uitvoerder

IW-TNO, in overleg met SWOV en NLR.

Uitvoering

Gedacht wordt aan het (rekenkundig) simuleren van de bewegingen van een bestuurd voertuig ten opzichte van het vlak van de weg met behulp van een mens/machinesysteem-model. In dit model dienen de eigenschappen van een windgevoelig voertuig en een modale bestuurder verdisconteerd te zijn. Als rijsnelheid wordt 100 km/u genomen. Ervan uitgegaan wordt dat de bestuurder een rechte koers tracht te handhaven ("compensatory control") terwijl zijn voertuig blootstaat aan windstoringen.

Voor de windstoringen wordt gebruik gemaakt van door IW-TNO te bewerken NLR-gegevens. Zoals opgemerkt bestaat het bewerken inhoudelijk in het omrekenen naar reële windsnelheden en het voorzien van een stochastische component en in technisch opzicht in het geschikt maken voor hantering tijdens de simulatie. Voor de omrekening moet - in overleg met RWS - een keuze gemaakt worden een van maximale snelheid van de heersende wind (bijvoorbeeld 20 m/s). Dit in verband met de weersomstandigheden waarbij een eventuele oplossing voor de windhinderproblematiek nog moet voldoen.

In verband met het mogelijke bestaan van zgn. opslingereffecten is nodig dat, althans in eerste instantie, het windstromingsprofiel voor één segment een aantal malen achtereenvolgend op zijn invloed doorgerekend wordt. Eerst als blijkt dat geen opslinging optreedt, kan volstaan worden de voertuigtrajectoriën per segment te berekenen.

Van de eenmaal berekende voertuigtrajectoriën kan nagegaan worden waar en wanneer een criterium voor de koers, bijvoorbeeld een maximaal toegestane dwarsverplaatsing van ongeveer 0,7 à 0,8 m, overschreden wordt en, aanvullend, een criterium omtrent het koers houden, bijvoorbeeld de mate van inspanning ("subjective workload") van de bestuurder. Hiervan moet nagegaan worden welke storingsvorm(en) de oorzaak is.

Resultaten

1. De bij een (cyclus van) windprofielen horende voertuigtrajectoriën.
2. De relatie tussen oorzaak/windstoring en gevolg/ontoelaatbare koersafwijking.
3. Rapportage van werkzaamheden.

4.2.3. Het derde deelproject van Fase 1

Inhoud

Het opstellen van een advies ten behoeve van de besluitvorming over het treffen van maatregelen, zo mogelijk voor de keuze van de vorm van oplossing en de richting van de ontwikkeling van die oplossing.

Uitvoerder

SWOV, in overleg met IW-TNO en NLR.

Uitvoering en resultaten

Geen bijzonderheden.

4.3. Opzet van de tweede fase van onderzoek

Deze onderzoekfase heeft tot doel het ontwikkelen van zodanige ontwerpen omtrent de vormgeving van een windscherm, dat het verkeer over de stormvloedkering afdoende beschermd wordt tegen windstoringen. In par. 3.2. is uiteengezet dat met de oplossing van het plaatsen van

een "open" windscherm beoogd wordt te bereiken dat

- de algehele windsterkte verlaagd wordt en wervelingen gebroken worden;
- dat het pulsvormige karakter van de door de pijlers veroorzaakte storingen verminderd wordt en de periodiciteit van storingen die kan leiden tot opslingeren afgezwakt wordt.

In de eerste onderzoekfase (zie par. 4.2.2.) wordt er onder meer naar gestreefd de storingsvorm(en) te bepalen die oorzaak zijn van ontoelaatbare koersafwijkingen. Deze voor de opzet van de tweede fase van onderzoek van belang zijnde informatie ontbreekt vooralsnog. De hier op voorhand gegeven beschrijving van voor de tweede fase benodigde werkzaamheden zal daarom wellicht in de toekomst bijgesteld dienen te worden.

In de eerste onderzoekfase wordt ook aandacht besteed aan de situatie van (harde) wind uit oostelijke richtingen (par. 4.1.). Mocht blijken dat het effect van een scherm voor die richtingen ontoereikend is, dan zou tot het instellen van een windafhankelijke snelheidsbeperking voor het verkeer besloten kunnen worden. In dat geval is enig aanvullend onderzoek nodig, waarbij uitgegaan kan worden van resultaten van het onderzoek "Evaluatie windwaarschuwingssysteem Moerdijkbrug". Volledigheidshalve is daartoe een extra deelproject (par. 4.3.4.) toegevoegd.

4.3.1. Het eerste deelproject van Fase 2

Inhoud

Het bepalen van een geschikt windprofiel in relatie tot toelaatbare koersafwijkingen, met andere woorden: het bepalen van welke windeigenschappen op welke wijze en in welke mate gewijzigd moeten worden opdat ontoelaatbare koersafwijkingen vermeden worden.

Uitvoerder

IW-TNO, in overleg met NLR en SWOV.

Uitvoering

Gedacht wordt aan simulatie-onderzoek van eerder in par. 4.2.2. omschreven aard. Omdat een windscherm altijd een lagere windsterkte tot gevolg heeft en verder er in dit stadium nog vanuitgaande dat een open

scherm van homogene vormgeving de windrichting niet wezenlijk beïnvloedt en de windsnelheid evenredig vermindert en bovendien geen nieuwe storingen introduceert, lijkt het gewenst als eerste stap de voertuigbewegingen te berekenen bij een uniforme verlaging van de sterkte van de heersende wind. De NLR-windgegevens worden daartoe omgerekend naar snelheden van heersende wind van bijvoorbeeld 16, 14 en 12 m/s, dan wel gereduceerd met 20, 30 en 40%. De berekeningen van de voertuigbewegingen, i.c. de simulaties, blijven beperkt tot die windprofielen, dan wel die combinaties van windrichtingen en schuifhoogten, die tot de grootste koersafwijkingen aanleiding gaven, of die storingsvormen die als oorzaak daarvan aangemerkt konden worden. Dat zou kunnen neerkomen op een aantal windrichtingen, bijvoorbeeld 270° en 240° , en schuifhoogten, bijvoorbeeld de hoogste en de gemiddelde en het enkelvoudig en meermalen achtereenvolgend simuleren over een segmentlengte. Indien na afsluiting van deze eerste stap te constateren valt dat een dergelijke uniforme vermindering van windsterkte afdoende is om een bestuurder zijn voertuig binnen de rijstrook te kunnen laten houden, wordt de verdere uitvoering van werkzaamheden opgeschort.

Een tweede stap zou gericht kunnen zijn op de invloed van de pijlers in combinatie met de invloed van een open scherm van homogene vormgeving. De aandacht gaat dan uit naar pulsvormige windsnelheidsvariaties en de regelmaat van voorkomen ervan. Het een en ander weer onder de aanname dat deze storingen relevant gebleken te zijn voor het koers houden. Bepaald dient nu te worden op welke plaatsen en over welke lengte de windsnelheid met welke hoeveelheden moet afnemen, opdat de koers geen ontoelaatbare afwijkingen vertoont. Voor het moment wordt aangenomen dat de volgende condities beschouwd zullen worden: een vaste reductie op de windsterkte van bijvoorbeeld 30%, enkele windrichtingen, bijvoorbeeld 270° en 240° , enkele schuifhoogten, bijvoorbeeld de hoogste en de gemiddelde, een enkelvoudig en het meermalen simuleren over een segmentlengte. Indien met een plaatselijke extra reductie in windsterkte tot een bepaald maximum, bijvoorbeeld van 20%, te bereiken is dat koersafwijkingen afdoende beperkt blijven, wordt de verdere uitvoering van werkzaamheden opgeschort.

Mogelijkerwijze is al eerder aangetoond dat de hoogte van de schuiven een wezenlijke bijdrage levert voor het ontstaan van koersafwijkingen als gevolg van een veroorzaken van wervels dwars over de weg en parallel aan de rijrichting. In dat geval is stap twee wellicht overbodig. In ieder geval ligt het dan meer voor de hand eerst met behulp van windtunnelonderzoek na te gaan of de aanwezigheid van een windscherm, resp. de hoogte ervan, deze wervels afdoende zal tegengaan, resp. voldoende ver in dwarsrichting kan verplaatsen. Deze vooralsnog als derde stap aangegeven werkzaamheden worden in dat geval de tweede stap.

Resultaten

1. Een (uniforme) reductiefactor voor de windsterkte, dan wel
2. De plaats waar, de lengte waarover en de mate waarin extra reductie benodigd is, voor twee windrichtingen, bijvoorbeeld 270° en 240° en twee schuifhoogten, bijvoorbeeld de hoogste en de gemiddelde.
3. Rapportage van werkzaamheden.

4.3.2. Het tweede deelproject van Fase 2

Inhoud

Het bepalen van een zodanige vormgeving van een open windscherm dat het windprofiel op een aangegeven wijze gemodificeerd wordt.

Uitvoerder

NLR, in overleg met IW-TNO en SWOV.

Uitvoering

Gedacht wordt aan een windtunnelonderzoek van eerder in par. 4.2.1. omschreven aard. Stel dat de in par. 4.3.1. beschreven eerste stap leidt tot het resultaat dat met een uniforme windsnelheidsreductie koersafwijkingen afdoende tegengegaan worden, dan zijn windtunnel-experimenten nodig om de doorlaatbaarheid van een windscherm van nog aan te geven maximale hoogte (bijvoorbeeld ca. 3 m) te bepalen voor uit het vorige deelproject volgende meest ongunstige condities voor wat windrichting en schuifhoogte betreft. Tijdens de hiervoor benodigde metingen, i.c. met behulp van de daarbij (vast te leggen) verkregen metingen wordt nagegaan of er sprake is van belangrijke verande-

ringen in windsnelheid en windrichting ten opzichte van de situatie zonder scherm. Tevens wordt nagegaan of nieuwe storingen gecreeërd zijn. Dit laatste kan wellicht het gemakkelijkst via visualisering van de luchtstroming. Tenslotte wordt het windprofiel gemeten voor de windrichting van 90° , het minst doorlaatbare scherm en schuiven in hoogste stand, teneinde de invloed van een scherm op het windprofiel voor oostelijke windrichtingen te kunnen onderzoeken. In het geval dat een duidelijke wijziging van het windprofiel te constateren valt, worden de bijbehorende voertuigbewegingen door IW-TNO berekend.

Indien uitvoering van de in par. 4.3.1. beschreven tweede stap is uitgevoerd en het beoogde resultaat heeft gehad, worden analoog de hiervoor aangegeven windtunnelexperimenten uitgevoerd.

Indien, zoals in par. 4.3.1. al werd opgemerkt, sprake is van een wezenlijke invloed van de hoogte van de schuiven, worden de daar aangegeven werkzaamheden uitgevoerd onder dit tweede deelproject en door middel van visualisering van de luchtstroming.

Tenslotte wordt hier een eerder gemaakte opmerking herhaald, namelijk dat waarschijnlijk is dat de deelprojecten beschreven in par. 4.3.1. en 4.3.2. in een iteratief proces uitgevoerd moeten worden.

Resultaten

1. De verhouding van "open" en "gesloten" oppervlaktes van het windscherm van zekere hoogte, dan wel
2. De verandering in die verhouding over de lengterichting.
3. Eventueel, de vereiste hoogte van een scherm.
4. Windprofielen ad 1, dan wel ad 2.
5. Visualisering ad 1, ad 2 en ad 3.
6. Een rapportage van werkzaamheden.

4.3.3. Het derde deelproject van Fase 2

Inhoud

Het opstellen van een advies betreffende de vormgeving van een windscherm.

Uitvoerder

SWOV, in overleg met NLR en IW-TNO.

Uitvoering en resultaten

Geen bijzonderheden.

4.3.4. Een (mogelijk) extra deelproject van Fase 2

Inhoud

Het ontwerpen van een systeem voor een windafhankelijke snelheidsbeperking van wind uit oostelijke richtingen (in het geval dat de invloed van een windscherm onvoldoende blijkt te zijn).

Uitvoerder

SWOV/IW-TNO/DVK.

Uitvoering

Afhankelijk van het onderzoek "Evaluatie windwaarschuwingssysteem Moerdijkbrug".

Resultaten

Criteria voor in- en uitschakelen van het systeem, gegeven windrichting en -snelheid.

4.4. Opzet van de derde fase van onderzoek

Het onderzoek uit de beide voorafgaande fasen betreft laboratoriumonderzoek, waarbij resultaten van windtunnelmetingen en mens/machine-systeemsimulaties met elkaar in verband gebracht worden. De hieruit resulterende ontwerpeisen omtrent de vormgeving van het windscherm, dienen "vertaald" te worden in een ontwerp van een reëel scherm, een werkzaamheid overigens die, evenals de constructie van het scherm, door Rijkswaterstaat uitgevoerd wordt en die hier verder buiten beschouwing blijft. Gezien mogelijke onnauwkeurigheden in de ontwerpeisen als gevolg van de aard van het onderzoek of ontstaan bij de omzetting van die eisen in een ontwerp van het scherm, is beproeving in de praktijk van het scherm wenselijk, voordat overgegaan wordt tot een volledig aanmaken en plaatsen van het scherm. Deze derde fase van onderzoek heeft deze beproeving in de werkelijkheid tot doel en kan eventueel leiden tot bijstellingen in het ontwerp.

4.4.1. Het eerste deelproject van Fase 3

Inhoud

Metten van de beïnvloeding door het windscherm van de luchtstroming in de werkelijkheid ter beproeving van het ontwerp.

Uitvoerder

IW-TNO, in overleg met de ontwerper, NLR en SWOV.

Uitvoering

Gedacht wordt aan veldmetingen op een gereed gekomen deel van de stormvloedkering, waar voor een segment bestaande uit een pijler/schuif/pijler het (prototype van het) scherm is opgesteld. Onder kritisch te achten omstandigheden worden windmetingen uitgevoerd ter bepaling van windprofielen. Tevens worden de windsnelheid en windrichting gemeten van de heersende wind. Door vergelijking van deze windprofielen met die uit windtunnelmetingen verkregen tijdens fase 2 onder vergelijkbare verdere omstandigheden, is te constateren of en in hoeverre afwijkingen optreden, dan wel bijstellingen in het ontwerp van het scherm nodig zijn.

Resultaten

1. Windprofielen van praktijksituaties.
2. Een vergelijking van meetresultaten.
3. Eventueel, conclusies in termen van bijstellingen in het ontwerp.
4. Rapportage van werkzaamheden.

4.4.2. Het tweede deelproject van Fase 3

Inhoud

Gegeven de resultaten van het eerste deelproject in deze fase, het evalueren van de bevindingen ten opzichte van het in par. 4.3.3. gegeven advies.

Uitvoerder

SWOV, in overleg met de ontwerper, IW-TNO en NLR.

Uitvoering en resultaten

Geen bijzonderheden.

5. TENSLOTTE

Tenslotte twee kanttekeningen van meer algemene strekking.

De eerste betreft de generaliseerbaarheid van het voorgestelde onderzoek en resultaten ervan. Het onderzoek is uiteraard gericht op het vaststellen van de aard van de windhinder en het ontwikkelen van een oplossing daarvoor voor een specifieke locatie. In dat opzicht hebben onderzoekresultaten dan ook een specifiek karakter, al kunnen ze voor een deel, soms na enig aanvullend onderzoek, gegeneraliseerd worden. De methode van onderzoek, waarbij onder meer laboratoriumonderzoekingen betreffende windprofielmetingen en mens/machinesysteem-simulaties op bepaalde iteratieve wijze met elkaar in verband gebracht worden en het resultaat ervan in veldmetingen getoetst, heeft algemene waarde. De betekenis van die algemene toepasbaarheid van de methodiek is bovendien dat reeds in ontwerpstadium situaties op het bestaan van windhinder bestudeerd kunnen worden, dat oplossingen ontwikkeld kunnen worden en dat die oplossingen in het ontwerp verdisconteerd kunnen worden. Van belang is dan ook dat door uitvoering te geven aan het voorgestelde onderzoek ervaring kan worden opgedaan met deze methodiek.

Vanuit hetzelfde gezichtspunt van de generaliseerbaarheid wordt de tweede kanttekening geplaatst ten aanzien van de oplossing van het "half-open" windscherm. Indien deze oplossing, zoals verwacht wordt, inderdaad effectief blijkt te zijn, is hiermee een vorm van oplossing gevonden die in principe voor veel, en wat de windhinderproblematiek aangaat veelal juist de moeilijkste, situaties is toe te passen. Dit omdat deze oplossing niet alleen een verlaging van het niveau van windsterkte bewerkt, maar vooral omdat het windprofiel zelf gewijzigd wordt. Zoals uiteengezet is, leidt een "half-open" scherm tot een proces van dissipatie van windenergie dat zodanig is dat een verschijnsel van windrichtingomkering ontkracht wordt, een verschijnsel waarmee men bij toepassing van dichte schermen, zoals die in het buitenland voorkomen, te kampen heeft.

LITERATUUR

Hayashi, M. & Furusho, H. (1966). The response of automobile against a gust. In: Proc. 11. Internationaler automobiltechnischer Kongress, Vortrag B7. FISITA, München, 1966.

Jurksch, G. (1973). Windschutzuntersuchungen an exponierten Strassenbrücken. Promet 4-1973. Deutsche Wetterdienst, 1973.

KNMI (1972). Klimaatatlas van Nederland. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1972.

Plate, E.J. (1966). Ein Beitrag zur Bestimmung der Windgeschwindigkeitsverteilung in der durch eine Wand gestörten bodennahen Luftschicht. Dissertatie. Technische Hochschule Stuttgart, 1966.

Rijkoort, P.J. (1968). The increase of mean wind speed with height in the surface friction layer. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Mededelingen en Verhandelingen No. 91. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage, 1968.

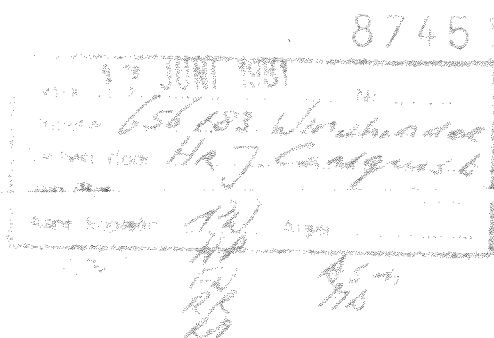
SWOV (drs. P.I.J. Wouters) (1979). Een windafhankelijke adviessnelheid voor het wegverkeer op de Moerdijkbrug. R-79-20. SWOV, Voorburg, 1979.

Wouters, drs. P.I.J. & Mooyman, ir. G.L. (1980). Wind - een gevaar op de weg. R-80-8. SWOV, Voorburg, 1980.

Artikel Verkeerskunde 31 (1980) 3: 104 t/m 108.

rijkswaterstaat

dienst verkeerskunde
transportation and traffic
engineering division



SWOV
t.a.v. de heer J.C.A. Carlquist
Postbus 71
2270 AB VOORBURG

uw kenmerk:

's-gravenhage,

16 JUNI 1981

uw brief van:

ons kenmerk:

TXO 813927

projectcode:

verzonden:

in behandeling bij:

bijlagen:

onderwerp: Consultaanvraag
 Onderzoek wind-
 hinder Oosterscheldedam

Hierbij vraag ik uw aandacht voor het volgende.

Onlangs werd mijn dienst door de Deltadienst van de Rijkswaterstaat verzocht om advies uit te brengen inzake de mogelijke consequenties van de Oosterscheldedam op de veiligheid van het wegverkeer over deze dam. Deze consequenties hebben vooral betrekking op de gevolgen van windhinder.

Door de gekozen constructievorm kunnen namelijk periodieke windstoten optreden, die qua frequentie voor de bestuurder en auto in een gevaarlijk gebied liggen.

Op verzoek van ir. A. Wilmink van mijn dienst heeft drs. P.I.J. Wouters van uw stichting deelgenomen aan een tweetal oriënterende besprekingen tussen de Deltadienst, de directie Zeeland, de directie Bruggen en mijn dienst.

Ten behoeve van het tweede gesprek heeft drs. Wouters op verzoek van ir. Wilmink een nota (PW/YH 86957) opgesteld met een aantal relevante overwegingen, die een besluit om al dan niet onderzoek uit te voeren, kunnen onderbouwen.

-Gelet-

correspondentieadres:

koningskade 4, postbus 20906

2500 EX 's-gravenhage, tel. (070) 264011

hoofdafd. scheepvaart: spuiweg 5, postbus 494

3300 AL dordrecht, tel. (078) 131444

afd. esthetische verzorging: groenewoudsedijk 2a

postbus 3111, 3502 GC utrecht, tel. (030) 931841

verzoeken bij uw antwoord kenmerk en
datum dezes te vermelden en slechts
één zaak in een brief te behandelen

rijkswaterstaat

behoort bij: brief

nr. TXO 813927

datum: 16 JUNI 1981

bladnr: 2

Gelet op de door de Deltadienst voorgestane oplossing - het plaatsen van schermen langs de wegkant - lijkt mij het uitvoeren van een onderzoek noodzakelijk dat tot doel heeft de juiste vorm en wijze van plaatsing van de schermen vast te stellen.

Gaarne wil ik bij de uitvoering van een dergelijk onderzoek gebruik maken van de binnen uw instituut verzamelde kennis met betrekking tot windhinder voor het wegverkeer.

Daar op dit moment nog niet geheel duidelijk is hoe een dergelijk relatief complex onderzoek moet worden opgezet zou ik gaarne van u een consult terzake ontvangen. Na formalisering van dit consult dienen nadere afspraken gemaakt te worden over de taak en de rol van de SWOV alsmede van andere in te schakelen instituten (NRL en TNO) in dit project, afhankelijk van aard en omvang van het daarna uit te voeren onderzoek.

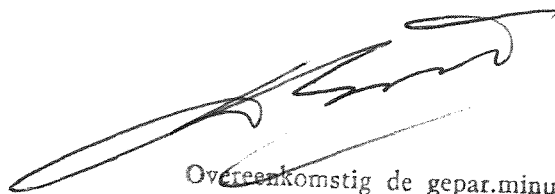
Hierbij speelt tevens een rol de mogelijkheid om uwerzijds voldoende mankracht voor dit project vrij te maken, mede in relatie tot het project "Evaluatie Windwaarschuwingssysteem Moerdijkbrug".

Ik verzoek u daarom, een voorstel uit te brengen inzake de aanpak en uitvoering van een onderzoek naar de windhinderproblemen op de Oosterscheldedam. In dit voorstel dient tevens een opgave gedaan te worden van het aantal interne manuren en de eventuele externe kosten die gemoeid zullen zijn met het uitvoeren van de verschillende onderdelen van het onderzoek. Hierbij dient een onderscheid gemaakt te worden tussen werkzaamheden die kunnen worden beschouwd als voorbereiding van het onderzoek en werkzaamheden ten behoeve van de uitvoering van het onderzoek.

Ik verzoek u uw voorstel terzake zo spoedig mogelijk in te zenden zodat daarna kan worden gestart met een formele opdrachtformulering.

Als projectleider dezerzijds fungeert ir. A. Wilmink, hoofd van de Afdeling Basis Onderzoek Verkeerstechniek van mijn dienst.

De Hoofdingenieur-Directeur,



Overeenkomstig de gepar.minute

AW/ED

Coll.:

Bijlage**811695**
16 MRT.1981

Verkeersveiligheid op de Stormvloedkering.

Probleemstelling.

Bijna altijd zullen de schuiven van de kering opgeheven zijn voor het doorlaten van het getij. Daarbij is de onderkant van de schuif op N.A.P.+1,20 m.

Omdat de schuifhoogte verschilt met de drempelhoogte, zal de bovenkant van de schuiven in geheven positie, per opening verschillen (zie tabel).

In de geul Roompot zullen zeven schuiven zelfs één meter boven het wegdek N.A.P.+12 m steken.

Tijdens het onderhoud zal de schuif 1,30 m hoger geheven worden dan in de tabel is aangegeven.

Gerekend moet worden dat dit altijd met enige schuiven het geval zal zijn. Deze omstandigheid betekent dat een automobilist t.p.v. iedere nieuwe opening met een gewijzigde schuifhoogte, een andere stuwdruk door de wind zal ondervinden.

Beoordeeld zal moeten worden of deze situatie toelaatbaar is met het oog op de verkeersveiligheid op dat aanvullende maatregelen nodig zijn. In het laatste geval moet aangegeven worden welke maatregelen daarvoor in aanmerking komen.

Tabel hoogte bovenkant schuiven gaande van Noord naar Zuid

Stroomgeul Hammen 4 stuks schuiven met bovenkant op 7.10 + NAP

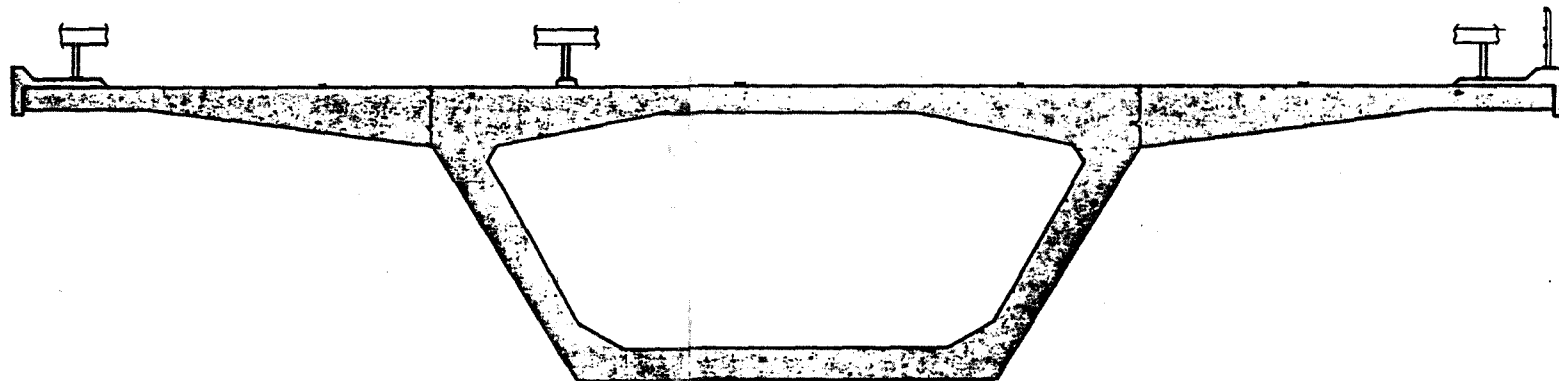
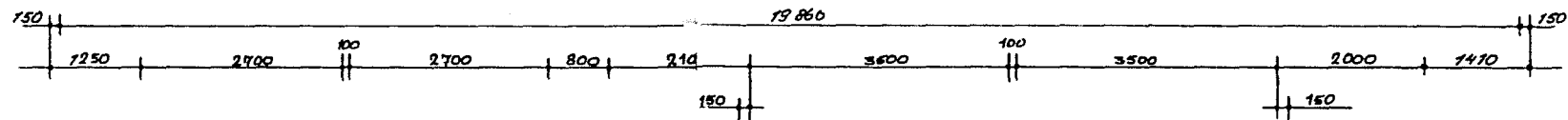
| | |
|---|-------|
| 1 | 8.10 |
| 1 | 9.10 |
| 1 | 10.10 |
| 3 | 11.10 |
| 1 | 10.10 |
| 1 | 9.10 |
| 1 | 8.10 |
| 2 | 7.10 |

Stroomgeul Schaar 4 stuks schuiven met bovenkant op 7.10 + NAP

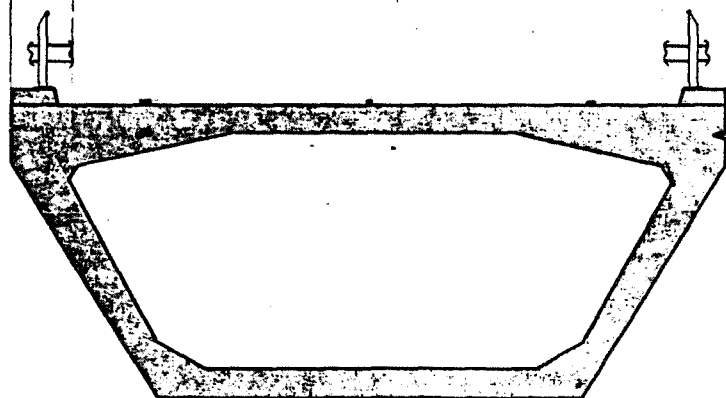
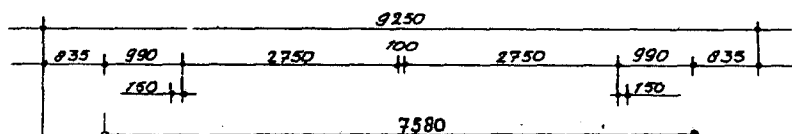
| | |
|---|-------|
| 1 | 8.10 |
| 2 | 9.10 |
| 4 | 10.10 |
| 1 | 9.10 |
| 1 | 8.10 |
| 3 | 7.10 |

Geul Roompot 1 stuks schuiven met bovenkant op 7.10 + NAP

| | |
|---|-------|
| 1 | 8.10 |
| 1 | 9.10 |
| 3 | 10.10 |
| 2 | 11.10 |
| 8 | 12.10 |
| 7 | 13.10 |
| 3 | 12.10 |
| 1 | 11.10 |
| 1 | 10.10 |
| 2 | 9.10 |
| 1 | 8.10 |
| 1 | 7.10 |



WEGINDELING EINDFASE



WEGINDELING BOUWFASE

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE SLUIZEN EN STUWEN

Rijkskantorengebouw Westraven Utrecht-Z. Postbus 20000 Cede 3502 LA Tel. 030-85 91 11

De hfd. ingenieur in afg. dienst

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

De technic H.R.

**WEGINDELING
VERKEERSKOKER**

EINDFASE EN BOUWFASE

get *T. van S. H. P. H. V. S.*