

e0800644-4

Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een
gedetailleerde toetsing op golfklappen op een
bekleding van waterbouwasfaltbeton

versie 2, april 2009

Projectnummer : e0800644-4
Offertenummer en datum : o080716/ou/adl
Titel rapport : werkwijzebeschrijving gedetailleerde toetsing op golfklappen
Status rapport : **definitief**

Naam opdrachtgever : STOWA
Adres : Postbus 8090
Plaats : 3503 RB UTRECHT
Naam contactpersoon : ir. L.R. Wentholt
Projectbegeleider Deltares : Dr. B.G.H.M. Wichman

Datum opdracht : 27 mei 2008
Kenmerk opdracht : 2008-0432-LRW-451163-BND

Contactpersoon KOAC·NPC : ing. A.K. de Looff
Auteur(s) rapport : ing. A.K. de Looff

Rapportage

Naam: ing. A.K. de Looff

Handtekening:

Datum: 10 april 2009

Autorisatie

Naam: Dr. ir. C.A.P.M. van Gorp

Handtekening:

Datum: 10 april 2009

Zonder schriftelijke toestemming van KOAC·NPC mag het rapport (of certificaat) niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	5
1.1	Probleemstelling en doel.....	5
1.2	Werkwijze.....	5
1.3	Onderdelen van de beoordeling.....	6
1.4	Richtlijnen voor rapportages.....	8
1.5	Leeswijzer.....	8
2	Vorbereidingen.....	9
2.1	Algemeen.....	9
2.2	Basisinformatie.....	9
2.3	Meetplan.....	10
2.4	Resultaten activiteiten.....	11
3	Veldwerkzaamheden.....	12
3.1	Algemeen.....	12
3.2	Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen.....	12
3.3	Uitvoeren van grondradarmetingen.....	13
3.4	Boren van kernen uit de bekleding.....	14
3.5	Resultaten activiteiten.....	14
3.5.1	Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen.....	14
3.5.2	Uitvoeren van grondradarmetingen.....	15
3.5.3	Boren van kernen uit de bekleding.....	15
4	Analyse data veldmetingen.....	16
4.1	Algemeen.....	16
4.2	Bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel.....	16
4.3	Bepalen van de boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek.....	18
4.4	Uitvoeren van frequency sweeps en opstellen van mastercurves.....	19
4.5	Bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond.....	20
4.6	Resultaten activiteiten.....	22
4.6.1	Bepalen van rek op basis van het deflectieprofiel.....	22
4.6.2	Bepalen van de boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek.....	22
4.6.3	Uitvoeren van frequency sweeps en opstellen van mastercurves.....	22
4.6.4	Bepalen van de stijfheid van de bekleding en ondergrond.....	22
5	Uitvoeren vermoeiingsonderzoek.....	23
5.1	Algemeen.....	23
5.2	Boren van kernen uit de bekleding.....	23
5.3	Uitvoeren van vermoeiingsproeven.....	23
5.4	Opstellen van vermoeiingslijnen.....	25
5.4.1	Keuze van de vermoeiingslijn.....	25
5.4.2	Rechte vermoeiingslijn.....	25
5.4.3	Gekromde vermoeiingslijn.....	26

5.5	Resultaten activiteiten	27
5.5.1	Boren van kernen uit de bekleding	27
5.5.2	Uitvoeren van vermoeiingsproeven	27
5.5.3	Opstellen van vermoeiingslijnen	28
6	Toetsing met GOLFKLAP	29
6.1	Omschrijving van de activiteiten	29
6.2	Resultaten activiteiten	30
7	Procedure herhalingsmetingen	31
8	Vastleggen van de gegevens	38
9	Referenties.....	39
	Lijst van gebruikte symbolen en afkortingen	41

Bijlagen:

Bijlage 1: Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 2: Onderzoeksplan cyclische proef in trek-drukopstelling

Bijlage 3: Handleiding grafiekenmaker

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en doel

Conform het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [MTV, 2007] is in de afgelopen jaren op veel dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton een gedetailleerde beoordeling op golfklappen uitgevoerd. Uitgaande van een van te voren opgezette systematiek heeft de methode zich in de loop van de projecten verder ontwikkeld. Op dit moment is de methode zodanig uitgekristalliseerd dat deze kan worden geüniformeerd. Achtergronden bij het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een asfaltbekleding zijn opgenomen in het DWW-rapport Veiligheidsbeoordeling van asfaltdijkbekledingen [DWW, 2005].

In deze werkbeschrijving wordt de gedetailleerde beoordeling van een asfaltbekleding op golfklappen geüniformeerd, dat wil zeggen; de verschillende onderdelen van het proces worden beschreven. Per onderdeel worden de randvoorwaarden en de resulterende producten en parameters beschreven. Dit heeft als doel om duidelijkheid te verschaffen voor de uitvoerende instantie, de opdrachtgever (de dijkbeheerder) en voor de Dienst Weg- en Waterbouwkunde die verantwoordelijk is voor het beschikbaar stellen van geschikte instrumenten voor het uitvoeren van een veiligheidsbeoordeling. Deze werkbeschrijving is niet normstellend maar richtinggevend.

1.2 Werkwijze

In de volgende paragraaf is een algemene beschrijving gegeven van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen. De beoordeling is verdeeld in verschillende onderdelen en per onderdeel worden verschillende activiteiten uitgevoerd. Geordend per onderdeel en per activiteit zijn de volgende gegevens in de werkbeschrijving vastgelegd:

- Omschrijving van de benodigde informatie voor de beoordeling, zowel minimaal benodigd (bijv. hydraulische randvoorwaarden) als bruikbare aanvullende informatie (bijv. gegevens opleveringscontrole).
- Een gedetailleerde beschrijving van de onderdelen van de beoordeling, zowel de minimaal benodigde als eventuele aanvullende onderdelen.
- Beschrijving van de wijze waarop de beoordeling op papier wordt vastgelegd.
- Beschrijving van de wijze waarop de informatie (digitaal) wordt gearchiveerd en opgeleverd.

Van elke activiteit is daarnaast het volgende aangegeven:

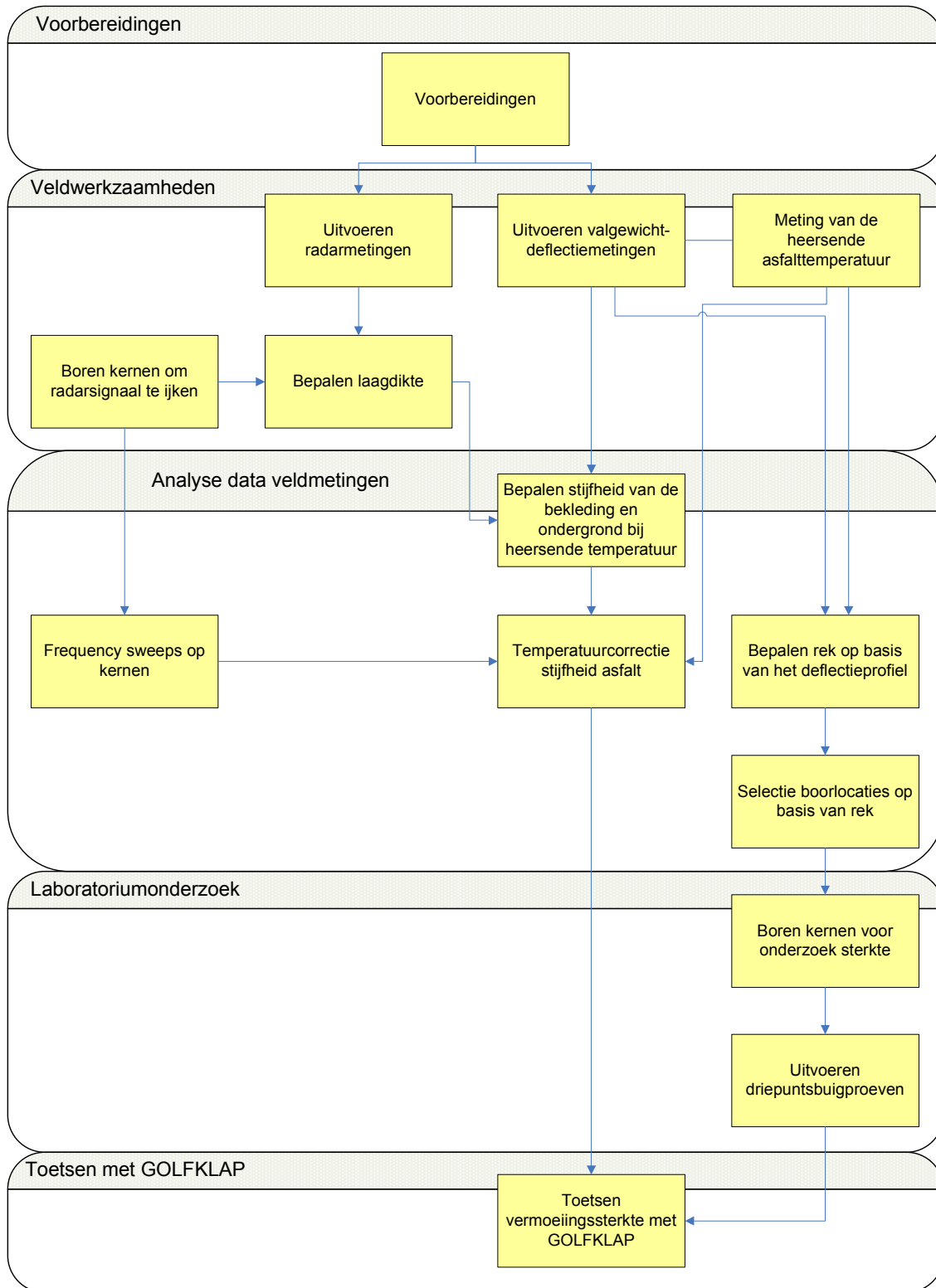
- Is de activiteit noodzakelijk of optioneel? Noodzakelijke activiteiten zijn minimaal benodigd om een veiligheidsbeoordeling uit te voeren. Optionele activiteiten zijn niet noodzakelijk maar wel zinvol en vergroten het inzicht in het gedrag van de bekleding.
- Onder welke condities moet de activiteit worden uitgevoerd?
- In welke parameters die gebruikt worden bij de beoordeling resulteert de activiteit?
- In welk product resulteert de activiteit?

1.3 Onderdelen van de beoordeling

De beoordeling op golfklappen is verdeeld in de volgende onderdelen:

- Voorbereidingen
- Uitvoeren veldwerkzaamheden
- Analyse data veldmetingen
- Uitvoeren laboratoriumonderzoek
- Toetsing van de bekleding met GOLFKLAP

In figuur 1.1 is een processchema van de gedetailleerde beoordeling op golfklappen gegeven.



Figuur 1:1 Processchema gedetailleerde beoordeling op golfklappen

1.4 Richtlijnen voor rapportages

De hier beschreven methode leidt tot een min of meer standaard werkwijze. De rapportages omvatten de volgende onderdelen:

- Een beschrijving van de werkzaamheden, uitgevoerde metingen en proeven etc.;
- De resultaten van uitgevoerde metingen en proeven;
- Interpretatie en analyse van de resultaten;
- Uitgangspunten, beschrijving en resultaten van uitgevoerde berekeningen;
- Conclusies en aanbevelingen.

Bijzonderheden en afwijkingen ten opzichte van de hier beschreven werkwijze moeten in de rapportages worden vermeld.

1.5 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken is de werkbeschrijving verder uitgewerkt. Per hoofdstuk is een onderdeel van de beoordeling beschreven zoals aangegeven in paragraaf 1.3. In hoofdstuk 2 zijn de projectvoorbereidingen beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de uit te voeren veldwerkzaamheden. Dit betreft het uitvoeren van radar- en valgewicht-deflectiemetingen. In hoofdstuk 4 worden het bepalen van de relevante constructie-eigenschappen op basis van de meetdata en het selecteren van locaties voor het vermoeiingsonderzoek beschreven. Hoofdstuk 5 behandelt het bepalen van het vermoeiingsgedrag van het asfalt met driepuntsbuigproeven. In hoofdstuk 6 is aangegeven hoe de vermoeiingssterkte van het asfalt wordt getoetst met het computermodel GOLFKLAP. In hoofdstuk 7 is de procedure voor het uitvoeren van herhalingsmetingen beschreven. In hoofdstuk 8 wordt verder ingegaan op het vastleggen van de bij de beoordeling verkregen gegevens.

2 Voorbereidingen

2.1 Algemeen

Bij het onderdeel voorbereidingen wordt alle voor de beoordeling benodigde informatie verzameld. Daarnaast worden alle voorbereidende werkzaamheden uitgevoerd voor het uitvoeren van de radar- en valgewicht-deflectiemetingen. De volgende werkzaamheden worden uitgevoerd:

- Verzamelen basisinformatie.
- Opstellen meetplan.

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

2.2 Basisinformatie

Om inzicht te krijgen in de volgende voor de beoordeling noodzakelijke gegevens is vaak het uitvoeren van een archiefonderzoek benodigd. De volgende noodzakelijke informatie wordt vastgelegd:

- Locatiegegevens, te weten; dijkkring, naam beheerder, geografische ligging, goede metring, type onderlaag/ondergrond.
- Representatieve dwarsprofielen
- Besteksgegevens: jaar van aanleg, mengsamenstelling, besteksgrenzen.
- Hydraulische randvoorwaarden: significante golfhoogte (H_s), gemiddelde golfperiode (T_g), Toetspeil, gemiddelde getij amplitude (GGA), getijperiode, type watersysteem, locatie golfklapzone in het profiel.
- Resultaten van de visuele inspectie

Vaak is de gemiddelde golfperiode niet bekend. Deze kan dan worden geschat op basis van de piekperiode (T_p) of op basis van een relatie tussen de significante golfhoogte en de gemiddelde golfperiode. Zie hiervoor [TAW, 2002].

Naast de hierboven genoemde voor de beoordeling noodzakelijke informatie is er vaak ook informatie beschikbaar die niet altijd noodzakelijk is maar wel het uitvoeren van een goede beoordeling kan bevorderen. Het betreft de volgende gegevens:

- Gegevens uit de opleveringscontrole, te weten:
 - Gebruikte bouwstoffen,
 - Mengsamenstelling
 - Laagdikte (gemiddelde en standaardafwijking)
 - Bitumengehalte (gemiddelde en standaardafwijking)
 - Holle ruimte (gemiddelde en standaardafwijking)
- Gegevens uit de bedrijfscontrole van de aannemer.
- In het verleden opgestelde adviezen, onderzoeken of gepubliceerde artikelen over de betreffende bekleding.

2.3 Meetplan

In het meetplan wordt vastgelegd op welke wijze grondradar- en valgewicht-deflectiemetingen worden uitgevoerd. De volgende gegevens worden opgenomen in het meetplan:

- Bedrijf/bedrijven die de metingen verrichten, contactpersonen
- Apparatuur waarmee de metingen worden uitgevoerd
- Beschrijving van de meetprocedure (radar, valgewicht en temperatuur)
- Dijkvakindeling
- Bijzonderheden in de constructie zoals een in dikte verlopende bekleding, een verzwaring ter plaatse van de teen etc.
- Aantal meetraaien
- Locatie van de meetraaien
- Hart op hart afstand van de meetpunten
- Meetdata

Op basis van de volgende gegevens wordt een dijkvakindeling gemaakt:

- Besteksgrenzen
- Verschillen in hydraulische randvoorwaarden
- Verschillen in dwarsprofiel
- Verschillen in kwaliteit van asfalt

In de golfklapzone wordt 1 langsgraai gemeten met een hart-op-hart afstand van 25 m. De meetraai ligt ten minste 3 m van de overgang op de andere bekleding en eventueel verzwaard uitgevoerde scheggen vandaan. De meetraai wordt gepositioneerd in de door golven zwaarst belaste zone van de asfaltbekleding. Omdat de meeste golven onder de stilwaterlijn inslaan, wordt het onderste deel van het talud meestal het zwaarst belast. Daarom wordt de meetraai in de meeste gevallen zo laag mogelijk op het talud geplaatst.

Per dijkvak worden minimaal 20 metingen verricht.

Per meetpunt worden minimaal 3 metingen uitgevoerd met een kracht van 50kN. Het deflectieprofiel wordt vastgelegd met minimaal 7 geofoons. Bij een afwijkende constructie kan de standaard geofoonopstelling (0-300-600-900-1200-1500-1800 mm vanaf het lastcentrum) hierop worden aangepast. De metingen worden uitgevoerd met een voetplaat met een diameter van 300 mm.

VGD-metingen worden alleen verricht op een taludhelling van 1:3 of flauwer.

De antenne van de radarunit moet zijn afgestemd op de laagdikte die moet worden gemeten. Voor een bekleding van waterbouwasfaltbeton met een dikte tot maximaal 50 cm moeten antennes worden gebruikt met een frequentie van 800 tot 1200 MHz. Een hogere frequentie zorgt voor een te geringe penetratie van het signaal in het te onderzoeken medium, een lagere frequentie levert een te lage resolutie op.

De meting van de reistijd moet met een nauwkeurigheid van minimaal 0,5 ns worden uitgevoerd.

Om de locatie van de meetpunten voldoende nauwkeurig vast te leggen moeten de GPR-metingen met een snelheid van maximaal 10 km/u worden uitgevoerd. Minimaal elke 20 cm moet een meting worden uitgevoerd.

In het volgende hoofdstuk wordt uitgebreid ingegaan op het uitvoeren van de grondradar- en valgewicht-deflectiemetingen.

2.4 Resultaten activiteiten

De hier beschreven activiteiten resulteren in de volgende producten:

- Een overzicht met beschikbare gegevens
- Een dijkvakindeling
- Rapportage van de voorstudie
- Een meetplan op basis waarvan de veldmetingen worden verricht.

3 Veldwerkzaamheden

3.1 Algemeen

Onder de veldwerkzaamheden worden grondradar (GPR)- en valgewicht-deflectiemetingen (VGD) verstaan. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Uitvoeren valgewichtdeflectiemetingen
- Meten van de heersende asfalttemperatuur (gelijktijdig met het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen)
- Uitvoeren grondradarmetingen
- Opstellen van een boorplan
- Boren van kernen uit de bekleding
- Bepalen van de laagdikte van de kernen
- IJken van het radarsignaal met de laagdikten van de kernen

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

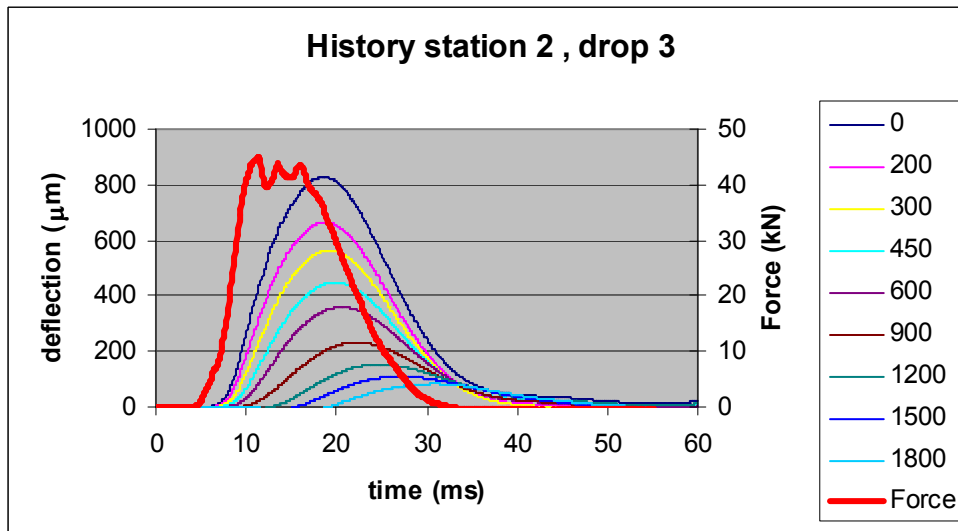
3.2 Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen

De metingen worden uitgevoerd zoals beschreven in het meetplan. Als de VGD-metingen voorafgaand aan de GPR-metingen worden uitgevoerd moeten de locaties waar de VGD-metingen zijn uitgevoerd op de bekleding worden gemarkeerd zodat met de radarunit dezelfde raai kan worden gemeten.

Tijdens het uitvoeren van de VGD-metingen wordt eveneens de temperatuur van het asfalt gemeten. Bij elke VGD-meting wordt de oppervlaktetemperatuur van het asfalt met infrarood gemeten. Hierbij wordt het tijdstip van meten geregistreerd. Op basis van de oppervlaktetemperatuur, de laagdikte en de gemiddelde temperatuur van het voorgaande etmaal wordt met de BELLS-vergelijking [Baltzer e.a., 1995] de gemiddelde asfalttemperatuur berekend. Daarnaast wordt de asfalttemperatuur in het midden van de bekleding in een boorgat gemeten conform de specificaties van het CROW [CROW, 1995]. De meting in een boorgat vindt plaats vanaf aanvang van de VGD-metingen op 2 locaties. De temperatuur wordt gedurende de VGD-metingen met data-loggers vastgelegd. Als de met de BELLS-vergelijking bepaalde temperatuur meer dan 1 graad Celsius afwijkt van de in het boorgat gemeten temperatuur wordt de met de BELLS-vergelijking bepaalde temperatuur gecorrigeerd met de helft van het verschil tussen beide waarnemingen.

De valgewicht-deflectiemetingen moeten worden uitgevoerd met een door CROW gecertificeerd valgewicht en dient gekalibreerd te zijn. De VGD-metingen worden alleen uitgevoerd bij een asfalttemperatuur van minimaal 0 en maximaal 20 graden Celsius tenzij er goede redenen zijn om hiervan af te wijken. Daarnaast worden er geen metingen uitgevoerd zolang de vorst nog in de grond zit of wanneer de bekleding in de voorgaande 24 uur is belast door golfploop omdat hierdoor de temperatuurgradiënten in het asfalt zodanig worden beïnvloed dat een goede schatting van de gemiddelde asfalttemperatuur niet mogelijk is.

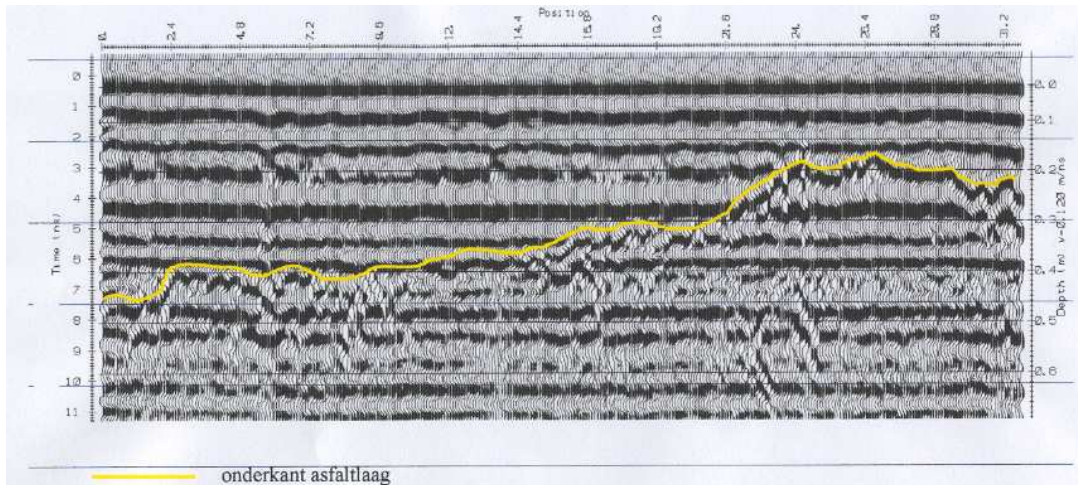
In figuur 3.1 is een voorbeeld gegeven van de registratie in de tijd van een opgelegde belasting en de deflectie van de bekleding op verschillende afstanden van het centrum van de belasting.



Figuur 3.1: deflecties op verschillende afstanden (in mm) van het lastcentrum en opgelegde belasting in de tijd

3.3 Uitvoeren van grondradarmetingen

De metingen worden uitgevoerd zoals beschreven in het meetplan. GPR- en VGD-metingen kunnen zowel gelijktijdig als na elkaar worden uitgevoerd. Bij het gelijktijdig uitvoeren van de metingen wordt de radarunit aan het valgewicht gekoppeld. Hierdoor rijden beide meetunits dezelfde meetraai en is er een directe koppeling tussen beide metingen. Dit geeft de zekerheid dat van elk valgewicht-meetpunt tevens de laagdikte op dezelfde locatie is gemeten. Een andere mogelijkheid is het uitvoeren van de radarmetingen nadat de valgewicht-deflectiemetingen zijn uitgevoerd. In dit geval moeten de locaties van de VGD-metingen zichtbaar op de bekleding zijn gemarkeerd. Tijdens het uitvoeren van de GPR-metingen moeten de locaties van de VGD-meetpunten in het meetbestand worden gemarkeerd zodat de laagdikte bij deze punten exact bekend is. Een voorbeeld van een laagdikte met radar bepaald (in dwarsprofiel) is gegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Laagdikte bepaald met grondradar (dwarsprofiel)

Via een quick scan op het verkregen radarsignaal wordt bepaald op welke locaties kernen moeten worden geboord om het radarsignaal te ijken. Per min of meer homogeen vak met een maximale lengte van 1 km wordt 1 kern geboord. Onderscheid in vakken wordt gemaakt op basis van verschillen in reistijd van het radarsignaal. Daarnaast kunnen op locaties met een afwijkend signaal kernen worden geboord.

Met de laagdikten van de boorkernen wordt het radarsignaal (reistijd) omgezet naar een laagdikte.

De aanwezigheid van zout water op of in het te onderzoeken medium kan het vaststellen van de laagdikte belemmeren omdat het signaal in zout water wordt gedempt.

3.4 Boren van kernen uit de bekleding

Op basis van de eerste resultaten van de radarmetingen wordt een boorplan opgesteld. Er worden kernen geboord met een diameter van 75 mm. De kernen worden in eerste instantie gebruikt om de radardata te ijken en in een later stadium om mechanisch onderzoek in het laboratorium (frequency sweeps) op uit te voeren. Hiermee wordt de afhankelijkheid van de stijfheid van de temperatuur en de belastingfrequentie bepaald (zie hoofdstuk 4).

De lengte van de kernen wordt bepaald conform RAW-proef 108 uit de RAW Standaard 1995 [CROW, 1995].

3.5 Resultaten activiteiten

3.5.1 Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen

Het uitvoeren van VGD-metingen resulteert in de volgende producten:

- Een meetbestand met daarin voor elke meting de volgende gegevens:
 - Maximale deflectie per gefoon.

- Gefoonafstanden ten opzichte van het lastcentrum.
- Metring.
- Opgelegde belasting.
- Datum en tijd.
- Oppervlaktetemperatuur.
- Asfalttemperatuur gemeten in een boorgat
- Eventueel het verloop van de deflecties in de tijd (bijvoorbeeld gedurende 60 ms).

3.5.2 *Uitvoeren van grondradarmetingen*

Het uitvoeren van grondradarmetingen resulteert in de volgende producten:

- Een meetrapport met daarin de volgende gegevens:
 - Onderzoeksmethode en werkwijze
 - Beschrijving van de gebruikte apparatuur incl. type(n) antenne
 - Locatie van de uitgevoerde metingen inclusief metring.
 - Datum en tijdstip van de metingen.
 - Een tabel met per boorkern de volgende gegevens:
 - Lengte
 - Reistijd
 - Diëlektrische constante
 - Resultaten per dijkvak.
 - Bijzonderheden.
- Een meetbestand met een laagdikte op elk gemeten punt (minimaal elke 20 cm).
- Een meetbestand met de laagdikte bij elk VGD-meetpunt.

3.5.3 *Boren van kernen uit de bekleding*

Het boren van kernen uit de bekleding resulteert in de volgende producten:

- Laagdikten van de kernen ten behoeve van het ijken van het radarsignaal
- Proefstukken voor het uitvoeren van frequency sweeps

4 Analyse data veldmetingen

4.1 Algemeen

Op basis van de veldmetingen worden locaties geselecteerd voor het boren van kernen voor vermoeiingsonderzoek en er worden parameters bepaald die benodigd zijn bij het uitvoeren van toetsingsberekeningen met Golfklap.

Voor het bepalen van locaties voor vermoeiingsonderzoek worden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Bepalen van de rek in de onderzijde van de bekleding op basis van het deflectieprofiel
- Bepalen van de locaties voor het boren van kernen uit de bekleding voor vermoeiingsonderzoek

De volgende werkzaamheden worden uitgevoerd voor het bepalen van parameters die benodigd zijn voor het uitvoeren van berekeningen met Golfklap:

- Bepalen van de stijfheid van de bekleding bij de tijdens de metingen heersende temperatuur
- Bepalen van de representatieve asfalttemperatuur tijdens de metingen
- Opstellen van een onderzoeksplan
- Voorbereiden van de proefstukken
- Uitvoeren van frequency sweeps op proefstukken uit de bekleding
- Opstellen van mastercurves op basis van de frequency sweeps
- Normeren van de berekende stijfheden naar 1 temperatuur
- Opstellen rapportage

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

4.2 Bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel

Op basis van het deflectieprofiel (zie bijvoorbeeld figuur 4.3 in paragraaf 4.5) zoals gemeten met een valgewicht-deflectiemeter wordt per meetpunt de rek aan de onderzijde van de bekleding ten gevolge van de met het valgewicht opgelegde belasting bepaald. Hiervoor worden eerst de gemeten deflecties genormaliseerd naar een temperatuur van 5 graden Celsius. Vervolgens wordt de rek bepaald met een voorspellend model waarbij de gemeten deflecties en daarvan afgeleide waarden de invoerparameters zijn.

Voor het bepalen van de rek worden de resultaten van de 3e klap gebruikt. Voordat de rek wordt berekend, wordt van elk meetpunt het deflectieprofiel gecontroleerd. Nagegaan moet worden of de deflectie afneemt bij een toenemende afstand van de geofoon tot de voetplaat en of het deflectieprofiel vloeiend verloopt. Bij afwijkende profielen wordt nagegaan of het deflectieprofiel van de 2e klap wel bruikbaar is. Deflectieprofielen met grote discontinuïteiten worden verwijderd.

Temperatuurnormalisatie kan plaatsvinden met formules afgeleid door Van Gurp [Van Gurp, 1995]. Deze formules normaliseren naar een standaardtemperatuur van 20 °C.

$$TNF = 1 + \left(a_1 + \frac{a_2}{h_1} \right) \cdot (T_a - 20) + \left(a_3 + \frac{a_4}{h_1} \right) \cdot (T_a - 20)^2 \quad (1)$$

De genormaliseerde deflectie bij 20 °C wordt als volgt bepaald:

$$d_{ref} = \frac{d_t}{TNF} \quad (2)$$

Waarbij TNF = temperatuurnormalisatiefactor
 c_i = modelcoëfficiënt (zie tabel 4.1)
 h_1 = dikte van asfaltlaag (mm)
 T_a = asfalttemperatuur (°C)
 d_{ref} = deflectie bij referentietemperatuur (µm)
 d_t = deflectie bij meettemperatuur (µm)
 a_1 t/m a_4 = coëfficiënten voor temperatuurnormalisatie, zie tabel

Tabel 4.1 Coëfficiënten voor temperatuurnormalisatie

Variabele	a1 (°C ⁻¹)	a2 (mm/°C)	a3 (0,001°C ⁻²)	a4 (mm/°C ²)
d_0	0,01661	-0,67095	0,28612	-0,01408
SCI300	0,05398	-2,61130	1,28439	-0,07493
SCI600	0,04190	-2,15168	0,97228	-0,05301

De genormaliseerde deflectie bij 5 °C wordt dan ook als volgt berekend:

$$d_5 = \frac{TNF_5}{TNF_t} \cdot d_t \quad (3)$$

waarbij TNF_t = temperatuurnormalisatiefactor van de meettemperatuur
 TNF_5 = temperatuurnormalisatiefactor bij een temperatuur van 5 °C
 d_t = deflectie bij meettemperatuur (µm)
 d_5 = deflectie bij 5 °C (µm)

TNF_5 wordt als volgt berekend:

$$TNF_5 = 1 + \left(a_1 + \frac{a_2}{h_1} \right) \cdot (-15) + \left(a_3 + \frac{a_4}{h_1} \right) \cdot 225 \quad (4)$$

De relatie tussen afgeleiden van het deflectieprofiel en de asfaltrek luidt:

$$\log(\varepsilon) = 1,5231 + 2,09803 \cdot \log(d_0) - 1,4151 \cdot \log(d_{300}) - 0,42989 \cdot \log(d_{600}) + 4,32481 \cdot \log(SCI_{300}) - 7,60848 \cdot \log(SCI_{600}) + 3,56736 \cdot \log(BDI) + 0,39567 \cdot \log(BCI) \quad (5)$$

waarbij ε = maximum rek onderin asfalt onder belasting van 50 kN (µm/m)
 h_1 = laagdikte asfalt (mm)

d_i	=	deflectie onder belasting van 50 kN gemeten op afstand i mm vanaf het lastcentrum (μm)
SCI_{300}	=	Surface Curvature Index $d_0 - d_{300}$ (μm)
SCI_{600}	=	Surface Curvature Index $d_0 - d_{600}$ (μm)
BDI	=	Base Damage Index $d_{300} - d_{600}$ (μm)
BCI	=	Base Curvature Index $d_{600} - d_{900}$ (μm)

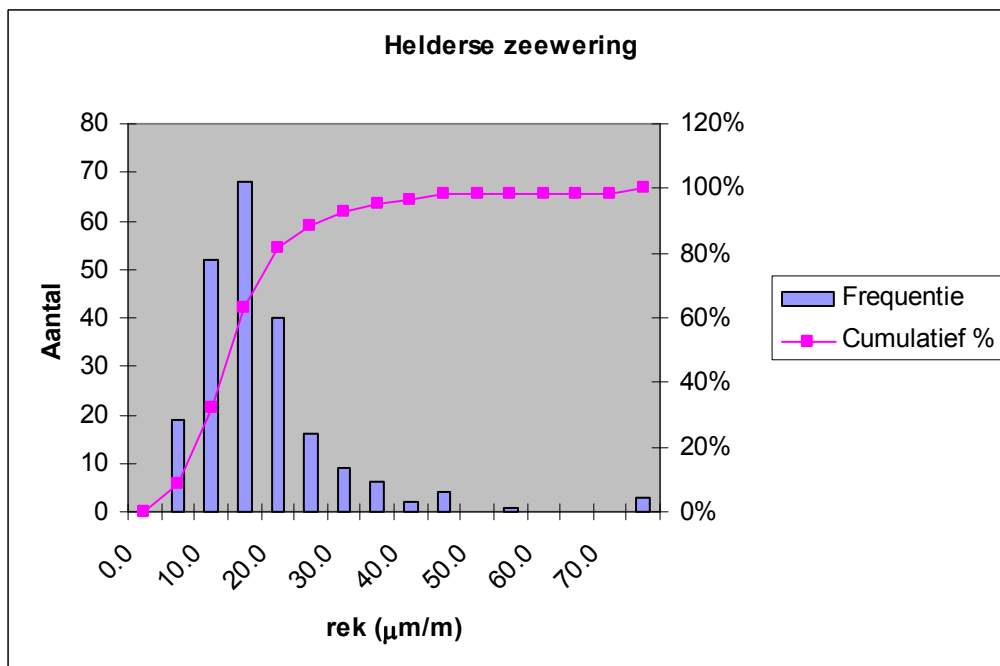
Bij meetpunten die een berekende rek hebben die erg afwijken van het gemiddelde beeld wordt nogmaals het deflectieprofiel gecontroleerd en eventueel de time-historygrafiek van de meting. Alleen als daartoe op grond van deze gegevens aanleiding toe is, worden de resultaten van dit meetpunt verwijderd uit het bestand.

4.3 Bepalen van de boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek

In principe worden vermoeiingseigenschappen bepaald voor elk dijkgedeelte dat onder 1 bestek is aangelegd. Er kan worden besloten meerdere van deze dijkgedeelten te groeperen en hiervoor gezamenlijk de vermoeiingseigenschappen te bepalen als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- Het dwarsprofiel en de constructieopbouw van de verschillende dijkgedeelten is gelijk
- De mengselsamenstelling en holle ruimte van de verschillende dijkgedeelten is vergelijkbaar
- Er zijn geen grote verschillen in aanlegjaar van de verschillende dijkgedeelten

Voor elk dijkgedeelte waarvan de vermoeiingseigenschappen worden bepaald wordt de cumulatieve frequentieverdeling van de rek bepaald. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1 Voorbeeld van een cumulatieve frequentieverdeling van de rek

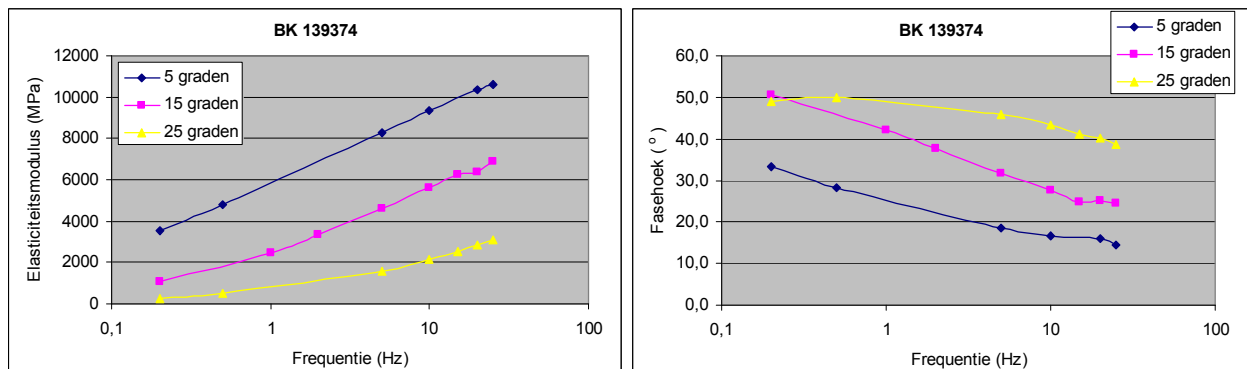
Op verschillende percentielpunten van de rek worden als volgt de boorlocaties voor het vermoeiingsonderzoek bepaald:

- 2 kernen op 5% percentielpunten
- 2 kernen op 35% percentielpunten
- 2 kernen op 65% percentielpunten
- 2 kernen op 95% percentielpunten

4.4 Uitvoeren van frequency sweeps en opstellen van mastercurves

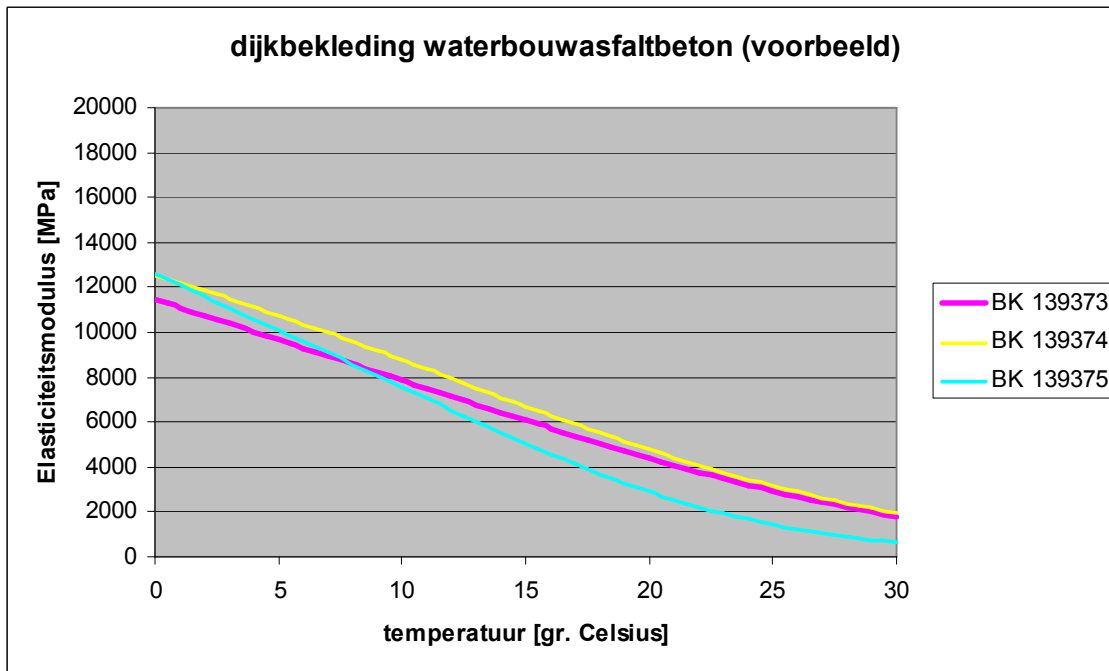
Voorafgaand aan het uitvoeren van de frequency sweeps wordt een onderzoeksplan opgesteld waarin de uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven.

De frequency sweeps worden uitgevoerd in een trek-drukopstelling op planparallel gezaagde proefstukken uit de eerder verkregen kernen. Voorafgaand wordt van elk proefstuk de dichtheid van het proefstuk vastgesteld. Op elk proefstuk wordt een sweep uitgevoerd van 0,1 tot 30 Hz. bij drie temperaturen (5, 12 en 20 graden Celsius). Hierbij worden de uit de verkregen signalen de elasticiteitsmodulus en de fasehoek bepaald. In figuur 4.2 is het resultaat van frequency sweeps op een proefstuk bij verschillende temperaturen gegeven.



Figuur 4.2: resultaten frequency sweeps

Met het programma HUSAROAD of een vergelijkbare methode wordt een mastercurve, een relatie tussen de elasticiteitsmodulus (E) en de frequentie (f), voor elk proefstuk opgesteld. Op basis hiervan wordt een relatie tussen de elasticiteitsmodulus bij 10 Hz. en de temperatuur opgesteld. Uit deze curves wordt per bestek 1 representatieve curve geselecteerd. Deze wordt gebruikt voor het normeren van alle stijfheden naar 1 temperatuur. Een voorbeeld van de relatie tussen stijfheid en temperatuur is gegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.3: relatie tussen de elasticiteitsmodulus (bij 10 Hz.) en de temperatuur voor een willekeurige bekleding

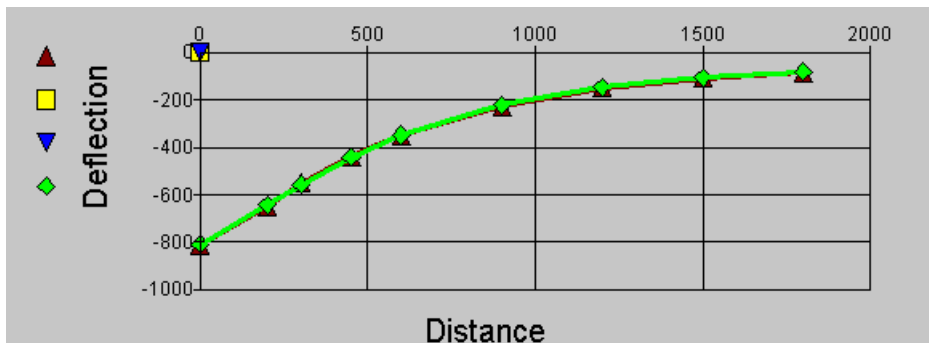
Voor het uitvoeren van een cyclische proef in een trek-drukopstelling is geen proefvoorschrift beschikbaar. In bijlage 2 is een onderzoeksplan opgenomen waarin de condities voor deze proef zijn vastgelegd.

Indien er mastercurves beschikbaar zijn van asfalt met een vergelijkbare leeftijd en materiaaleigenschappen (mengselsamenstelling en holle ruimte) kan worden overwogen om gebruik te maken van deze gegevens. In dit geval is het uitvoeren van frequency sweeps niet noodzakelijk.

4.5 Bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond

De elasticiteitsmoduli van het asfalt en de ondergrond worden teruggerekend met een computermodel gebaseerd op de zogenaamde Odemark-Boussinesq methode voor equivalente laagdikten. Hierbij wordt bij gegeven laagdikten een combinatie van stijfheden van top- en onderlagen gezocht die een berekend deflectieprofiel geeft dat het gemeten profiel het dichtst benadert. Op deze wijze wordt de stijfheid van de toplaag, een eventueel aanwezige onderlaag en de ondergrond bepaald.

Voor het terugrekenen van de stijfheden wordt gebruik voor elk meetpunt gemaakt van de laatste meting tenzij hier een meetfout is opgetreden en de eerste of tweede meting wel een betrouwbaar deflectieprofiel levert. Een voorbeeld van een gemeten en teruggerekend deflectieprofiel is gegeven in figuur 4.4.



Figuur 4.4 gemeten en berekend deflectieprofiel (deflectie in µm en afstand in mm)

Van elke teruggerekende elasticiteitsmodulus van de toplaag wordt de bijbehorende representatieve asfalttemperatuur berekend met de BELLS-vergelijkingen [Baltzer e.a., 1995]. Dit is het gewogen gemiddelde van de temperatuur over de dikte van de bekleding.

Met behulp van de bepaalde relatie tussen elasticiteitsmodulus en temperatuur wordt de elasticiteitsmodulus genormeerd naar 1 temperatuur. Voor de toetsing met Golfklap worden de VGD-stijfheden genormaliseerd naar 5 graden Celsius en 10 Hz.

Ter controle worden de stijfheden die uit de VGD-metingen zijn bepaald vergeleken met de stijfheden die in het laboratorium worden bepaald. Deze controle kan op twee momenten plaatsvinden:

- De stijfheden uit de frequency sweeps in de trek-drukopstelling kunnen worden vergeleken met de stijfheden uit de VGD-metingen. De stijfheden die in de trek-drukopstelling zijn bepaald zijn gemeten aan het proefstuk en hebben een hoge nauwkeurigheid.
- Voorafgaand aan de vermoeiingsproeven (zie paragraaf 5.2) kan de elasticiteitsmodulus van de proefstukken bij 5 graden Celsius en 10 Hz. worden bepaald. Deze kunnen worden vergeleken met de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen.

Voor het vergelijken van de stijfheden geldt dat de stijfheid uit de valgewichtmeting moet worden vergeleken met de stijfheid van het proefstuk dat uit hetzelfde meetpunt afkomstig is. De kernen zijn immers exact op VGD-metpunten geboord. De te vergelijken stijfheden moeten eerst met HUSAROAD of een vergelijkbare methode worden genormeerd naar eenzelfde temperatuur en frequentie voordat ze met elkaar kunnen worden vergeleken. Controle van de stijfheden vindt gelijktijdig plaats met controle van de radarlaagdikte Dit vindt plaats nadat de kernen voor het vermoeiingsonderzoek zijn geboord (zie paragraaf 5.2 en 5.3).

Uit de stijfheid van de onderlaag wordt in de beddingsconstante bepaald met de volgende formule (uit [Verruit, 1983]):

$$c = \frac{E}{2a(1-\nu^2)} \quad (6)$$

Hierin is:

c beddingsconstante (MPa/m)

- E elasticiteitsmodulus van de ondergrond (MPa)
a straal van de belaste plaat (m)
v dwarscontractiecoëfficiënt = 0,35 voor zand (-)

Omdat de proeven niet direct op het zand zijn uitgevoerd, kan voor de diameter van de belasting niet worden volstaan met de voetplaat van het valgewicht. Aangenomen dat de belasting onder een hoek van 45° spreidt wordt de straal van de belaste plaat 0,15 m + de laagdikte. De genoemde plaat is de voetplaat van het valgewicht. Deze heeft een diameter van 0,30 m.

4.6 Resultaten activiteiten

4.6.1 *Bepalen van rek op basis van het deflectieprofiel*

Het bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel resulteert in een naar 5 graden Celsius genormaliseerde rek van de asfaltbekleding voor elk VGD-meetpunt.

4.6.2 *Bepalen van de boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek*

Het bepalen van boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek resulteert in het volgende:

- Overzicht van percentiepunten van de rek en boorlocaties per dijkgedeelte
- Boorplan

4.6.3 *Uitvoeren van frequency sweeps en opstellen van mastercurves*

Het uitvoeren van frequency sweeps resulteert voor elk proefstuk in het volgende:

- Onderzoeksplan frequency sweeps
- Elasticiteitsmoduli en fasehoeken van het asfalt bij de beproefde temperaturen en frequenties

Het opstellen van de mastercurves resulteert in het volgende:

- Relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en frequentie (f) voor elk proefstuk
- Relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en temperatuur (T) voor elk proefstuk
- Representatieve relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en temperatuur (T) voor elk bestek

4.6.4 *Bepalen van de stijfheid van de bekleding en ondergrond*

Het bepalen van de stijfheid resulteert in de volgende producten:

- Teruggerekende elasticiteitsmoduli toplaag bij de heersende asfalttemperatuur
- Representatieve asfalttemperatuur voor elke teruggerekende elasticiteitsmodulus
- Naar 1 temperatuur genormeerde elasticiteitsmoduli van de toplaag
- Elasticiteitsmodulus en beddingsconstante van de ondergrond

5 Uitvoeren vermoeiingsonderzoek

5.1 Algemeen

Het vermoeiingsonderzoek wordt uitgevoerd op proefstukken afkomstig van locaties die zijn geselecteerd op basis van de rek in de bekleding. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Boren van kernen uit de bekleding
- Meten van de laagdikte aan de kernen
- Opstellen van een onderzoeksplan
- Voorbereiden van de proefstukken
- Bepalen van de elasticiteitsmodulus
- Uitvoeren van de vermoeiingsproeven
- Uitvoeren van standaardonderzoek op zaagrestanten
- Opstellen van vermoeiingslijnen
- Opstellen rapportage

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

5.2 Boren van kernen uit de bekleding

Op basis van de rekken in de bekleding zijn de locaties voor het boren van kernen voor het vermoeiingsonderzoek vastgelegd. De 8 kernen moeten exact op de locaties worden geboord waar ook de VGD-metingen zijn uitgevoerd. Hiertoe zijn de VGD-meetpunten op de bekleding gemarkeerd.

Voor het boren van de kernen moeten de locaties van de VGD-metingen exact worden teruggezocht. De diameter van de kernen bedraagt 250 mm.

Van de kernen wordt de laagdikte bepaald conform proef 108 uit de Standaard RAW 1995 waarbij de lengte van de kern 8 maal gemeten wordt in plaats van 4. De laagdikte wordt vergeleken met de met grondradar bepaalde laagdikte op deze locaties. Op deze wijze wordt achteraf een indicatie verkregen van de nauwkeurigheid van de laagdikte die met de GPR-metingen is verkregen.

5.3 Uitvoeren van vermoeiingsproeven

Voorafgaand aan de laboratoriumwerkzaamheden wordt een onderzoeksplan opgesteld waarin de uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven.

Uit de onderzijde van elke kern wordt een schijf gezaagd waaruit 2 balkvormige proefstukken worden gezaagd van 220 x 50 x 50 mm. De proefstukken worden gedroogd aan de lucht waarna de dichtheid proefstuk wordt bepaald door middel van meten en wegen.

Voor het onderzoek zijn 16 balkjes uit 8 kernen beschikbaar. Per kern wordt in de driepunts-buigopstelling eenmaal de breuksterkte bepaald en wordt 1 vermoeiingsproef uitgevoerd. De breuksterkte wordt bepaald bij een temperatuur van 5 graden Celsius en een verplaatsingssnelheid van 0,35 mm/s

Het krachtniveau van de vermoeiingsproeven wordt bepaald op basis van de breuksterkte van de tweelingbalkjes. Hiervoor wordt de volgende procedure gevolgd:

- De balkjes voor de vermoeiingsproeven worden gesorteerd en genummerd op basis van de breuksterkte van de tweelingbalkjes waarbij het balkje met de hoogste breuksterkte nummer 1 krijgt en het balkje met de laagste breuksterkte (in het geval van 8 vermoeiingsproeven) nummer 8.
- De op te leggen kracht tijdens de vermoeiingsproef wordt vastgesteld door het krachtniveau bij breuk van het tweelingbalkje te vermenigvuldigen met de factor zoals aangegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1: factoren voor het vaststellen van de krachtniveaus van de vermoeiingsproeven

Volgorde breuksterkte	Factor
1	0,55
2	0,25
3	0,40
4	0,70
5	0,70
6	0,40
7	0,25
8	0,55

Voorafgaand aan de vermoeiingsproeven kan de elasticiteitsmodulus van de proefstukken bij 5 graden Celsius en 10 Hz. worden bepaald. Deze worden gebruikt ter controle van de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen. De controle van de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen kan ook worden uitgevoerd met de resultaten van de frequency sweeps. Zie ook paragraaf 4.3. Als er geen frequency sweeps zijn uitgevoerd, is het bepalen van de elasticiteitsmodulus van de proefstukken in de driepuntsbuigopstelling noodzakelijk.

De controle van de stijfheden vindt gelijktijdig plaats met de controle van de radarlaagdikte. Zie hiervoor ook paragraaf 5.2.

Ter onderbouwing van de resultaten van de sterkteproeven wordt op de zaagrestanten van elke kern een standaardonderzoek uitgevoerd. De volgende eigenschappen worden bepaald:

- Dichtheid proefstuk van de balkjes door middel van meten en wegen (RAW 67)
- Dichtheid mengsel (RAW 68)
- Holle ruimte (RAW 69)
- Korrelverdeling mineraalaggregaat (RAW 6.0)
- Bitumenpercentage (RAW 65)
- Bitumeneigenschappen, te weten:
 - Penetratie (RAW 32)
 - Verwekingspunt (RAW 47)
 - Penetratie-index (RAW 33)

Voor de condities voor het uitvoeren van de vermoeiingsproeven wordt verwezen naar het concept-proefvoorschrift uit 2003 [DWW/NPC, 2003-1] en [DWW/NPC, 2003-2].

5.4 Opstellen van vermoeiingslijnen

5.4.1 Keuze van de vermoeiingslijn

Voor asfalt dijkbekledingen zijn twee modellen ontwikkeld om het vermoeiingsgedrag van waterbouwasfaltbeton te karakteriseren. In de eerste plaats wordt een vermoeiingslijn gebruikt die lineair is op dubbel-logaritmische schaal. Daarnaast is er een model ontwikkeld met een gekromde vermoeiingslijn. Om met dit laatste model een vermoeiingslijn te bepalen moet de breuksterkte van het materiaal zijn bepaald.

Het model met de rechte vermoeiingslijn is betrouwbaar onder de volgende voorwaarden:

- De spreiding in de resultaten van de vermoeiingsproeven ten opzichte van de regressielijn mag niet te groot zijn. Dit kan worden gecontroleerd met de correlatiecoëfficiënt van de regressielijn. De correlatiecoëfficiënt van de gemiddelde vermoeiingslijn moet minimaal 0,70 bedragen.
- De richtingscoëfficiënt van de vermoeiingslijn moet kleiner of gelijk zijn dan -3.
- De optredende spanningen in de bekleding ten gevolge van golfklappen mogen niet in de buurt van de breuksterkte liggen.

Wordt aan deze voorwaarden voldaan, dan kan de rechte vermoeiingslijn veilig worden gebruikt. In paragraaf 5.4.2 is verder uitgewerkt hoe de rechte vermoeiingslijn kan worden bepaald. In paragraaf 5.4.3 is aangegeven hoe de gekromde vermoeiingslijn kan worden bepaald.

Praktijk gegevens hebben geleerd dat vooral voor oude bekledingen de vermoeiingslijn die op basis van uitsluitend vermoeiingsproeven wordt gefit, zeer horizontaal komt te lopen.

Zo een vrij horizontaal verlopende vermoeiingslijn suggereert dat de breuksterkte van het materiaal (bezwijken bij één lastherhaling) extreem hoog wordt. Dat is nu juist in tegenspraak met wat zou mogen worden verwacht, namelijk een lagere breuksterkte naarmate het materiaal verder degradeert.

Daarom wordt aanbevolen ook altijd de breuksterkte vast te stellen en indien mogelijk gebruik te maken van de vermoeiingskarakteristiek die rekening houdt met gemeten breuksterktes.

5.4.2 Rechte vermoeiingslijn

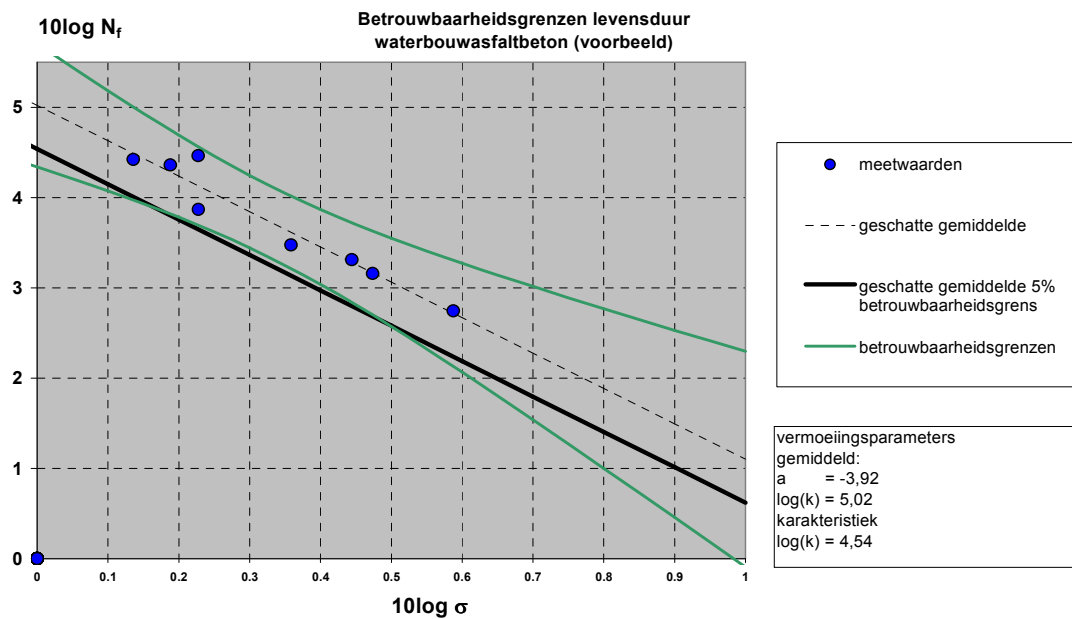
Met de resultaten van de vermoeiingsproeven wordt per bestek een vermoeiingslijn opgesteld. Hierbij wordt de logaritme van de opgelegde spanning (x-as) uitgezet tegen de logaritme van het aantal lastherhalingen bij bezwijken. De relatie tussen het aantal lastherhalingen (N) bij bezwijken en de opgelegde spanning (σ) is:

$$\log(N) = \log(k) - a \log(\sigma) \quad (7)$$

Hierin zijn $\log(k)$ de intercept en a de richtingscoëfficiënt van de lijn. Dit zijn de vermoeiingsparameters van het asfalt. Naast de gemiddelde vermoeiingslijn wordt een karakteristieke vermoeiingslijn bepaald. Dit betreft de lijn die door 95% van de waarnemingen wordt overschreden. Dit levert een tweedegraadsfunctie op. Op basis hiervan wordt een eerstegraadsfunctie opgesteld omdat er in de rekenmodellen met een eerstegraadsfunctie (met een constante a en $\log(k)$) wordt gerekend. De werkwijze is als volgt: er wordt een lijn

gekozen met dezelfde richtingscoëfficiënt als de gemiddelde vermoeiingslijn. De lijn is een regressielijn door de tweedegraadsfunctie in het gebied (op de x-as) waar de opgelegde spanningen van de vermoeiingsproeven liggen. Dit is in figuur 5.1 tussen 1,3 ($10^{0,1}$) en 4,0 ($10^{0,6}$) MPa.

Een voorbeeld van een gemiddelde en karakteristieke vermoeiingslijn op basis van vermoeiingsproeven is gegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1: voorbeeld van een gemiddelde ($\log(k) = 5,02$) en karakteristieke ($\log(k) = 4,54$) vermoeiingslijn

5.4.3 Gekromde vermoeiingslijn

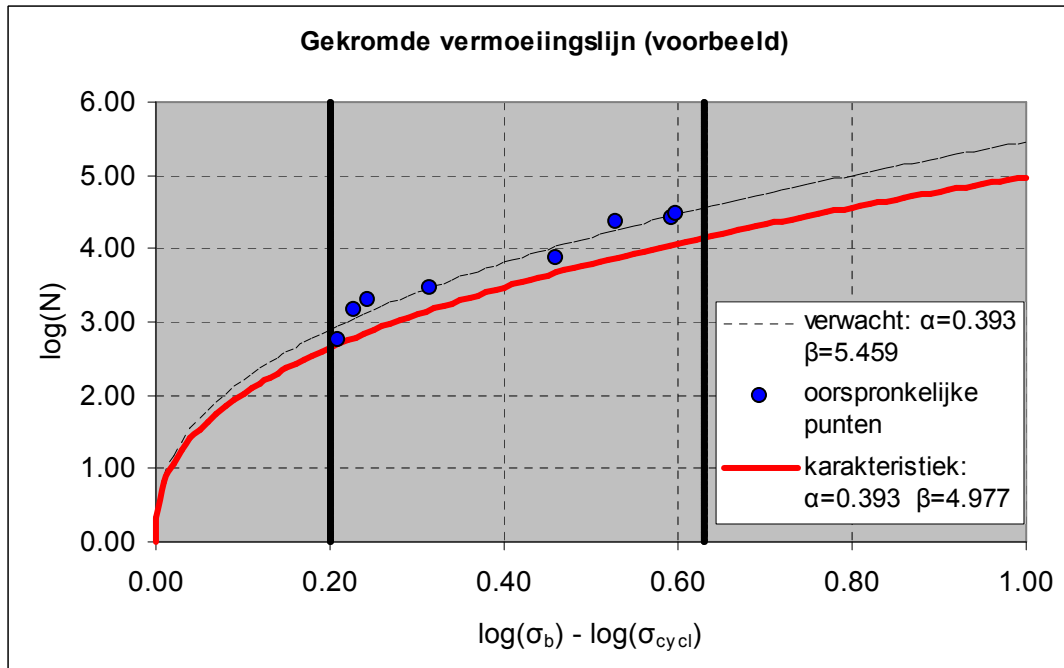
Door het vermoeiingsonderzoek zijn voor elke kern gepaarde waarnemingen beschikbaar gekomen van de breuksterkte en een resultaat van een vermoeiingsproef. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij het opstellen van de vermoeiingslijn. De relaties tussen het aantal lastherhalingen bij bezwijken (N) en de breuksterkte (σ_b) en opgelegde spanning (σ_o) luidt:

$$\log(N) = \beta(\log(\sigma_b) - \log(\sigma_o))^\alpha \quad (8)$$

Hierin zijn α en β materiaalparameters.

Voor het opstellen van de vermoeiingslijn wordt gebruikt van het MS-Excel-sjabloon: grafiekenmaker karakteristieke vermoeiingslijn. De handleiding hiervan is opgenomen in bijlage 3. Voor de laatste versie hiervan en de bijbehorende handleiding wordt verwezen naar www.helpdeskwater.nl

Een voorbeeld van een gemiddelde en karakteristieke vermoeiingslijn op basis van vermoeiingsproeven is gegeven in figuur 5.2.



Figuur 5.2: voorbeeld van een gemiddelde en karakteristieke vermoeiingslijn

5.5 Resultaten activiteiten

5.5.1 Boren van kernen uit de bekleding

Het boren van kernen uit de bekleding resulteert in het volgende:

- Kernen met een diameter van 250 mm (8 per bestek)
- Laagdikte per kern

5.5.2 Uitvoeren van vermoeiingsproeven

Het uitvoeren van vermoeiingsproeven resulteert in het volgende:

- Onderzoeksplan vermoeiingsonderzoek
- Proefstukken voor vermoeiingsonderzoek
- Dichtheid proefstuk van de balkjes
- Elasticiteitsmodulus bij 5 graden en 10 Hz.
- Breuksterkte van elk beproefd balkje.
- Resultaat van een vermoeiingsproef van elk beproefd balkje: opgelegde spanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken.
- Per proef een grafiek waarbij de permanente rek, de fasehoek en de elasticiteitsmodulus zijn uitgezet tegen het aantal lastherhalingen.
- Resultaten standaardonderzoek:
 - Korrelfracties mineraalaggregaat
 - bitumenpercentage

- Dichtheid proefstuk en dichtheid mengsel
- Holle ruimte
- Bitumeneigenschappen

5.5.3 *Opstellen van vermoeiingslijnen*

Het opstellen van de vermoeiingslijnen resulteert in het volgende:

- Gemiddelde en karakteristieke vermoeiingslijn voor elk dijkgedeelte
- Rapportage van het onderzoek

6 Toetsing met GOLFKLAP

6.1 Omschrijving van de activiteiten

Met de in de voorgaande fasen verkregen informatie wordt de beoordeling op golfklappen uitgevoerd. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Indien nodig, aanpassen van de dijkvakindeling
- Normeren van de stijfheden naar 5 graden en 10 Hz.
- Bepalen van karakteristieke materiaalparameters per dijkvak
- Bepalen hydraulische randvoorwaarden per dijkvak
- Uitvoeren berekeningen met GOLFKLAP
- Opstellen rapportage

Hieronder worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

In het meetplan is reeds een dijkvakindeling opgenomen op basis van beschikbare gegevens. Daarnaast worden, indien noodzakelijk, extra vakgrenzen toegevoegd bij significante verschillen in materiaalparameters.

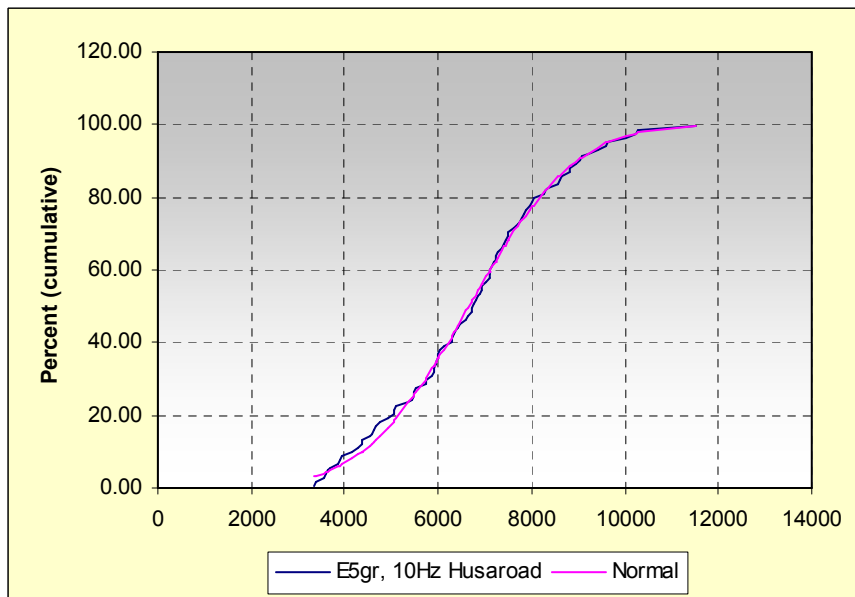
De uit de resultaten van de VGD-metingen teruggerekende stijfheden worden met HUSAROAD genormeerd naar 5 graden Celsius en 10 Hz. Per dijkvak wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$) bepaald.

De beddingsconstante van de ondergrond wordt bepaald op basis van de teruggerekende stijfheid van de ondergrond en de laagdikte van het asfalt. Per dijkvak wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke beddingsconstante ($c_{5\%}$) bepaald.

Op basis van de laagdikten uit de radarmetingen wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke laagdikte ($d_{5\%}$) bepaald.

Op basis van de breuksterkeproeven wordt, uitgaande van een normale verdeling van de breuksterkte, de karakteristieke breuksterkte ($\sigma_{b,5\%}$) bepaald zoals aangegeven in bijlage 8 van het Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren [TAW, 2002].

Een voorbeeld van het bepalen van karakteristieke waarden met de cumulatieve frequentiemethode is gegeven in figuur 6.1.



Figuur 6.1: weergave van de elasticiteitsmoduli (bij 5 graden Celsius en 10 Hz.) van 1 vak in een cumulatief frequentiehistogram. De karakteristieke waarde ($E_{95\%}$) kan in de grafiek worden afgelezen.

De vermoeiingsparameters zijn opgesteld zoals aangegeven in hoofdstuk 5. Gerekend wordt met de gemiddelde waarde voor de richtingscoëfficiënt van de vermoeiingslijn (a) en de karakteristieke waarde voor de intercept met de y-as ($\log(k)_{5\%}$).

De hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen zijn gegeven in het randvoorwaardenboek.

Bovenstaande gegevens worden ingevoerd in GOLFKLAP [KOAC-NPC/IKM, 2009]. Per dijkvak wordt een minersom bepaald.

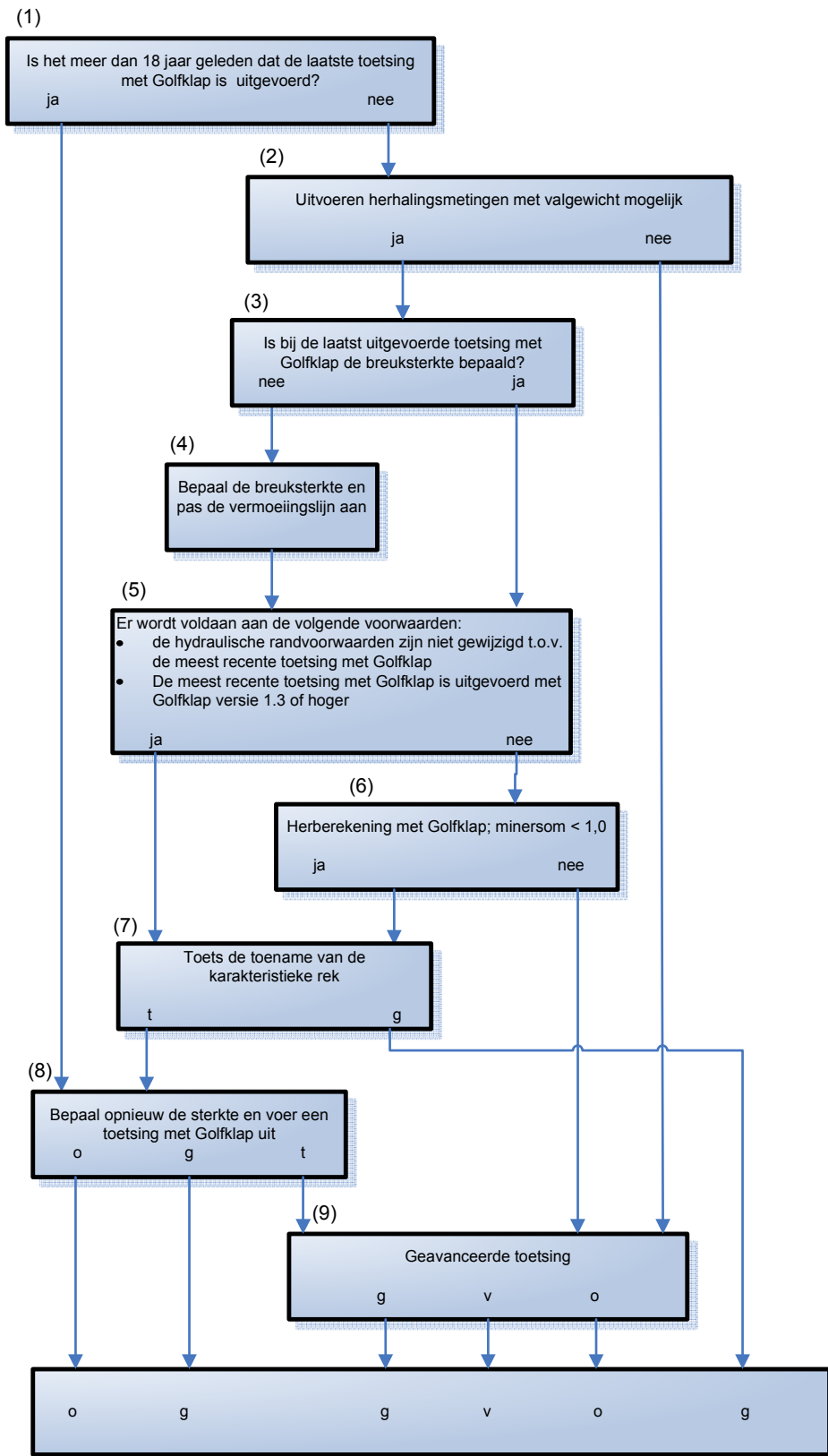
6.2 Resultaten activiteiten

Het uitvoeren van de beoordeling met GOLFKLAP resulteert in het volgende:

- Dijkvakindeling
- Karakteristieke materiaalparameters (invoer voor berekeningen met GOLFKLAP):
 - Laagdikte ($d_{5\%}$)
 - Elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$)
 - Beddingsconstante ($c_{5\%}$)
 - Breuksterkte ($\sigma_{b,5\%}$)
 - Vermoeiingsparameters (α en β)
- Set hydraulische randvoorwaarden (invoer voor berekeningen met GOLFKLAP):
 - Significante golfhoogte (H_s)
 - Gemiddelde golfperiode (T_g)
 - Toetspeil
 - Stormduur en stormopzet (afhankelijk van type watersysteem)
 - Gemiddelde getij amplitude (GGA)
 - Getijperiode
- Minersom voor elk dijkvak (resultaat van berekeningen met GOLFKLAP)

7 Procedure herhalingsmetingen

Van asfaltbekledingen waar eenmaal een gedetailleerde toetsing met Golfklap inclusief valgewicht-deflectiemetingen is uitgevoerd, moet elke 5 jaar worden nagegaan of de sterkte van het asfalt niet achteruit is gegaan. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van valgewicht-deflectiemetingen. Uit de gemeten deflectieprofielen wordt de rek berekend en deze wordt vergeleken met de rek die is bepaald uit de deflectieprofielen tijdens het uitvoeren van de meest recente gedetailleerde toetsing op golfklap. De procedure is schematisch weergegeven in figuur 7.1.



Figuur 7.1: stroomschema herhalingsmetingen

Toelichting bij figuur 7.1

(1)

Ga na wanneer voor het laatst een toetsing met Golfklap is uitgevoerd. Heeft dit meer dan 18 jaar geleden plaatsgevonden, dan dient de hieronder beschreven procedure verder niet te worden gevolgd maar moet opnieuw een volledige toetsing met Golfklap plaatsvinden. Werd de laatste gedetailleerde toetsing 18 jaar geleden of recenter uitgevoerd, ga dan verder met stap 2.

(2)

In enkele gevallen is het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen niet mogelijk. Concrete voorbeelden hiervan zijn:

- Bij enkele asfaltbekledingen is het uitvoeren van herhalingsmetingen zeer moeilijk of onmogelijk vanwege de aanwezigheid van grote hoeveelheden zand op de bekleding. Ditzelfde geldt enkele aansluitingsconstructies op duinen die diep onder het zand liggen.
- Op enkele asfaltbekledingen kunnen geen VGD-metingen worden uitgevoerd omdat het talud niet voor meetvoertuigen bereikbaar is en/of omdat het talud te steil is.

In deze gevallen wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd (stap 9). Als er wel valgewicht-deflectiemetingen op de bekleding kunnen worden uitgevoerd, ga dan verder met stap 3.

(3)

Ga na of bij de laatst uitgevoerde toetsing met Golfklap de breuksterkte is bepaald en of deze is gebruikt bij het opstellen van de vermoeiingslijn. Is dit het geval, ga dan verder met stap 5, zo niet, ga verder met stap 4.

(4)

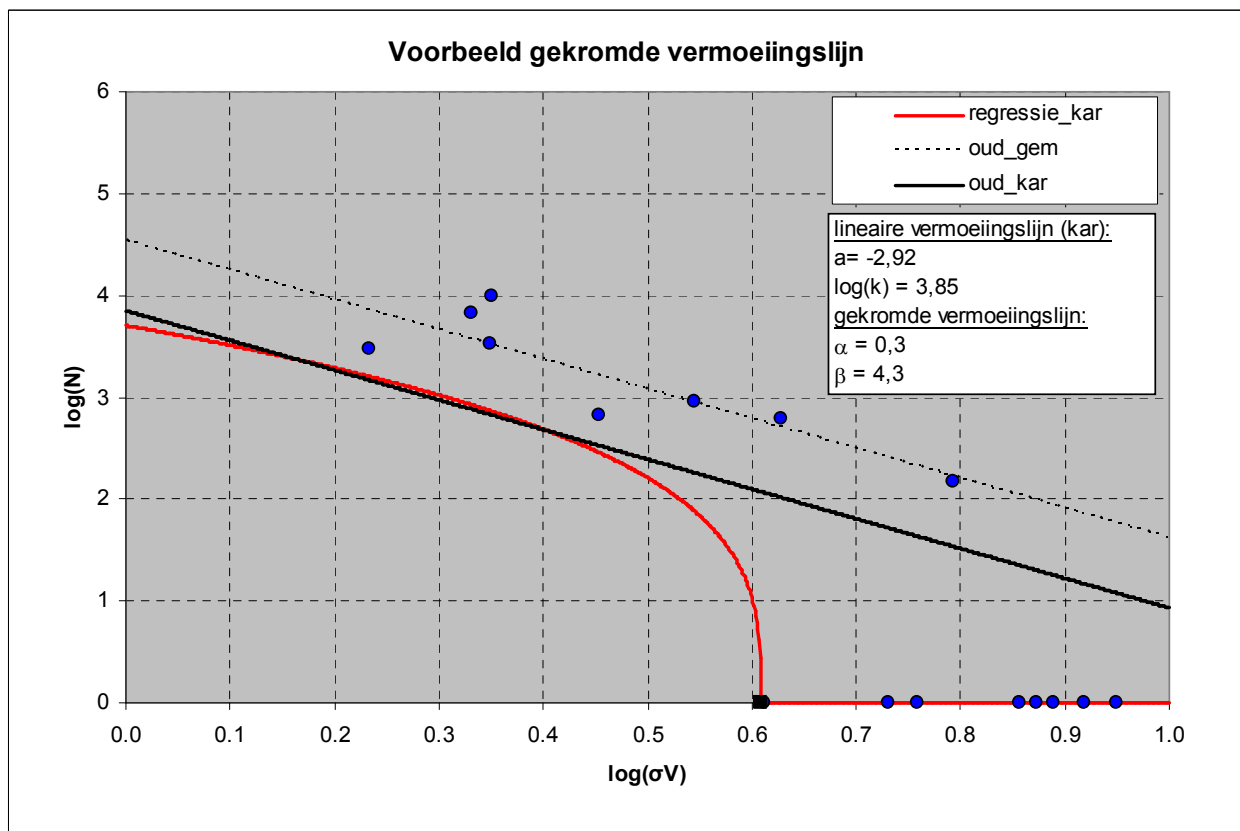
Bepaal de breuksterkte en pas de vermoeiingslijn aan. Volg hierbij de volgende procedure:

- Neem per locatie waarvoor bij de laatst uitgevoerde toetsing met Golfklap 1 vermoeiingslijn is bepaald 8 boorkernen uit de bekleding met een diameter van 150 mm. Deze locatie kan zowel een dijkgedeelte zijn die onder 1 bestek is aangelegd, als een dijkgedeelte dat onder meerdere bestekken zijn aangelegd maar op basis van samenstelling een leeftijd zijn gegroepeerd.
- Bepaal in de SCB-opstelling de breuksterkte (bij 5 graden Celsius en een verplaatsingssnelheid van 0,085 mm/s) op proefstukken uit de onderzijde van de bekleding. Een beschrijving van de SCB-proef is gegeven in een DWW-proefomschrijving [Hofman, 1999].
- Bepaal de karakteristieke waarde voor de breuksterkte (de waarde die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden, uitgaande van een normale verdeling).
- Ga bij het opstellen van de gekromde vermoeiingslijn als volgt te werk:
 - a. Gebruik als referentie de karakteristieke lineaire vermoeiingslijn (zie paragraaf 5.4.2). Bepaal de afstand van het dichtst bij deze lijn gelegen punt tot de lijn (loodrecht op de lijn gemeten). NB. als er een punt onder de karakteristieke lijn ligt, dan is dit een uitbijter en dient deze niet te worden gebruikt.
 - b. Voor het opstellen van de gekromde vermoeiingslijn wordt de formule uit paragraaf 5.4.3 gebruikt. Als invoerwaarde voor de breuksterkte wordt de

karacteristieke breuksterkte gebruikt die is bepaald zoals hierboven aangegeven.

- c. Kies α en β zodanig dat de afstand van het dichtst bij gelegen punt tot de gekromde vermoeiingslijn hetzelfde is als de de onder punt a. bepaalde afstand en dat de kromme zo goed mogelijk aansluit bij de meetwaarden verkregen uit de vermoeiingsproeven met de opgelegde spanningen kleiner dan de breuksterkte. Als aanvangswaarde wordt $\alpha = 0,4$ gekozen. Voor α worden de volgende grenzen gehanteerd: $0,25 \leq \alpha \leq 0,6$. In figuur 7.2 is een voorbeeld uitgewerkt. Bij twijfel moet contact worden opgenomen met de Helpdesk Water www.helpdeskwater.nl

Ga vervolgens verder met stap 5.



Figuur 7.2: voorbeeld van een gekromde vermoeiingslijn, geschat op basis van een karakteristieke breuksterkte en de ligging van de oude vermoeiingslijn

(5)

Controleer de berekening die bij de meest recente toetsing met Golfklap is uitgevoerd op de volgende punten:

- Ga na of de hydraulische randvoorwaarden inmiddels zijn veranderd. Is dit het geval dan moet de minersom opnieuw worden berekend (stap 6).
- Ga na welke versie van Golfklap is gebruikt bij de meest recente gedetailleerde beoordeling. Indien dit niet is uitgevoerd met versie 1.3 of hoger van Golfklap dan

moet het resultaat opnieuw worden berekend met de nieuwste versie (stap 6). Voor de nieuwste versie van Golfklap wordt verwezen naar www.helpdeskwater.nl.

Als de hydraulische randvoorwaarden niet zijn gewijzigd en als versie 1.3 of hoger van Golfklap werd gebruikt bij de meest recente toetsing met Golfklap, ga dan verder met stap 7. Wordt niet aan deze voorwaarden voldaan, ga dan verder met stap 6.

(6)

Voer een herberekening uit met Golfklap met de aangepaste hydraulische randvoorwaarden en/of met de meest recente versie van Golfklap.

Als in stap 4 een de breuksterkte en een aangepaste vermoeiingslijn zijn bepaald, moeten deze gegevens worden gebruikt bij de herberekening. De resulterende minersom wordt dus berekend bij de vigerende hydraulische randvoorwaarden met versie 1.3 van Golfklap of hoger. Deze minersom wordt gebruikt bij raadpleging van tabel 7.1 (stap 7).

Als een herberekening leidt tot een minersom ≥ 1 , ga dan verder met een geavanceerde toetsing, stap 9. Als de minersom na herberekening kleiner is dan 1, ga dan verder met stap 7.

(7)

Voer valgewicht-deflectiemetingen uit over 1 meetraai met een maximale hart op hart afstand van 50 m. Markeer de locatie van alle vgd-meetpunten met een verfstip. Bepaal de ligging van de meetraai op grond van de volgende argumenten:

- De meetraai moet liggen in de door golven zwaarst aangevallen zone.
- De meetraai dient zo mogelijk overeen te komen met een meetraai van de meest recente toetsing met Golfklap.

Per dijkvak dienen minimaal 20 punten te worden gemeten. In voorkomende gevallen moet de hart-op-hart-afstand van de metingen worden verkleind om het minimum aantal van 20 meetpunten te verkrijgen.

Toets de toename van de karakteristieke rek en volg hiervoor de volgende procedure:

- Normeer gemeten deflecties naar 5 graden Celsius met de in paragraaf 4.2 genoemde methode.
- Bepaal de maatgevende rek per meetpunt op basis van de resultaten van de genormeerde deflecties.
- Bepaal de gemiddelde waarde en een karakteristieke bovengrens voor de maatgevende rek (waarde die door 95% van de waarnemingen wordt onderschreden) per dijkvak met behulp van de cumulatieve frequentieverdeling.
- Indien de karakteristieke waarde voor de maatgevende rek niet is bepaald bij de laatst uitgevoerde gedetailleerde toetsing met Golfklap, moeten de drie hiervoor genoemde bewerkingen ook op de indertijd verkregen meetdata worden toegepast. Als er bij een in het verleden uitgevoerde toetsing met Golfklap in 2 raaien is gemeten, wordt alleen de meetraai gebruikt die een vergelijkbare ligging heeft als de meetraai van de herhalingsmetingen.
- Bereken de toename van de karakteristieke bovengrens van de maatgevende rek per vak. Vergelijk de rek die is bepaald op basis van de herhalingsmetingen met de rek die is bepaald op basis van de metingen die zijn uitgevoerd bij de meest recente gedetailleerde toetsing met Golfklap.

- Op basis van de matrix in tabel 7.1 wordt beslist of opnieuw de sterkte in het laboratorium moet worden bepaald in dit geval is de score 'twijfelachtig' en wordt vervolgd met stap 8. Zo niet, dan is de eindscore bij de beoordeling op Golfklap AGK 'goed'. Voorwaarde is dat aangetast oppervlak geen aanleiding geeft tot nader onderzoek (zie hiervoor het beoordelingschema Golfklap AGK in het VTV).

Tabel 7.1: grenzen voor toetsing van de toename van de rek

Minersom	Toename karakteristieke bovengrens rek ($\epsilon_{95\%}$)			
	<10%	10-20%	20-25%	>25%
$M < 0,1$	goed	goed	goed	twijfelachtig
$0,1 \leq M \leq 0,5$	goed	goed	twijfelachtig	twijfelachtig
$0,5 < M < 1$	goed	twijfelachtig	twijfelachtig	twijfelachtig

(8)

Als de score op basis van de toename van de karakteristieke bovengrens van de rek 'twijfelachtig' is, moet opnieuw de sterkte van de bekleding worden bepaald en getoetst met Golfklap. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de herhalingsmetingen. De volgende procedure wordt gevolgd:

- Voer grondradarmetingen uit zoals beschreven in paragraaf 3.3
- Bepaal de boorlocaties voor het vermoeiingsonderzoek. Zie hiervoor paragraaf 4.3. Boor op deze locaties 8 kernen met een diameter van 250 mm uit de bekleding. Deze stap kan geheel of gedeeltelijk worden gecombineerd met de hier opvolgende stap.
- Boor kernen uit de bekleding voor het ijken van het radarsignaal. Zie verder paragraaf 3.4.
- Bepaal per VGD-meetpunt de stijfheid bij 5 graden Celsius en 10 Hz. zoals beschreven in paragraaf 4.5.
- Bepaal de breuksterkte en de vermoeiingslijn.
- Toets de bekleding met Golfklap zoals beschreven in hoofdstuk 6. Bij een minersom kleiner dan 1 is de eindscore voor de toetsing op golfklappen 'goed'. Bij een minersom groter dan 5 is de eindscore voor de toetsing op golfklappen 'onvoldoende'. Bij een minersom tussen de 1 en 5 wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd (stap 9).

(9)

Er kunnen verschillende oorzaken zijn waarom een geavanceerde toetsing moet worden uitgevoerd. Als een toetsing met Golfklap niet leidt tot een eindscore, is een geavanceerde toetsing noodzakelijk. Hiervoor moet contact worden opgenomen met specialisten. De nadruk zal in het algemeen liggen bij gegevensverzameling, waarbij ook geavanceerde meetmethodes kunnen worden gebruikt. De belangrijkste parameters in dit stadium zijn de sterkte (vermoeiingssterkte en breuksterkte), de stijfheid en de laagdikte van de bovenlaag en de beddingconstante van de ondergrond. Ook een faalkansanalyse kan onderdeel uitmaken van een geavanceerde toetsing. Bij een faalkansanalyse wordt op basis van de spreiding in de

relevante materiaalparameters een overschrijdingskans van de Minersom bij een gegeven belastingniveau bepaald.

Het niet kunnen uitvoeren van herhalingsmetingen leidt eveneens tot een geavanceerde toetsing. In deze gevallen moet een toetsing op maat worden uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan het bepalen van de sterkte en stijfheid in het laboratorium en het periodiek monitoren van de breuksterkte met SCB-proeven.

8 Vastleggen van de gegevens

Alle uit het veld verkregen informatie wordt gekoppeld aan een vaste metring, bij voorkeur de bij de beheerder in gebruik zijnde dijkpaalnummering. De volgende projectinformatie wordt digitaal opgeslagen en aan het einde van het project aan de opdrachtgever aangeleverd:

- Alle rapportages in PDF-formaat. Dit betreft in het algemeen 7 rapporten:
 - Rapportage voorstudie
 - Meetplan
 - Onderzoeksplan frequency sweeps
 - Analyse data veldmetingen
 - Onderzoeksplan vermoeiingsonderzoek
 - Rapportage laboratoriumonderzoek
 - Beoordeling op golfklappen
- Laagdikten uit de radarmetingen in XLS-formaat
- Ruwe data valgewichtdeflectiemetingen in MDB-formaat (MS-Access database bestand) of een vergelijkbaar uniform bestandsformaat.

9 Referenties

[Baltzer e.a., 1995]

Baltzer, S.; Ertman-Larson, H.J.; Lukanen, E.O.; and Stubstad, R.N. "Prediction of AC Mat Temperature for Routine Load/Deflection Measurements." Proceedings, Fourth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Volume 1. Minnesota Department of Transportation, pp. 401-412.

[CROW, 1995]

Deflectieprofiel geen valkuil meer, meet- en interpretatiemethodiek valgewichtdeflectiemetingen, publikatie 92, C.R.O.W., Ede, augustus 1995

[CROW, 2005]

Standaard RAW-bepalingen 1995, CROW, Ede, 1995.

[DWW, 2005]

Veiligheidsrapport van asfaltdijkbekledingen – achtergrondrapport bij het toetsen van asfaltdijkbekledingen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV), Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 2005.

[DWW/NPC, 2003-1]

Proefvoorschrift driepuntsbuigonderzoek waterbouwasfaltbeton, deel 1, concept, NPC, Utrecht, december 2003.

[DWW/ NPC, 2003-2]

Proefvoorschrift driepuntsbuigonderzoek waterbouwasfaltbeton, deel 2 t/m 4, concept, NPC, Utrecht, december 2003.

[Hofman, 1999]

Hofman, R., Proefomschrijving semi circular bending proef (SCB), versie 3.1, IL-N-98-038 (gecorrigeerd), Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 15 februari 1999.

[KOAC-NPC/IKM, 2009]

Gebruikershandleiding GOLFKLAP 1.3, Loeff, A.K. de, e.a., projectnummer 0801440, KOAC-NPC/IKM-Engineering, Nieuwegein, maart 2004.

[KOAC-NPC, 2009-1]

Blanken, A. e.a., Vervolgonderzoek monitoringsprogramma en validatie/verbetering van huidige beoordeling op golfklappen, e0800644-2, KOAC-NPC, Nieuwegein, maart 2009.

[TAW, 2002]

Technisch rapport Asfalt voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, november 2002.

[Van Gulp, 1995]

Van Gulp, C.A.P.M, Characterization of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers. TU Delft, Delft, 1995.

[Verruit, 1983]

Verruit, A., Grondmechanica, Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, 1983.

[VTV, 2007]

Voorschrift Toetsen op veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007.

Lijst van gebruikte symbolen en afkortingen

Symbolen

a	Straal van de belaste plaat	[m]
a	vermoeiingsparameter van het asfalt	[-]
a_1 t/m a_4	coëfficiënten voor temperatuurnormalisatie	[-]
c	Beddingsconstante	[MPa/m]
$c_{5\%}$	Beddingsconstante die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden	[MPa/m]
c_i	modelcoëfficiënt	[-]
d	Laagdikte	[m]
$d_{5\%}$	Laagdikte die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden	[m]
d_{ref}	deflectie bij referentietemperatuur	[μ m]
d_t	deflectie bij meettemperatuur	[μ m]
d_5	deflectie bij 5 °C	[μ m]
d_i	deflectie onder belasting van 50 kN gemeten op afstand i mm vanaf het lastcentrum	[μ m]
E	Elasticiteitsmodulus	[MPa]
$E_{95\%}$	Elasticiteitsmodulus die door 95% van de waarnemingen wordt onderschreden	[MPa]
F	Frequentie	[Hz.]
h_1	dikte van asfaltlaag	[mm]
H_s	Significante golfhoogte	[m]
k	vermoeiingsparameter van het asfalt	[-]
T	Temperatuur	[°C]
T_a	asfalttemperatuur	[°C]
T_g	Gemiddelde golfperiode	[s]
T_p	Piekperiode	[s]
α, β	parameters van de vermoeiingslijn	[-]
ϵ	maximum rek onderin asfalt onder belasting van 50 kN	[μ m/m]
σ_b	Breuksterkte	[MPa]
v	Dwarscontractiecoëfficiënt	[-]

Afkortingen

BDI	Base Damage Index $d_{300} - d_{600}$ [μ m]
BCI	Base Curvature Index $d_{600} - d_{900}$ [μ m]
CROW	Stichting Centrum voor Regelgeving en onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek
GGA	Gemiddelde getij amplitude [m]
GPR	ground penetrating radar
RAW	Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw

SCI₃₀₀ Surface Curvature Index $d_0 - d_{300}$ [μm]
SCI₆₀₀ Surface Curvature Index $d_0 - d_{600}$ [μm]
TNF temperatuurnormalisatiefactor
TNF_t temperatuurnormalisatiefactor van de meettemperatuur
TNF₅ temperatuurnormalisatiefactor bij een temperatuur van 5 °C
VGD valgewicht-deflectiemeting

Bijlagen:

Bijlage 1: Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 2: Onderzoeksplan cyclische proef in trek-drukopstelling

Bijlage 3: Handleiding grafiekenmaker

Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 1

Onderdeel 1: Voorbereidingen

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Verzamelen basisinformatie	N			Locatiegegevens (dijkring, naam beheerder, geografische ligging, dwarsprofiel, ondergrond) Besteksgegevens (jaar van aanleg, mengselsamenstelling, besteksgrenzen) Hydraulische randvoorwaarden (Toetspeil, H _s , T _g , watersysteem)
	O			Aanleggegevens (bouwstoffen, dikte, samenstelling, holle ruimte)
	O			Eerder opgestelde adviezen, gepubliceerde artikelen etc.
Opstellen meetplan	N			Meetplan (locatie meetraaien, aantal vgd-meetpunten, meetinterval radar)
	N			Dijkvakindeling

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 2: Uitvoeren veldwerkzaamheden

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Uitvoeren valgewicht-deflectiemetingen en meting oppervlaktetemperatuur	N	asfalttemperatuur ($0 < T < 20$ gr. C.) Taludhelling (1:3 of flauwer) Krachtgrootte (normaal 50 kN) Droog weer i.v.m. markeringen 2 meetraaien: h.o.h. afstand 50 m, 1 meetraai: h.o.h. afstand 25 m	D1 t/m D9 [μ m] Oppervlaktetemperatuur [gr. C.]	Markeringen van de meetpunten op de bekleding Meetbestand met deflectiekrommen en oppervlaktetemperaturen
	O		Verloop van de deflecties in de tijd	Meetbestand met het verloop van de deflecties in de tijd
Meting asfalttemperatuur in boorgat	N	Midden van de bekledingsdikte en max. 12 cm diep	Asfalttemperatuur [gr. C.]	Registratie van asfalttemperatuur elke 2 uur
Uitvoeren radarmetingen	N	Stapvoets (max. 10 km/u) Geen (grote hoeveelheden) zout in het te onderzoeken medium Minimaal elke 20 cm een meetpunt	Reistijd [ns]	Meetbestand met reistijden en markeringen bij de vgd-meetpunten
Uitvoeren quick scan radarsignaal	N			Overzicht van locaties gewenste boorkernen
Opstellen boorplan	N			boorplan
Boren kernen uit de bekleding	N	Taludhelling (1:3 of flauwer)		Kernen met een diameter van 75 mm (gemiddeld 1 per km)

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 3: Analyse data veldmetingen

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Bepalen rek per vgd-meetpunt	N		ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	Excel-bestand met rek per vgd-meetpunt
Bepalen locatie van 8 meetpunten op basis van rek	N			Excel-bestand met cumulatieve frequentieverdelingen en percentielpunten van de rek
Opstellen boorplan	N			Boorplan met locaties voor vermoeiingsonderzoek
Metten van de laagdikte aan de kernen	N	4x meten per kern	Gemiddelde laagdikte per kern [mm]	Overzicht met laagdikten per kern
IJken van het radarsignaal	N		Snelheid [m/ns]	Snelheid voor elke boorkern
Bepalen van de laagdikte	N		Laagdikte [mm]	Rapport over laagdikte Excel-bestand met laagdikte per vgd-meetpunt Excelbestand met laagdikte elk meetpunt
Bepalen van de stijfheid van de bekleding uit deflectiekromme en laagdikte	N		$E_{\text{asfalt}}(T,f)$, $E_{\text{ondergrond}}$ [MPa]	Excel-bestand met stijfheid bekleding en onderlaag per meetpunt
Bepalen van de asfalttemperatuur tijdens de metingen (BELLS) op basis van oppervlaktetemperatuur, laagdikte en gemiddelde buitentemperatuur vorige etmaal	N		T_{asfalt} [gr. C.]	Excel-bestand met temperatuur in het midden van de bekleding per meetpunt
Uitvoeren frequency sweeps	N/O	5, 12 en 20 gr. C. 0,1 t/m 30 Hz.	E [MPa] Fasehoek [gr.]	Van elke kern series stijfheden en fasehoeken bij 3 temperaturen en een aantal frequenties
Opstellen mastercurves op basis van frequency sweeps	N			Mastercurves, relatie E-T
Normeren van de stijfheden met relatie E-T	N	Gemiddelde meettemperatuur en 17 Hz.	E [MPa]	Excel-bestand met genormeerde stijfheid bekleding en onderlaag per meetpunt

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 4: Uitvoeren vermoeiingsonderzoek

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Boren kernen uit de bekleding	N	Taludhelling (1:3 of flauwer)		Kernen met een diameter van 250 mm (min. 8 stuks per dijk)
Metten van de laagdikte aan de kernen	N	8x meten per kern	Gemiddelde laagdikte per kern [mm]	Overzicht met laagdikten per kern
Controle laagdikte en stijfheden	N			Vergelijkende tabellen. Eventueel de keuze van een nieuwe locatie voor het vermoeiingsonderzoek
Zagen proefstukken	N	Toleranties aan afmetingen		
Bepalen dichtheid proefstukken	N	Drogen tot constante massa	Dichtheid proefstuk [kg/m ³]	Excel-bestand dichtheid proefstuk
Uitvoeren standaardonderzoek	N		Samenstelling [%], d _m [kg/m ³], HR [%], Pen, T _{R&K} , PI	Rapportage standaardonderzoek
Bepalen elasticiteitsmodulus	N/O	5 gr. 10 Hz.	E [MPa], fasehoek [gr.]	
Bepalen breuksterkte	N/O	5 graden, 0,35 mm/s Minimaal 8 proeven	σ _b [MPa]	
Uitvoeren vermoeiingsproeven	N	5 gr. 1 Hz. Minimaal 8 proeven, 4 korte proeven, 4 lange proeven	σ-N _f voor elk proefstuk	
Opstellen vermoeiingslijnen	N		Log(k) en a, α en β	Grafiek vermoeiingslijnen
Opstellen rapportage	N			Rapportage vermoeiingsonderzoek

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 5: Toetsen van de bekleding met GOLFKLAP

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Maken dijkvakindeling	N			Overzicht dijkvakken
Normeren stijfheden valgewicht naar 5 gr. C en 10 Hz.	N		E [MPa]	Excel-bestand met stijfheid bekleding per meetpunt bij 5 gr. C. en 10 Hz.
Bepalen karakteristieke materiaalparameters per dijkvak	N		$D_{5\%}$, [m] $E_{95\%}$, [MPa] $c_{5\%}$ [MPa/m], $\log(k)_{5\%}$ [MPa ⁻¹]	Excel bestanden met cumulatieve frequentieverdelingen
Bepalen hydraulische randvoorwaarden per dijkvak	N		H_s [m], T_g [s], Toetspeil [m t.o.v. NAP], GGA [m]	
Uitvoeren berekeningen met GOLFKLAP	N		minersom	Uitvoer GOLFKLAP
Opstellen rapportage	N			Eindrapportage veiligheidsbeoordeling

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Proefstukvoorbereiding

- 1) Op afmetingen zagen proefstukken, laten drogen en verlijmen:
 - a. Diameter kern gebruiken zoals aangeleverd. Desnoods tijdje laten liggen om beter haaks te laten worden;
 - b. Weghalen oppervlakte-behandeling en zandasfaltlagen;
 - c. Diameter: ± 75 mm;
 - d. Hoogte proefstuk: 150 mm; (Dit leidt tot een hoogte/diameter verhouding van 2);
 - e. Planparallel;
 - f. Verlijmen bevestigingsplaten;
- 2) Voorbereiden te gebruiken meetsysteem. Voorstel te gebruiken meetsysteem:
 - a. Opzet meetsysteem zoals gebruikt voor indirecte trekproeven;
 - b. MTS-meetopnemers in klein bereik, zodat de verwachte verplaatsingsgrootten van ongeveer $6 \mu\text{m}$, goed bruikbaar zijn;
 - c. Aantal MTS-meetopnemers: 2;
 - d. Verlijmen hoekijzers met gat voor schroefdraad op zijkant proefstuk. Dit betekent het maken van hoekijzers, boren van gaten en het zorgen voor schroefdraad;
 - e. Hoekijzers op 180° op de omtrek;
 - f. Meetlengte (afstand tussen de hoekijzers) : 100 mm;
 - g. Bevestiging MTS-opnemers op schroefdraad;
 - h. In het systeem een gemiddelde opnemer aanmaken van de twee opnemers.

Karakterisering gebruikte stuursysteem:

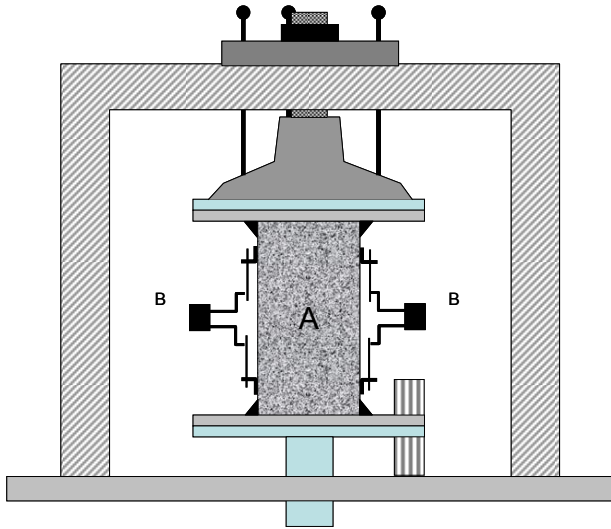
Voorbereiden te gebruiken stuursysteem. Voorstel te gebruiken stuursysteem:

- 1) Er is gebruik gemaakt van krachtsturing, sinusvorming lastsignaal, frequenties (in volgorde): 0.1, 0.5, 1; 2; 5; 10; 15; 20, 25, 30 en 0.1 Hz.
- 2) De afschatkrachten zijn bepaald, gebruik makend van onderstaande tabel.

Freq. Hz.	Amplitude kracht		
	T=5°C	T=12°C	T=20°C
0.5	884	331	166
1	1050	415	208
2	1247	521	261
5	1566	702	351
10	1860	880	440
15	2057	1005	503
20	2209	1104	552
25	2335	1187	594

- 3) Toelaatbare grenswaarden voor de resulterende amplitudes tijdens het meetmoment:
 - a. Minimaal: $1 \mu\text{m}$;
 - b. Maximaal: $10 \mu\text{m}$;

- c. Gewenst: 5 μm ;
 - d. Proef afbreken indien groter dan 20 μm ;
 - e. Proef aanpassen indien opnemers uit fase.
- 4) Verdere proefopzet-gegevens:
- a. Triaxiaalopstelling;
 - b. Beproevingstemperaturen: 5°C, 12°C, 20°C.



Figuur 1: Schets gebruikte meet-opstelling.

Handleiding grafiekenmaker

Bijlage 3

Handleiding bij Grafiekenmaker Vermoeiingskarakteristiek (Excel)

Door Marco Remmerswaal, Jan Telman, TNO Industrie & Techniek
(Stieltjesweg 1, Delft)

17 september 2008

Inleiding

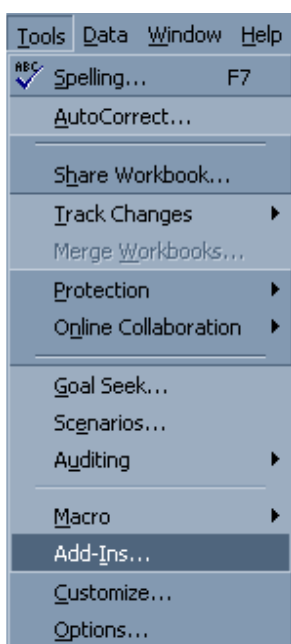
Deze handleiding is bedoeld om te leren werken met het Excelprogramma 'grafiekenmaker vermoeiingskarakteristiek'. Naast deze handleiding is ook een document beschikbaar waarin staat vermeld welke methodieken precies zijn gebruikt en waarom bepaalde keuzen zijn gemaakt.

Als eerste zal een korte uitleg worden gegeven over de installatie van het programma. Daaropvolgend zullen de invoervelden worden besproken. Hier zal worden ingegaan op welke invoer mogelijk is en hoe dit te doen. Daarna zal een hoofdstuk worden gewijd aan de uitvoer. De uitvoer van het programma bestaat uit een numeriek en een grafisch deel en zal ieder een paragraaf in beslag nemen. Tot slot is er een hoofdstuk met nog enkele algemene opmerkingen over het programma.

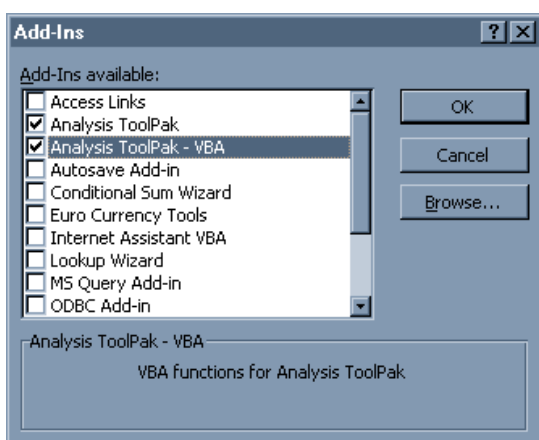
Installatie

Om het programma te kunnen gebruiken is een korte installatie nodig van de invoegtoepassingen in Excel (als dit niet eerder is gedaan). Dit zal hier stap voor stap worden besproken aan de hand van enkele afbeeldingen. Deze afbeeldingen komen uit de Engelse versie van Excel. Een gebruiker van de Nederlandse versie zal echter dezelfde stappen kunnen volgen. 'Add-Ins' heet in de Nederlandse versie 'Invoegtoepassingen'.

1. Ga naar **Tools** → **Add-Ins...**



2. Selecteer **Analysis ToolPak** en **Analysis ToolPak-VBA** en druk op 'ok'...



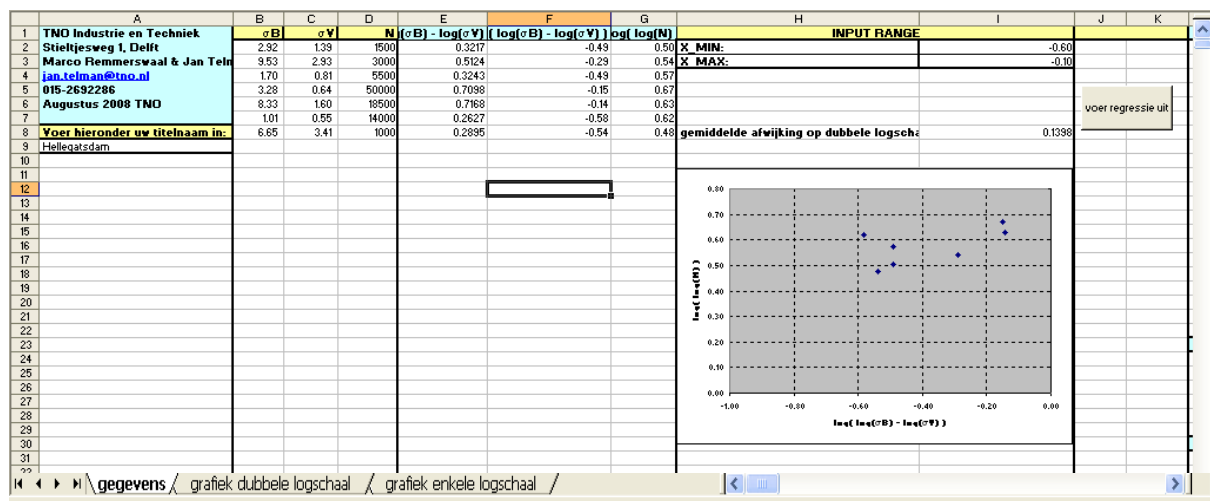
3. Als het goed is zullen de invoegtoepassingen nu worden geïnstalleerd. Het kan hier overigens gebeuren dat het systeem vraagt naar de installatie cd van Excel of MS office. Deze dient dan in het cd-rom station te worden geplaatst.
4. Het Excel programma is nu gereed voor gebruik.

Invoer

In het programma zijn drie delen waarin gegevens kunnen worden ingevoerd. Deze staan alle drie in de sheet 'gegevens'. De invoervelden zijn altijd te herkennen aan de gele kopjes. De overige velden zijn uitvoer. De drie delen zullen nu worden besproken.

Invoer naam grafiek

Om eenvoudig onderscheid te kunnen maken welke grafiek bij welke gegevens hoort is er voor gekozen om een invoerveld te gebruiken waarin de naam van de grafiek kan worden ingevoerd. Dit kan worden gedaan in veld "A9" (Zie ook figuur 1.1).



Figuur 1.1 Overzicht invoervelden

Invoer breuksterkten

In de kolommen B, C en D kunnen de breukspanningen, vermoeiingsspanningen en de bijbehorende N worden ingevoerd. De logaritmen van de waarden bepaalt het programma zelf. In figuur 1.1 zijn de waarden van 'Hellegatsdam' ingevoerd.

De enige beperking aan deze invoer is dat er maximaal 5000 records kunnen worden ingevoerd per keer. Omdat over het algemeen niet meer dan 10 waarden zullen ingevoerd is dit aantal acceptabel.

Invoer grenzen

Een van de wensen was om grenzen te kunnen aangeven voor het bepalen van een lineaire lijn die de 95% betrouwbaarheidslijn benadert. Deze grenzen hebben betrekking

op de X-waarden op de horizontale as, d.w.z. de waarden van $\log(\log(\sigma_B) - \log(\sigma_V))$. Door middel van deze grenzen wordt dan het gebied bepaald waarover de lineaire benadering van de betrouwbaarheidslijn wordt berekend. De ondergrens kan worden ingevoerd in veld "I2" en de bovengrens in "I3". De waarden kunnen worden ingevoerd tussen de -1 en 0. Deze waarden tussen de -1 en 0 zijn gebaseerd op de dubbele logaritmen, die ook terug te vinden zijn in kolom F (zie ook figuur 1.1).

Om te bepalen waar deze grenzen ongeveer liggen is onder de invoervelden een grafiek te zien waarin de punten op dubbele logschaal staan uitgezet. Hierdoor ziet men snel hoe de grenzen gekozen kunnen worden.

Let op: het invoeren van de grenzen is verplicht !

Wanneer alle gegevens zijn ingevoerd drukt men op de knop 'voer regressie uit'. Als dit is gedaan zal het programma enkele berekeningen uitvoeren en de grafieken in de overige sheets tekenen. Wanneer er al gegevens staan op een sheet genereert Excel automatisch een melding of de gegevens overschreven moeten worden. Er kan vervolgens gewoon voor 'ok' gekozen worden.

Uitvoer

De uitvoer is onder te verdelen in twee delen. Er is een grafisch en een numeriek deel. Het numerieke deel staat in de sheet 'gegevens' en de grafieken staan in de overige twee sheets.

Numerieke uitvoer

In de sheet 'gegevens' staat zoals gezegd de numerieke uitvoer. Het merendeel van de uitvoer wordt gebruikt voor het maken van de grafieken, toch kan deze ook nuttig zijn wanneer men bepaalde waarden wil weten. Vandaar dat deze ook zijn opgenomen. Van belang is de uitvoer in de kolommen "L" tot en met "S". Deze is opgesplitst in vier delen (zie ook figuur 2.1). Het bovenste deel geeft de output van de regressieanalyse op dubbele logschaal en het derde deel bepaalt hieruit de belangrijkste gegevens. Het tweede deel geeft de gemiddelden en standaarddeviaties van de breuksterkten.

OUTPUT REGRESSIEANALYSE							
SUMMARY OUTPUT							
Regression Statistics							
Multiple R	0.60296723						
R Square	0.36356848						
Adjusted R Square	0.236283376						
Standard Error	0.062121221						
Observations	7						
ANOVA							
	df	SS	MS	F	Significance F		
Regression	1	0.011022659	0.011022659	2.856317136	0.151808909		
Residual	5	0.01929523	0.003859046				
Total	6	0.03031789					
Coefficients							
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	
Intercept	0.661845578	0.057425379	11.52531488	8.62249E-05	0.514228941	0.809462214	
X Variable 1	0.230961044	0.136658145	1.69006424	0.151808909	-0.120329901	0.58225199	
GEMIDDELTE EN STANDAARDDEVIATIES BREUKSTERKTEN							
	log(σ_B)	log(σ_V)	log(σ_B)-log(σ_V)	log(log(σ_B)-log(σ_V))			
GEMIDDELTE	0.5625	0.1144	0.4482	-0.3835			
STANDAARDDEVIATIE	0.3659	0.3125	0.1982	0.1856			
BENODIGDE WAARDEN BEPALING BANDEN							
n	7.000						
s ²	0.004						
s	0.062						
gemiddelde X	-0.383						
kwadraten som X	0.207						
t-waarde	2.015						
X staat voor log(log(σ_B)-log(σ_V))							
Parameters							
	α	0.231	0.231				
	β	3.327	4.590				

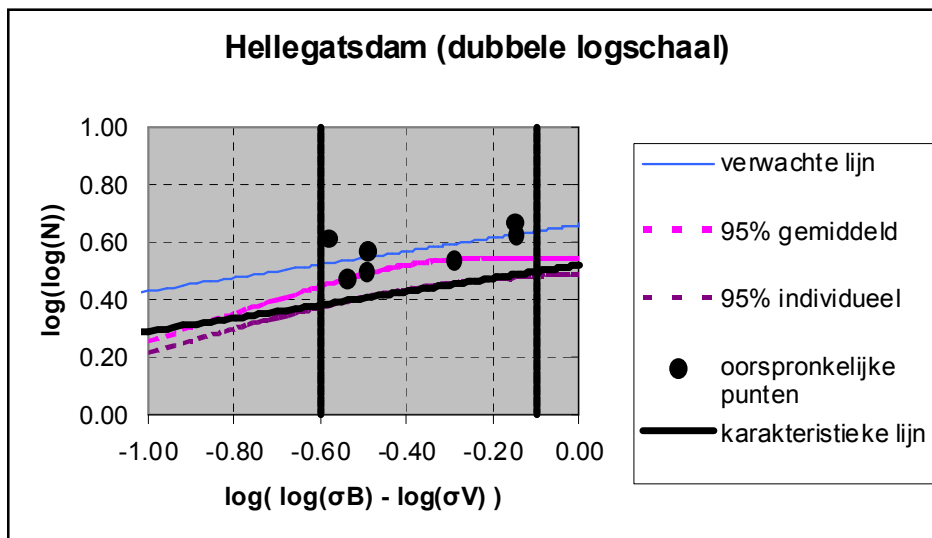
Figuur 2.1 Uitvoer regressie

Het onderste deel geeft de parameters van de karakteristieke vermoeiingslijn en verwachte lijn op basis van de regressie op de enkele logschaal.

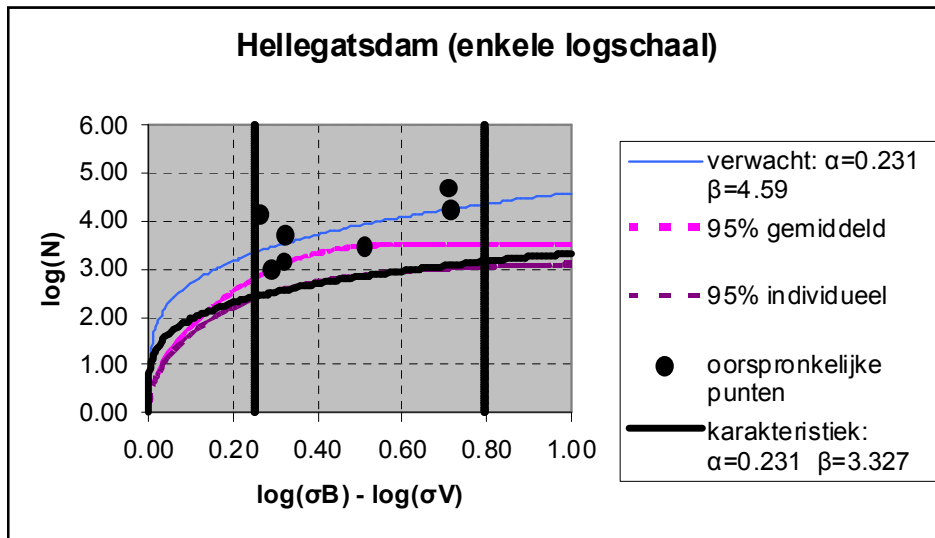
Vanaf kolom "U" staat alleen nog maar uitvoer die speciaal voor de grafieken zijn bedoeld. In de kolommen "U" en "V" staat de voorspelling op dubbele logschaal en in de kolommen "W" en "X" zijn deze waarden teruggetransformeerd naar enkele logschaal. In de kolommen "Y" en "Z" worden de waarden voor de 95% betrouwbaarheidsgrenzen bepaald en in "AB" en "AC" zijn ze weer teruggetransformeerd naar de enkele logschaal. De kolom "AA" is gebruikt om later de lineaire lijn te bepalen, die de 95% betrouwbaarheidsgrens benadert op de dubbele logschaal. Deze rechte lijn is terug te vinden in "AF". In kolom "AG" is deze lijn omgerekend naar de enkele logschaal. Doormiddel van de laatste vijf kolommen worden de grenzen bepaald voor de range in x-waarden op de horizontale as, zoals in de cellen "I2" en "I3" is opgegeven.

Grafische uitvoer

In de sheets 'grafiek dubbele logschaal' en 'grafiek enkele logschaal' staat de uitvoer van de grafieken. Hieronder staat een voorbeeld van beide grafieken:



Figuur 2.2 Hellegatsdam op dubbele logschaal



Figuur 2.3 Hellegatsdam op enkele logschaal

In deze grafieken spreken de legenda's nagenoeg voor zich. Met '95% gemiddeld' wordt de 95% betrouwbaarheidsgrens voor het gemiddelde van $\log(\log(N))$, respectievelijk $\log(N)$ bedoeld. De lijn '95% individueel' lijn is de 95% betrouwbaarheidsgrens voor een individuele waarde van $\log(\log(N))$, respectievelijk $\log(N)$ bij een gegeven waarde van de grootte op de horizontale as. De twee verticale lijnen geven de gekozen grenzen aan voor de range van waarden op de horizontale as, die eerder in dit stuk zijn besproken.

Algemeen

Het is belangrijk om op te merken dat de velden over het algemeen niet zijn beschermd voor vreemde invoer. Dit kan bijvoorbeeld optreden wanneer men een “a” invoert waar een getal had moeten staan. In overleg met de betrokken partijen is besloten dat dit soort controles niet van belang zijn op dit moment.

Verder dient te worden opgemerkt dat de uitvoervelden niet beschermd zijn. In Excel bestaat de mogelijkheid om de velden te beschermen zodat de gebruiker op de plaatsen van de uitvoer niets kan invoeren, wissen etc. Deze mogelijkheid zorgt er echter ook voor dat het VBA programma achter de excelsheet ook geen aanpassingen meer kan maken en is dus niet toegepast. Het is dus zeer belangrijk dat men geen cellen bij de uitvoervelden verandert.

Om te zorgen dat er altijd een “schone kopie” van het programma beschikbaar is wordt het originele bestand als een sjabloon aangeleverd. Wanneer men dan een nieuwe data set heeft kan dit makkelijk onder een nieuwe naam worden opgeslagen.

Zoals gezegd is er ook wat code geschreven in VBA die wordt aangeroepen met de knop ‘voer regressie uit’. Zoveel mogelijk berekeningen worden in de sheet zelf gedaan, alleen de echt noodzakelijke bewerkingen zijn geprogrammeerd. Deze code is gegenereerd door diverse macro’s op te nemen en dus is weinig zelf geprogrammeerd. Hierdoor is de structuur van de programmaregels iets minder te doorgronden. Deze code kan worden bekeken door de toetsencombinatie ALT + F11 in te drukken in Excel. Het is sterk aan te raden niets in deze code aan te passen zonder degelijke kennis van VBA.