

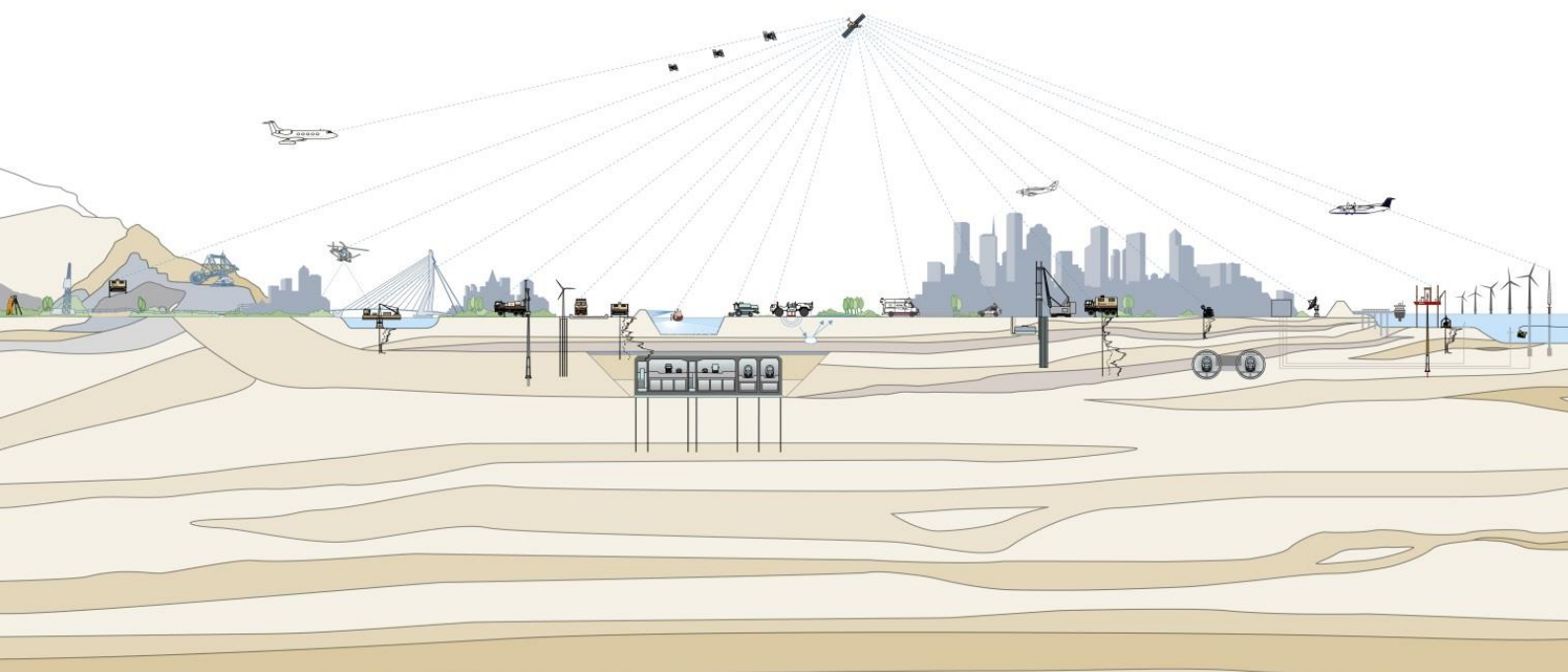
**Geotechnisch onderzoek, zettingsanalyses en advies  
Bouwrijp maken Plan Centrumlijn Noord**

Document Nr.: 9018-0822-000

Versie: 1.0

Datum: 1 november 2018

CONCEPT



Opdrachtgever Gemeente Pijnacker-Nootdorp  
Postbus 1  
2640 AA PIJNACKER

Datum 1 november 2018  
grondonderzoek  
Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.  
Veurse Achterweg 10  
Postbus 63  
2260 AB Leidschendam  
T 070 31 70700

Projectleider ing. J.S.J. Misker  
Adviseur Geotechniek  
T 070 31 11206

**Versiebeheer**

Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum
1.0	Initiële versie	JSM			

## INHOUDSOPGAVE

<b>1.</b>	<b>ALGEMENE TOELICHTING</b>	<b>1</b>
1.1	Inleiding	1
1.2	PROJECTOMSCHRIJVING	1
<b>2.</b>	<b>GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID</b>	<b>2</b>
2.1	Algemeen	2
2.2	Globale bodemgesteldheid	2
2.3	Grondwaterstanden en stijghoogten	2
<b>3.</b>	<b>GEOTECHNISCHE ANALYSES</b>	<b>3</b>
3.1	Inleiding	3
3.2	Uitgangspunten	3
3.3	Bodemschematisering en parameters	3
3.4	Relatie zetting en belasting	4
3.5	Relatie zetting en tijd.	5
3.6	Berekende zetting	5
3.7	Beheersing van de grondwaterstand.	6
3.8	Slotwoord en conclusie	6
<b>4.</b>	<b>UITVOERING</b>	<b>8</b>
4.1	Metingen	8
<b>5.</b>	<b>LITERATUUROVERZICHT EN LIJST VAN BEGRIPPEN EN DEFINITIES</b>	<b>9</b>
5.1	Literatuuroverzicht	9
5.2	Lijst van begrippen en definities	9
<b>BIJLAGEN</b>		
<b>A.</b>	<b>GEOTECHNISCH ONDERZOEK</b>	
A.1	Rapportage Geotechnisch veldwerk	
A.2	Rapportage Laboratoriumonderzoek	

## **1. ALGEMENE TOELICHTING**

### **1.1 Inleiding**

In oktober 2018 ontving Fugro te Leidschendam van Gemeente Pijnacker-Nootdorp, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek en zettingsberekeningen, alsmede het uitbrengen van een advies voor het bouwrijp maken van het Plan Centrumlijn Noord te Pijnacker.

Voor het Plan Centrumlijn Zuid zal in een latere fase het grondonderzoek, analyses en advies worden uitgevoerd

In een eerder stadium zijn verschillen grondonderzoeken verricht, die binnen het projectgebied lagen en/of een overlap hadden, zoals:

- D10710-000 uit 2002 "Interwijk tunnel".
- 3004-0440-000 uit 2004 "Bouwrijp maken gebied tussen Klapwijkseweg en spoorbaan".
- 3006-0273-000 uit 2006 "Tijdelijke AH".
- M01105-000 uit 2003 "Halte Randstad rail"

Het oorspronkelijk maaiveldniveau lag overwegend op ca. NAP-2,7 m à NAP-3,0 m en er waren sloten aanwezig. Er zijn in het gebied op verschillende plaatsen en tijden voorbelastingen uitgevoerd, met onder andere een ontwerppeil van NAP-2,05 m.

Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de opdracht en de in het rapport beschreven uitgangspunten. Fugro neemt geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van andere dan door ons gerapporteerde conclusies en interpretaties. De gerapporteerde resultaten van het geotechnisch onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

### **1.2 PROJECTOMSCHRIJVING**

De bouwlocatie is gelegen aan de Klapwijkseweg te Pijnacker.

Het betreffende terrein dient bouwrijp te worden gemaakt binnen een periode van 6 tot 12 maanden en met een ontwerppeil van NAP-2,0 m te worden opgeleverd. Na oplevering moeten de resterende zettingen beperkt blijven tot maximaal 20 cm in 30 jaar.

Bovenstaande gegevens zijn door de opdrachtgever verstrekt.

Voor nadere gegevens omtrent het project wordt verwezen naar de opdrachtgever.

## 2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID

### 2.1 Algemeen

Het geotechnisch onderzoek heeft bestaan uit een veldwerkonderzoek.

De resultaten hiervan, eventuele afwijkingen van de opdracht en opmerkingen zijn gepresenteerd in de bijlagen "Rapportage Geotechnisch Veldwerk".

### 2.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP-1,52 m tot NAP-2,29 m

Op basis van het geotechnisch onderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2.1 is weergegeven.

**Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid**

<b>Bovenkant laag m t.o.v. NAP</b>	<b>Bodembeschrijving</b>	
-1,4 à -2,3	ZAND	antropogeen
-3,0 à -7,0	KLEI	lokaal met veen lokaal zwak tot sterk zandig overgaand naar kleiig zand
-9,5 à -14,5	ZAND	matig tot vast gepakt
-22,0	maximaal verkende diepte	
<b>Opmerkingen:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>■ De dickere zandlagen in de deklaag kunnen gedempte sloten betreffen.</li><li>■ Ter plaatse van de sonderingen DKM2, -3, en DKM6 is veen aangetroffen.</li><li>■ In zuidelijke richting gaat de klei over naar sterk zandig klei en kleiig zand.</li></ul>		

### 2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten

Tijdens het recent uitgevoerde grondonderzoek is geen grondwaterstand en geen open waterstand peiling uitgevoerd. Bij het grondonderzoek uit het verleden bedroeg het slootpeil NAP-3,05 m.

### 3. GEOTECHNISCHE ANALYSES

#### 3.1 Inleiding

Het gebied "Centrumlijn Noord" is in het verleden op verschillende plaatsen opgehoogd. Destijds zijn eveneens sloten gedempt.

In de loop van de tijd zijn in het gebied verschillende ophogingen en voorbelastingen uitgevoerd. In 2004 was het gebied langs de Klapwijksweg opgehoogd.

In 2002 is grondonderzoek voor de Halte van Randstadrail verricht en in 2004 is eveneens onderzoek in het gebied uitgevoerd. Op basis van de onderzoeken uit het verleden kan het maagdelijk terrein een maaiveld op ca. NAP-2,7 m en lager hebben gehad.

Na 2004 zijn in het terrein verder diverse ophogingen / voorbelastingen uitgevoerd, zoals voor een tijdelijke AH en voor de halte van Randstadrail.

De bodemgesteldheid van het huidige terrein is divers.

#### 3.2 Uitgangspunten

Voor het bouwrijp maken van het terrein zijn de volgende uitgangspunten opgegeven:

- Het ontwerppeil bedraagt NAP-2,0 m;
- De restzettingseis is minder dan 20 cm in 30 jaar;
- De beschikbare tijd om voor te belasten is 6 tot 12 maanden.
- De wegconstructie bestaat uit; 8 cm verharding, 20 cm granulaat en minstens 60 cm zand.

Op basis van het huidige grondonderzoek zijn reeds hoger gelegen maaiveldniveaus aangetroffen. De lagere maaiveldniveaus onder NAP-2,0 m worden voornamelijk aangetroffen langs de Klapwijksweg.

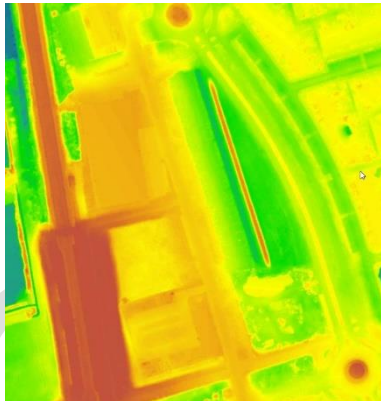


Figure 1; AHN

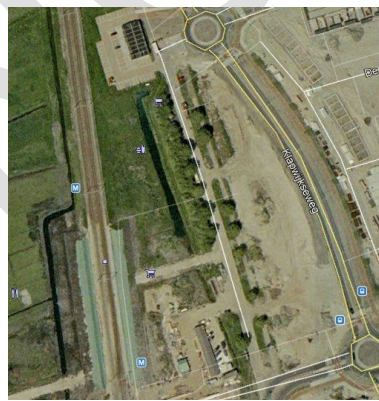


Figure 2; Situ 2004 (Google)



Figure 3; Situ 2014 (Google)

Het groene vlak in figuur 1 langs de Klapwijksweg is het lager dan NAP-2,0 m, waar de sonderingen DKM5, DKM6 en DKM10 zijn verricht.

#### 3.3 Bodemschematisering en parameters

De berekeningen zijn op het deel van het gebied langs de Klapwijksweg gericht. Aangenomen is dat in de overige delen volstaan kan worden met het op hoogte brengen.

Voor de analyses is sondering DKM2 is basis voor de bodemgesteldheid gehanteerd.

In onderstaande tabel is deze bodemschematisering gegeven, samen met de bijbehorende parameters.

**Tabel 3.1: Bodemschematisering en grondparameters o.b.v. DKM2**

Bovenkant laag m t.o.v. NAP	Grondlaag	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{\text{sat}}$ kN/m <sup>3</sup>	$C_p'$ -	$C_s'$ -	$c_v$ m <sup>2</sup> /jaar
-2,3	ZAND	19	21	250	-	drained
-3,5	KLEI, Uitgedroogd	15	15	23.5	165	0,8
-4,0	VEEN	10,5	10,5	13.7	66	1,6
-6,0	KLEI	14	14	10.8	54	2,4
-10,0	KLEI, zandig	17	17	14	140	1,6
-11,5	KLEI	16	16	15	120	1,6
-14,0	Einde model					

### 3.4 Relatie zetting en belasting

Door het aanbrengen van ophogingen zal een zettingsproces op gang worden gebracht. De zettingen worden veroorzaakt door verhogingen van de korrelspanningen. Deze korrelspanningen worden beïnvloed door het aanbrengen of weghalen van ophogingen en veranderingen in de grondwaterstanden. De zettingen treden tijdsafhankelijk op. Enerzijds is sprake van het uitdrijven van water (consolidatie gedurende de hydrodynamische periode), anderzijds treedt kruip op (ook wel secundaire zakking genoemd). De berekende zettingen betreffen theoretische eindzettingen en zullen pas na geruime tijd worden bereikt. Hiervoor is een periode van 30 jaar in acht genomen. Het zettingsproces gedurende de consolidatiefase kan in het algemeen worden versneld door het aanbrengen van drains in de samendrukbare lagen en het eventueel aanbrengen van een tijdelijke overhoogte.

De zettingen zijn berekend met de formule van Koppejan (gecombineerde formule Terzaghi-Buisman), die in grote lijnen als volgt kan worden geschreven:

$$s = d \cdot \left( \frac{1}{C_p} + \frac{\log t}{C_s} \right) \cdot \ln \left( \frac{\sigma'_{v;z} + \Delta\sigma'_{v;z}}{\sigma'_{v;z}} \right)$$

Waarin:

$s$  = zetting, samendrukking [m]

$d$  = laagdikte [m]

$C_p$  = primaire samendrukkingscoëfficiënt

$C_s$  = secundaire samendrukkingscoëfficiënt

$t$  = tijd [dagen]; voor 30 jaar:  $\log t = \text{circa } 4$

$\sigma'_{v;z}$  = oorspronkelijke verticale korrelspanning [kN/m<sup>2</sup>]

$\Delta\sigma'_{v;z}$  = verticale korrelspanningsverhoging [kN/m<sup>2</sup>]

De stijfheidseigenschappen van de bodem zijn bepaald aan de hand van een interpretatie van het uitgevoerde grond- en laboratoriumonderzoek alsmede op basis van ervaring. Bij de analyses is rekening gehouden met het onder water zakken van de grondlagen, waardoor het effectief gewicht van de ophoging vermindert. De berekeningen geven het verloop van de zetting in de tijd en de zogenaamde eindzettingen, dat wil zeggen de zettingen die over een periode van ca. 30 jaar optreden. De onnauwkeurigheid in de berekende zetting bedraagt circa 30 %.

### 3.5 Relatie zetting en tijd.

Deze relatie wordt ook vaak met het tijd-zettingsverloop aangeduid. Het optreden van zettingen is een tijdsafhankelijk proces. In eerste instantie zal een ophoging een wateroverspanning veroorzaken in de samendrukbare lagen. Het hierdoor ontstane potentiaalverschil geeft een grondwaterstroming, waardoor de wateroverspanning geleidelijk afneemt en de korrelspanning toeneemt, hetgeen zetting veroorzaakt. De tijdsduur van dit proces wordt de hydrodynamische periode genoemd. De lengte van deze periode ( $t_e$ ) is afhankelijk van de laagdikte, de doorlatendheid van de samendrukbare lagen en de afstromingsmogelijkheden van het uit te persen water. De hydrodynamische periode is met de volgende formule berekend:

$$t_e = \frac{T \cdot (a \cdot d)^2}{c_v}$$

Waarin:

$t_e$  = hydrodynamische periode [s]

$d$  = laagdikte samendrukbaar pakket [m]

$c_v$  = consolidatiecoëfficiënt [ $m^2/s$ ]

$T$  = tijdfactor; praktisch einde van de consolidatie bij  $T=2$

$a$  = constante; bij tweezijdige afstroming  $a = 0,5$ ; bij eenzijdige afstroming  $a = 1$

Het verband tussen de consolidatiegraad  $U$  en de tijdfactor  $T$  is benaderd volgens:

$$U_v(\Delta t) = \sqrt[6]{\frac{T^3}{0,5 + T^3}}$$

Waarin:

$U_v(\Delta t)$  = consolidatiegraad na tijdsduur  $\Delta t$  bij alleen verticale afstroming

De zetting die in de hydrodynamische periode optreedt bestaat deels uit primaire en deels uit secundaire zetting. Na het verstrijken van de hydrodynamische periode treden alleen nog secundaire zettingen op. In geval van een dik pakket slappe lagen bepaalt de lengte van de hydrodynamische periode in belangrijke mate de grootte van de restzettingen na ingebruikname.

Bij toepassing van verticale drainage is de consolidatietijd berekend met de formule van Barron/Kjellman.

### 3.6 Berekende zetting

Aangezien het merendeel van het terrein reeds voorbelast is geweest, zullen hierdoor nog zettingsprocessen gaande zijn. De grootte van deze zettingsprocessen zijn niet inzichtelijk te maken, omdat geen zakkingsmetingen beschikbaar zijn.

De berekende zettingen hebben betrekking op de aan te brengen ophogingen.

De maximaal aan te brengen netto ophoging bedraagt 30 cm t.p.v. de weg.

**Tabel 3.2: Berekende zettingen bij een wegconstructie met ontwerppeil NAP-2,0 m**

Ontwerp peil	Maaiveld	Voorbelastingen					Verwijder	Bruto
		Bouwtijd	Verticale drainage	Ophoging	Zettingen			
					Opgetreden	Eind		
m-NAP	m-NAP	maand		m zand	m	m	m	m
-2,00	-2,30	6	geen	0,30	0,03	0,17	0,25	0,33
-2,00	-2,30	9	geen	0,30	0,04	0,17	0,24	0,34
-2,00	-2,30	12	geen	0,30	0,04	0,17	0,24	0,34

De grootte van "Verwijder" wordt in het onderhavige geval bepaald door het deel van de aan te brengen verhardingsconstructie.

Na het aanbrengen van de verhardingsconstructie zullen naar verwachting de resterende zettingen minder zijn dan 20 cm in 30 jaar.

Op basis van de verzamelde en beschikbare informatie kunnen de wegconstructies direct worden aangelegd, indien de netto ophoging 30 cm of minder bedraagt.

Bij terreinophogingen zullen de eindzettingen enigszins groter zijn, door een hoger gelegen ontwerppeil in vergelijking met de wegconstructie.

**Tabel 3.3: Berekende zettingen bij een terreinophoging met ontwerppeil NAP-1,9 m**

Ontwerp peil	Maaiveld	Voorbelastingen					Verwijder	Bruto
		Bouwtijd	Verticale drainage	Ophoging	Zettingen			
					Opgetreden	Eind		
m-NAP	m-NAP	maand		m zand	m	m	m	m
-1,90	-2,30	0	geen	0,40	0,00	0,23	0	0,40
-1,90	-2,30	6	geen	0,44	0,04	0,24	0	0,44
-1,90	-2,30	9	geen	0,45	0,05	0,25	0	0,45
-1,90	-2,30	12	geen	0,46	0,06	0,25	0	0,46

Bij het direct ophogen zal naar verwacht niet worden voldaan aan de restzettingseis.

Indien de bruto ophoging bestaat uit de netto ophoging met een overhoogte (compensatie van zetting) zou de oplevering na een halfjaar mogelijk aan een restzettingseis van minder dan 20 cm in 30 jaar kunnen voldaan.

Een ophoging van 35 cm zand heeft een berekende eindzetting van minder dan 20 cm in 30 jaar. Bij grotere netto ophogingen tot ca. 40 cm kan nog worden voorbelast met een overhoogte ter compensatie van de te verwachten zetting.

### 3.7 Beheersing van de grondwaterstand.

Gezien de berekende zettingen die optreden tijdens het voorbelasten en door de aanwezigheid van zand in de deklaag zijn geen maatregelen nodig in de vorm van horizontale drainage om de grondwaterstand te beheersen.

### 3.8 Slotwoord en conclusie

Bij maaiveldniveaus boven NAP-2,25 m kunnen zoals de verhardingsconstructie als de terreinophogingen direct worden aangebracht.

Bij een maaiveldniveau van ca. NAP-2,3 m kan de verhardingsconstructie direct worden aangebracht. Terreinophogingen met 35 cm zand kunnen eveneens direct worden aangebracht. Voor terreinophogingen van 35 cm tot 40 cm kan nog een bruto ophoging bestaande uit de netto ophoging plus overhoogte gedurende een bepaalde tijd worden toegepast.

Eerder is aangegeven dat in de huidige situatie zullen nog zettingen gaan optreden, waarvan de grootte onbekend zijn. Deze zettingen zijn uitgesloten in de berekende zettingen.

CONCEPT

## **4. UITVOERING**

### **4.1 Metingen**

Om het zakkingsproces te kunnen volgen wordt aangeraden zakkaken te plaatsen met een onderlinge afstand van ca. 25 m. Elke meting van de zakkaken moet bestaan uit de datum van de meting, de bovenkant van de zakkaken, de staaf lengte van de zakkaken en de bovenkant van de ophoging. Eerst moet het maaiveldniveau worden gemeten voordat wordt opgehoogd. Verder moet de voetplaat van de zakkaken zich bevinden aan de onderkant van de ophoging.

De frequentie van de metingen bedraagt wekelijks, na het bereiken van de eindhoogte kan 2-wekelijks worden gemeten. Op basis van de metingen moeten de relaties “zetting en ophoging” en “zetting en tijd” worden vastgesteld. Met deze relaties kan een interpretatie van de metingen worden verricht.

CONCEPT

## 5. LITERATUUROVERZICHT EN LIJST VAN BEGRIPPEN EN DEFINITIES

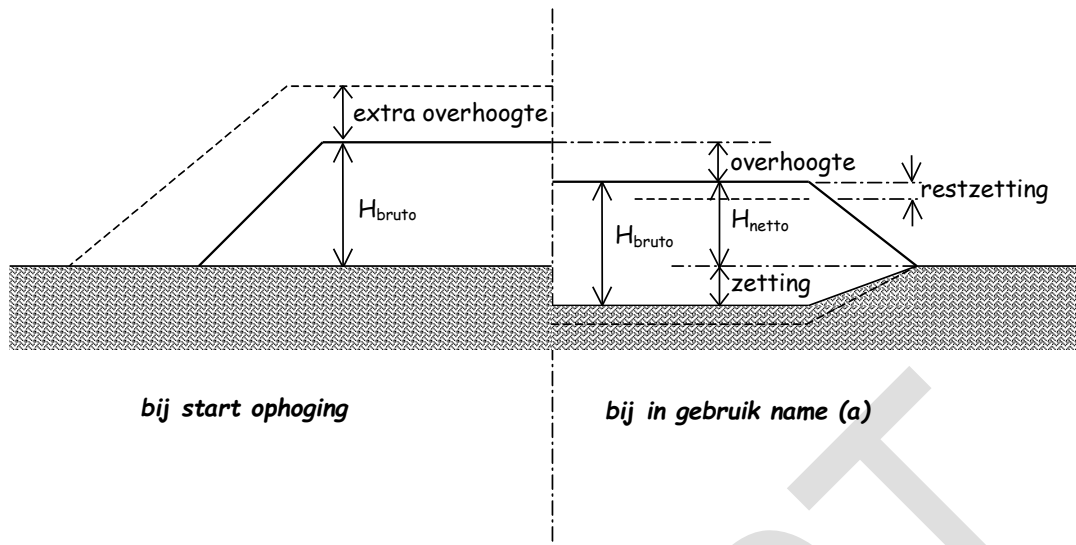
### 5.1 Literatuuroverzicht

- *Construeren met grond*, CUR rapport 162, CUR Gouda, 1992, ISBN 90-376-0024-7
- *Verticale drainage*, CROW rapport 77, CROW Ede, 1993, ISBN 90-6628-163-4
- *Betrouwbaarheid van zettingsprognoses*, CROW publicatie 204, CROW Ede, 2004, ISBN 90-6628-430-7

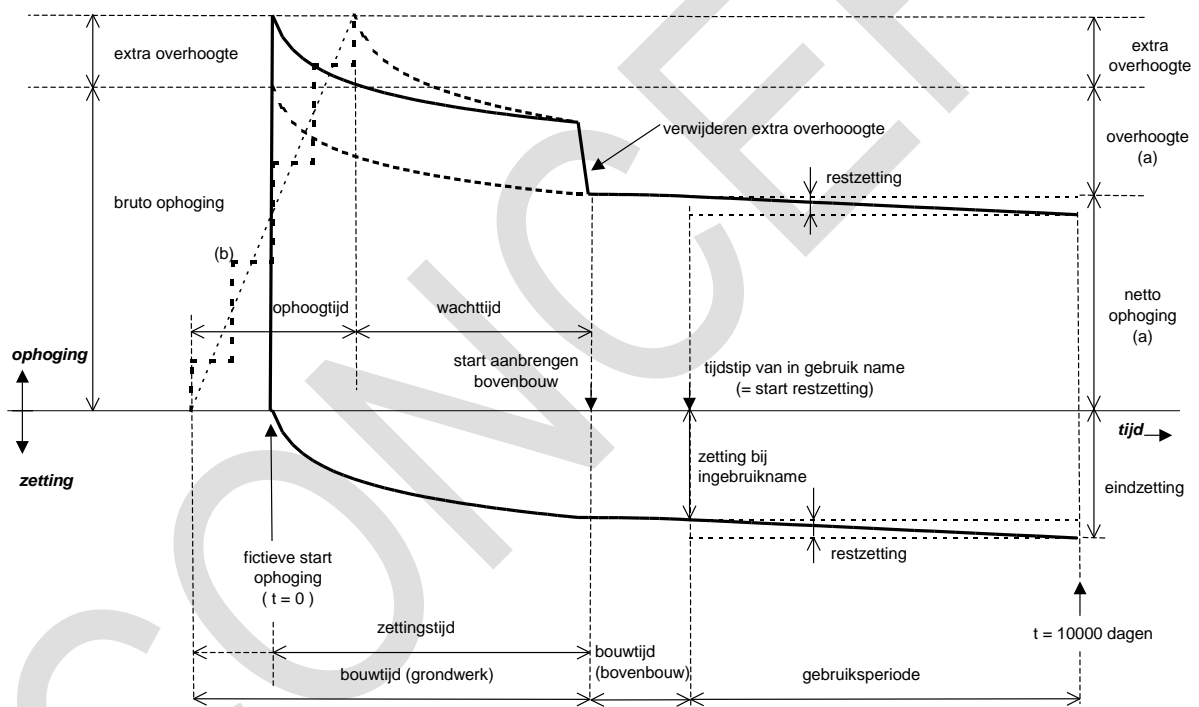
### 5.2 Lijst van begrippen en definities

Begrip	Omschrijving
ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
netto ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
bruto ophoging	Totale hoogte van de aangebrachte grondconstructie. bruto ophoging = netto ophoging + overhoogte
overhoogte	Zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die wordt aangebracht met het doel na zetting van de ondergrond de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.
extra overhoogte	Extra zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die tijdelijk wordt aangebracht om zetting van het grondlichaam te bespoedigen.
fictieve start ophoging	Tijdstip waarop een gefaseerde ophoging geacht wordt in zijn geheel aanwezig te zijn. Dit begrip wordt gebruikt indien in de berekening een gefaseerde ophoging wordt geschematiseerd tot een eenmalige ophoging van dezelfde grootte. Dit tijdstip wordt aangeduid met $t = 0$ en wordt, bij een gelijkmatige ophoogsnelheid, doorgaans halverwege de ophooftijd genomen; soms wordt 2/3 aangehouden.
zetting	Geleidelijk en min of meer gelijkmatig afnemen van de hoogteligging van het maaiveld of de cunetbodem waarop de constructie is aangelegd.
eindzetting	Zetting na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen (= circa 27 jaar) vanaf start ophoging. Soms wordt aangehouden: 10, 50 of 100 jaar.
restzetting	Zetting die zich voordoet in een bepaalde periode vanaf de oplevering van de bovenbouw (verharding/spoorstaven).
zettingsverschil	Verschil in zetting van twee locaties.
achtergrondzetting of autonome zetting	Zetting ten gevolge van inklinking in polders door polderpeilverlaging, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en dergelijke.
bouwtijd (grondwerk)	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot begin aanbrengen verharding of spoorstaven.
bouwtijd (bovenbouw)	Tijdsduur benodigd voor het aanbrengen van de verharding of de spoorstaven.
ophooftijd	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot tijdstip waarop bruto ophoging geheel aanwezig is.
Zettingstijd/ wachttijd	Tijdsduur die voor de slappe lagen beschikbaar is om te zetten (consolideren) onder het gewicht van de ophoging, voordat de verharding of bovenbouw wordt aangebracht (einde bouwtijd grondwerk).

Zie ook onderstaande figuren, overgenomen uit CROW publicatie 204.



**Figuur 5.1: Toelichting terminologie in schematisch dwarsprofiel**



**Figuur 5.2: Toelichting terminologie in ophoging - zetting - tijd - diagram**

- (a) hier aangegeven: overhoogte is zetting bij ingebruikname; andere definitie is: overhoogte is eindzetting;
- (b) de stippelijne geeft het theoretisch verloop van de ophoging weer; in werkelijkheid treedt tijdens de ophoofasen ook al zetting op.

---

## BIJLAGEN

- A. GEOTECHNISCH ONDERZOEK**
- A.1 Rapportage Geotechnisch veldwerk
- A.2 Rapportage Laboratoriumonderzoek

CONCEPT

---

**A. GEOTECHNISCH ONDERZOEK**

**A.1 RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK**

CONCEPT

---

A.2 RAPPORTAGE LABORATORIUMONDERZOEK

CONCEPT