

**Bodemkundig/hydrologisch onderzoek op twee toekomstige
natuurbegraafplaatsen in Schaijk en Berlicum**



H.R.J. Vroon en F. Brouwer

Projektnummer: 5240616-01

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, augustus 2013

**Bodemkundig/hydrologisch onderzoek op twee toekomstige natuurbegraafplaatsen in
Schaijk en Berlicum**

H.R.J. Vroon en F. Brouwer

Projektnummer: 5240616-01

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, augustus 2013

Woord vooraf	4
Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel	8
1.3 Werkwijze	8
2 Fysiografie	10
2.1 Fysiografie van het gebied Franse Baan	10
2.2 Fysiografie van het gebied Hooghei	12
3 Methode	14
3.1 Bodemgeografisch onderzoek	14
3.1.1 Bodemkundige gegevens	14
3.1.2 Hydrologische gegevens	15
3.1.2.1 Hydrologische gegevens van de stambuizen	15
3.1.2.2 Hydrologische situatie (GHG) van de onderzoeksgebieden	16
3.2 Berekening ophoging	17
4 Resultaten	19
4.1 Bodem en hydrologie	19
4.1.1 De stambuizen	19
4.1.2 De bodemopbouw en de geschatte GHG van het gebied Franse Baan	22
4.1.3 De bodemopbouw en de geschatte GHG van het gebied Hooghei	24
4.2 Benodigde ophoging	25
4.2.1 Ophoging van het gebied Franse Baan	25
4.2.2 Ophoging van het gebied Hooghei	26
Literatuur	29
Aanhangsel 1	
Algemene gegevens van de stambuizen	31

Woord vooraf

In opdracht van het bureau Rest in Nature te Veghel heeft Alterra in de maand juni 2013 een bodemkundig/hydrologisch onderzoek uitgevoerd op twee locaties (Schaijk, Franse Baan 2 en Berlicum, Hooghei 54) in de provincie Noord Brabant.

Het onderzoek omvatte het vastleggen van de bodemgesteldheid en het vaststellen van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). De resultaten van dit onderzoek bepalen op welke delen van het terrein zonder aanpassingen begraven mag worden en op welke delen van het terrein aanpassingen nodig zijn.

Het onderzoek is uitgevoerd door ing. H.R.J. Vroon en ing. F. Brouwer.

De organisatorische leiding van het project had dr. J.P. Okx.

Samenvatting

In opdracht van het bureau Rest in Nature te Veghel heeft Alterra in de maand juni 2013 een bodemkundig/hydrologisch onderzoek uitgevoerd op twee locaties (Franse Baan 2 in Schaijk en Hooghei 54 in Berlicum) in de provincie Noord Brabant. Het bureau Rest in Nature gaat op deze twee locaties natuurbegraafplaatsen inrichten. Bij de inrichting heeft men te maken met de Wet op de lijkbezorging. Volgens deze wet geldt dat de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) ten minste 145 cm-mv. moet zijn om een gebied als natuurbegraafplaats te mogen inrichten. Op welke delen begraven mag worden en op welke delen aanpassingen nodig zijn (zoals ophogen), was bij start van het project onvoldoende bekend.

Doel van het onderzoek is het verzamelen van gegevens over de bodemgesteldheid en de huidige GHG op de twee toekomstige natuurbegraafplaatsen Franse Baan (24,0 ha) en Hooghei (10,6 ha). Voor het vastleggen van de bodemgesteldheid (schaal 1 : 5.000) is met behulp van een edelmanboor informatie verzameld over de bodemgesteldheid door aan profielmonsters de profielopbouw van de gronden tot iets onder de freatische grondwaterstand te beschrijven. Verder is de GHG geschat op basis van hydromorfe kenmerken, vegetatie, lokale ont- en afwateringssituatie in combinatie met gemeten grondwaterstanden in boorgaten, in stambuizen en in tijdelijke buizen (door externe bureaus geplaatst).

Voor het onderbouwen van de GHG-schattingen is informatie nodig van zogenaamde stambuizen (DINO, Deltares) in de nabijheid van de twee onderzoekslocaties. De opnamefrequentie van deze buizen van de freatische grondwaterstand moet minstens 2 maal per maand zijn (op of omstreeks de 14^e en 28^e) en bij voorkeur aaneengesloten over een periode van ca. 10 jaar. Voor het gebiedsdekkende bodemkundig/hydrologisch onderzoek zijn niet alle grondwaterstandbuizen geschikt. Dit betekent dat eerst is onderzocht in welke mate buizen relevant zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand van de twee onderzoekslocaties en/of de filterstelling min of meer overeenkomt met het boorbereik. Dit is gebeurd op basis van een aantal selectiecriteria. In eerste instantie is op basis van de diepte van de filterstelling (tot maximaal ca. 5 m-mv.) een selectie gemaakt van buizen in een straal van ca. 5 km. Vervolgens zijn deze buizen bezocht en beoordeeld op basis van ligging, verdeling en bodemopbouw. Op de locaties van de grondwaterstandsbuizen die op basis van deze selectie zijn overgebleven zijn grondboringen verricht en is het bodemprofiel beschreven. Vervolgens is van de geselecteerde grondwaterstandsbuizen de GHG berekend uit de gemeten grondwaterstanden.

Voor de twee gebieden is een boordichtheid van ca. 2 boringen per 1 ha aangehouden. Verder is informatie gebruikt uit de reeds eerder uitgevoerde bodemkundige/hydrologische onderzoeken (Hooghei, 6 februari 2013 en Franse Baan, 6 maart 2013 beide uitgevoerd door Öko-Care). Op basis van de informatie is voor beide gebieden een boorpuntenkaart, een GHG-kaart en een grondophoogkaart vervaardigd (schaal 1 : 5.000). Op de boorpuntenkaart staan de locaties van de beschreven boringen weergegeven die zijn geplaatst tijdens het bodemkundig/hydrologisch onderzoek. Via IDW-interpolatie (inverse distance weighted) tussen de punten in combinatie met het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN, 5 bij 5 meter grid) is voor beide gebieden een gebiedsdekkende GHG-kaart vervaardigd. De GHG is op deze kaart ingedeeld in klassen van 20 cm. De iso-GHG lijn van 145 cm-mv. is op deze kaart duidelijk weergegeven. Voor het gebied binnen de iso-GHG lijn van 145 cm-mv. is een schatting gegeven van de hoeveelheid (m³) op te

brengen grond. Wanneer we uitgaan van de stelling dat beide toekomstige begraafplaatsen gebiedsdekkend geschikt worden gemaakt voor begraven, bedraagt de schatting van het totaal op te brengen grond voor Franse Baan 105.274 m³ en voor Hooghei 34.649 m³. Voor Franse Baan geldt dat het noordoostelijk deel vanwege de relatief lage en natte ligging ongeschikt is voor ophoging. De vereiste ophoging bedraagt hier namelijk meer dan één meter. Een oplossing is om hier een poel te realiseren. In plaats van veel zand aan te voeren, levert het juist zand op zonder transportkosten. Verder levert de aanleg van een poel ook een winst voor de natuur op.

De definitieve bestanden zijn als grid/shape files (ArcGis) aan de opdrachtgever afgeleverd. De resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in dit rapport.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het bureau Rest in Nature te Veghel gaat op twee locaties (Franse Baan 2 te Schaijk en Hooghei 54 te Berlicum) in de provincie Noord Brabant natuurbegraafplaatsen inrichten. Men heeft hierbij te maken met de Wet op de lijkbezorging. Volgens deze wet geldt dat de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) op deze locaties ten minste 145 cm-mv. moet zijn om deze gebieden als natuurbegraafplaats te mogen inrichten. Op welke delen begraven mag worden en op welke delen mogelijk aanpassingen nodig zijn (zoals ophogen), was bij start van het project onvoldoende bekend. Daarom heeft het bureau Rest in Nature aan Alterra gevraagd voor beide locaties een gebiedsdekkende GHG-kartering uit te voeren.



Afbeelding 1 Locatie Berlicum (Hooghei 54)

Door het mogelijk voorkomen van weerstandbiedende lagen (o.a. lössleem-, verkitte B- en venige lagen) in het 'ondiepe' bodemprofiel kan er een discrepantie zitten tussen de freatische grondwaterstand in het veld en de in de peilbuis gemeten 'freatische' grondwaterstand. Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de bodemkundig/hydrologische toestand in de twee gebieden is het noodzakelijk dat er voldoende en betrouwbare informatie aanwezig is over de huidige freatische grondwaterstand. Het meten van de freatische grondwaterstand is niet overal even eenvoudig. Als er weerstandbiedende lagen aanwezig zijn, moet de filterstelling (filterdiepte) hierop worden afgestemd. Het gebruik van een totaal geperforeerd peilfilter geeft afhankelijk van de situatie een gemiddelde stijghoogte, de diepe stijghoogte of de werkelijke freatische grondwaterstand weer (Van den Akker et al., 2010, Vroon 2012, Ritzema et al. 2012). Dit houdt in

dat voor elk freatisch meetpunt een boorbeschrijving beschikbaar moet zijn om de kwaliteit en representativiteit van het meetpunt zowel in ruimte als in tijd in te kunnen schatten. Daarnaast kan aanvullend onderzoek nodig zijn om een eventuele vertaalslag te kunnen maken tussen de meetgegevens en de freatische grondwaterstand. In de peilbuizen moet dus gedurende een langere periode grondwaterstanden zijn gemeten (meetreeks).

1.2 Doel

Het doel van het onderzoek is het verzamelen van gegevens over de bodemgesteldheid en de GHG op de twee toekomstige natuurbegraafplaatsen Franse Baan en Hooghei met een oppervlakte van respectievelijk 24,0 en 10,6 ha. De kaarten met de huidige GHG (schaal 1 : 5.000) worden gebruikt om een gefundeerde inschatting te kunnen geven waar en hoeveel grond opgebracht moet worden om de aan de wettelijke verplichting van een GHG van minimaal 145 cm – mv. te voldoen. De resultaten zullen door het bureau Rest in Nature onder meer worden gebruikt om te bepalen op welke delen ze mogen begraven en op welke delen ze mogelijk aanpassingen moeten doen.

1.3 Werkwijze

Voor het vastleggen van de bodemgesteldheid wordt met behulp van een edelmanboor informatie verzameld over de bodemgesteldheid door aan profielmonsters de profielopbouw van de gronden tot iets onder de freatische grondwaterstand te beschrijven. Verder wordt de GHG geschat op basis van hydromorfe kenmerken, vegetatie, lokale ont- en afwateringssituatie in combinatie met gemeten grondwaterstanden in boorgaten, in stambuizen en in tijdelijke buizen (door externe bureaus geplaatst).

Voor het onderbouwen van de GHG-schattingen is essentiële informatie nodig van stambuizen (DINO, Deltares) in de nabijheid van de twee onderzoekslocaties. De opnamefrequentie van de freatische grondwaterstand van deze buizen moet minstens 2 maal per maand zijn (op of omstreeks de 14^e en 28^e) en bij voorkeur aaneengesloten over een periode van ca. 10 jaar. Voor dit onderzoek zijn niet alle grondwaterstandbuizen geschikt. Dit betekent dat eerst wordt onderzocht in welke mate buizen relevant zijn voor de weergave van de freatische grondwaterstand in beide gebieden en/of de filterstelling redelijk overeenkomt met het boorbereik. Dit gebeurt op basis van een aantal selectiecriteria. In eerste instantie wordt er op basis van de diepte van de filterstelling (tot maximaal ca. 5 m-mv.) een selectie gemaakt van de buizen die bij het verdere onderzoek betrokken zullen gaan worden. Vervolgens worden deze buizen bezocht en beoordeeld op basis van ligging, verdeling en bodemopbouw. Op de locaties van de grondwaterstandsbuizen die op basis van deze selectie overblijven worden grondboringen verricht waarbij het bodemprofiel wordt beschreven. Vervolgens wordt van de geselecteerde grondwaterstandsbuizen uit de gemeten grondwaterstanden de GHG berekend.

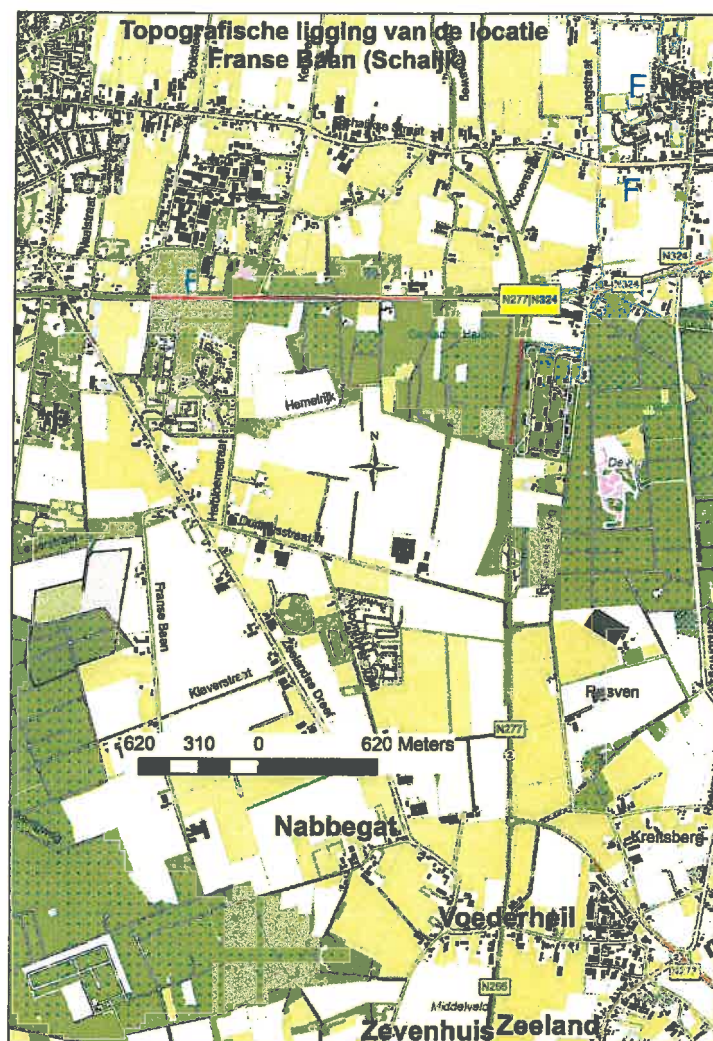
Voor de twee gebieden wordt een boordichtheid van ca. 2 boringen per 1 ha aangehouden (schaal 1 : 5.000). Verder wordt informatie gebruikt uit de reeds eerder uitgevoerde bodemkundige/hydrologische onderzoeken (Hooghei, 6 februari 2013 en Franse Baan, 6 maart 2013 beide uitgevoerd door Öko-Care, Milon 2009 en Ecoconsultancy 2009). Op basis van de hierboven genoemde puntinformatie en de ruimtelijke verbreiding hiervan wordt voor beide

gebieden een boorpuntenkaart, een GHG-kaart en een grondophoogkaart vervaardigd (schaal 1 : 5.000). De definitieve bestanden worden als shape files (ArcGis) met aanvullende meta-informatie aan de opdrachtgever afgeleverd.

2 Fysiografie

2.1 Fysiografie van het gebied Franse Baan

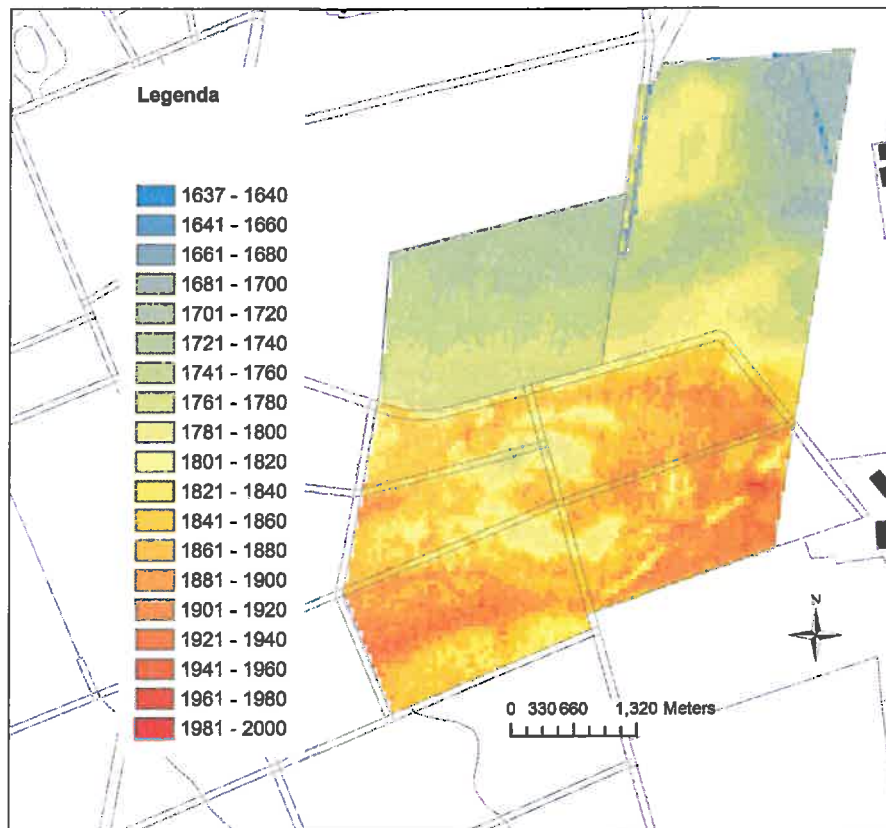
Het onderzoeksgebied Franse Baan ligt ten zuiden van het dorp Schaijk (gemeente Landerd) en wordt in het westen begrensd door het bosgebied de Schaijkse Heide (afb. 2). Het onderzochte gebied komt voor op het blad 45F van de Topografische kaart van Nederland, schaal 1 : 25.000. Het bodemgebruik van het gebied bestaat uit gras, akkerbouw (maïs en aardappelen) en bos (gemengd).



Afbeelding 2 Ligging van het gebied Franse Baan

Het gebied vertoont aanzienlijke hoogteverschillen (afb. 3) die variëren van ca. 16,5 m + NAP in het noordoostelijk deel van het onderzoeksgebied (akkerbouw) tot ca. 20 m + NAP in het zuidoostelijk deel van het gebied (bosgebied). In het algemeen helt het gebied in zijn geheel sterk

af in noordoostelijke richting. Het landschap heeft zijn huidige vorm vooral te danken aan de invloed van de wind (Formatie van Boxtel, matig fijn, leemarm en zwak lemig dekzand) en de rivier de Maas (Formatie van Beegden, veelal grove zanden en grind)(Econsultancy, 2009).

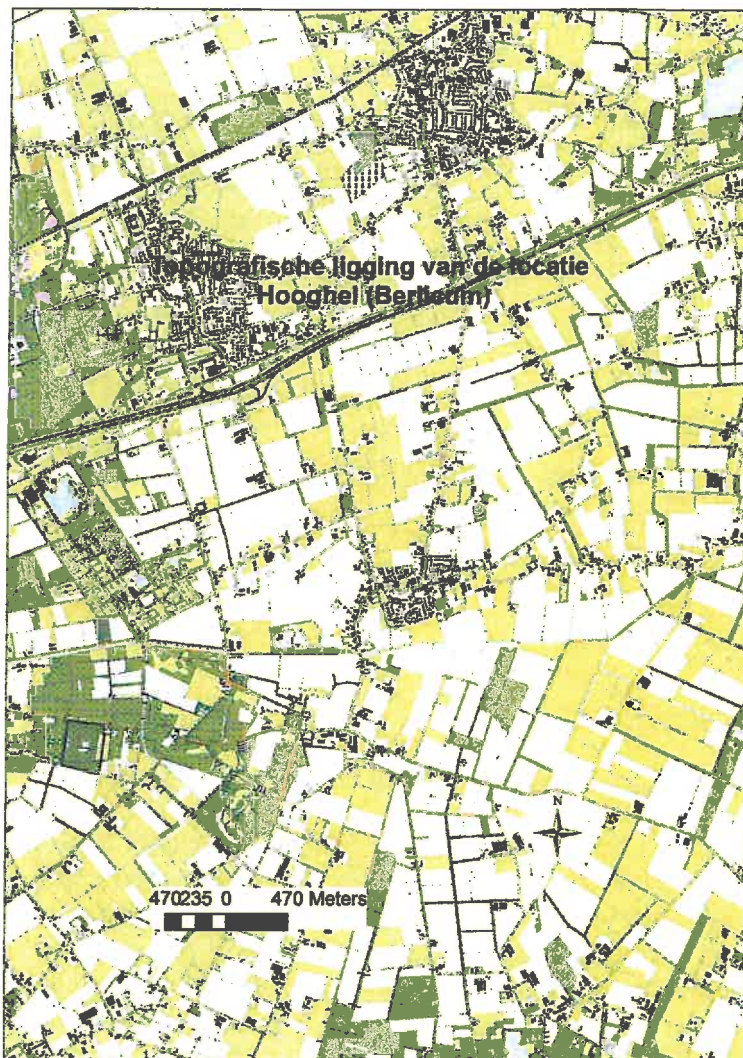


Afbeelding 3 Hoogtekaart (klassen in cm t.o.v. NAP) van het gebied Franse Baan

Volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, bestaat het onderzoeksgebied geheel uit zandgronden. Dit zijn minerale gronden waarvan het niet-moerige gedeelte tussen 0 en 80 cm diepte voor meer dan de helft van de dikte uit zand (materiaal met minder dan 8% lutum en minder dan 50% leem) bestaat. Naar de aard van de pedogene en geogene processen en de daardoor ontstane bodemhorizonten worden de zandgronden in het gebied verder onderverdeeld in haarpodzolgronden (Hd..) en veldpodzolgronden (Hn..). Deze gronden behoren tot de jonge ontginningsgronden met een humushoudende bovengrond die dunner is dan 30 cm. De granulaire samenstelling (textuur) van de bovengrond varieert van leemarm tot zwak lemig (..1) fijn (2..) zand (bijv. Hd21) en matig grof zand (30) (bijv. Hn21 en Hd30)(Stiboka 1976). In de ondergrond komt op veel plaatsen binnen 120 cm-mv. grof zand (..g) voor, dat afkomstig is van de Maas. Dit materiaal heeft, vooral indien ze voorkomt net onder de effectieve wortelzone, ongunstige capillaire eigenschappen (Van Soesbergen et al. 1986), waardoor de gewassen die op deze gronden worden geteeld snel kunnen verdrogen.

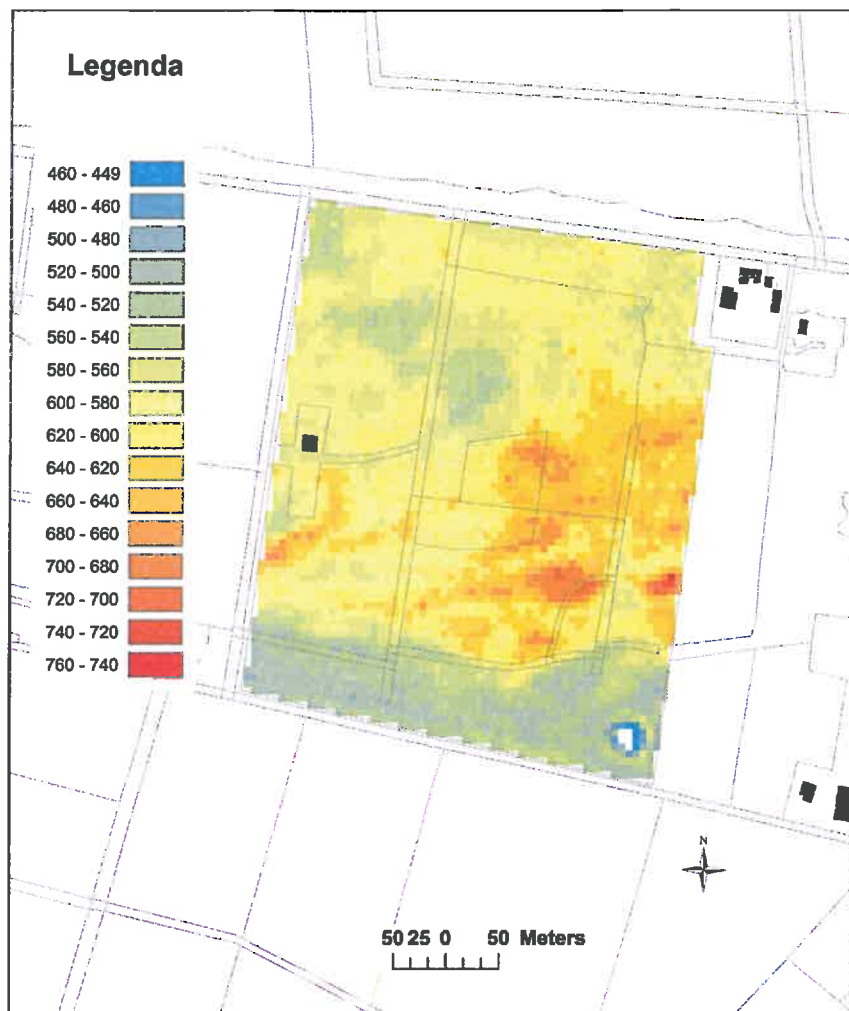
2.2 Fysiografie van het gebied Hooghei

Het onderzoeksgebied Hooghei ligt ten noordoosten van het dorp Berlicum in het bosgebied Hoogheide (afb. 4). Het onderzochte gebied komt voor op het blad 45D van de Topografische kaart van Nederland, schaal 1 : 25.000. Het bodemgebruik van het gebied bestaat uit gemengd bos (vooral grove den en eik).



Afbeelding 4 Ligging van het gebied Hooghei

Het gebied vertoont aanzienlijke hoogteverschillen (afb. 5) die variëren van ca. 4,5 m + NAP in het zuidelijk deel tot ca. 7,5 m + NAP in het midden van het onderzoeksgebied. (bosgebied). Het gebied helt sterk in zuidelijke richting. In het midden van het onderzoeksgebied komen twee markante dekzandruggen voor.



Afbeelding 5 Hoogtekaart (klassen in cm t.o.v. NAP) van het gebied Hoogheij

Volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, bestaat ook dit onderzoeksgebied geheel uit zandgronden. Naar de aard van de pedogene en geogene processen en de daardoor ontstane bodemhorizonten worden de zandgronden in het gebied verder onderverdeeld in duinvaaggronden (Zd..) en gooreerdgronden (pZn..). Ook deze gronden behoren tot de jonge ontginningsgronden met een humushoudende bovengrond die dunner is dan 30 cm. De granulaire samenstelling (textuur) van de bovengrond varieert van leemarm tot zwak lemig (..1) fijn zand (2...) (bijv. Zd21). De duinvaaggronden hebben vaak een leemarm fijn stuifzanddek (formatie van Kootwijk). Deze gronden zijn vanwege houtproductie in het verleden diep verwerkt (/F). Gooreerdgronden zijn gronden met hydromorfe kenmerken, ze hebben geen ijzerhuidjes op de zandkorrels. Verder hebben ze als kenmerk dat er weinig of geen roest in het profiel voorkomt. Zo er al roest voorkomt, dan begint deze dieper dan 35 cm -mv. of is over meer dan 30 cm onderbroken. De gooreerdgronden zijn ontwikkeld in een oligotroof milieu (Stiboka, 1969).

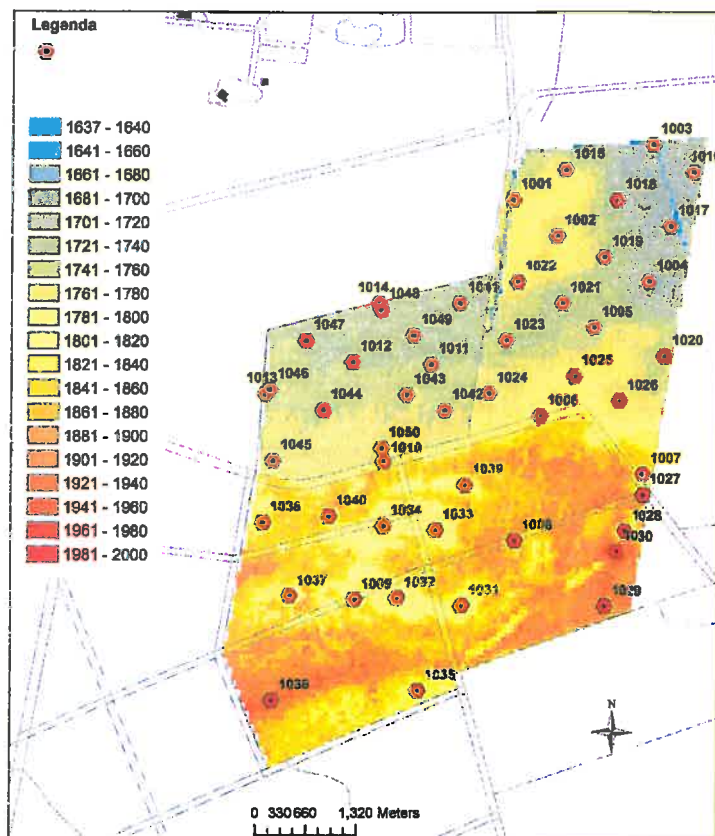
3 Methode

3.1 Bodemgeografisch onderzoek

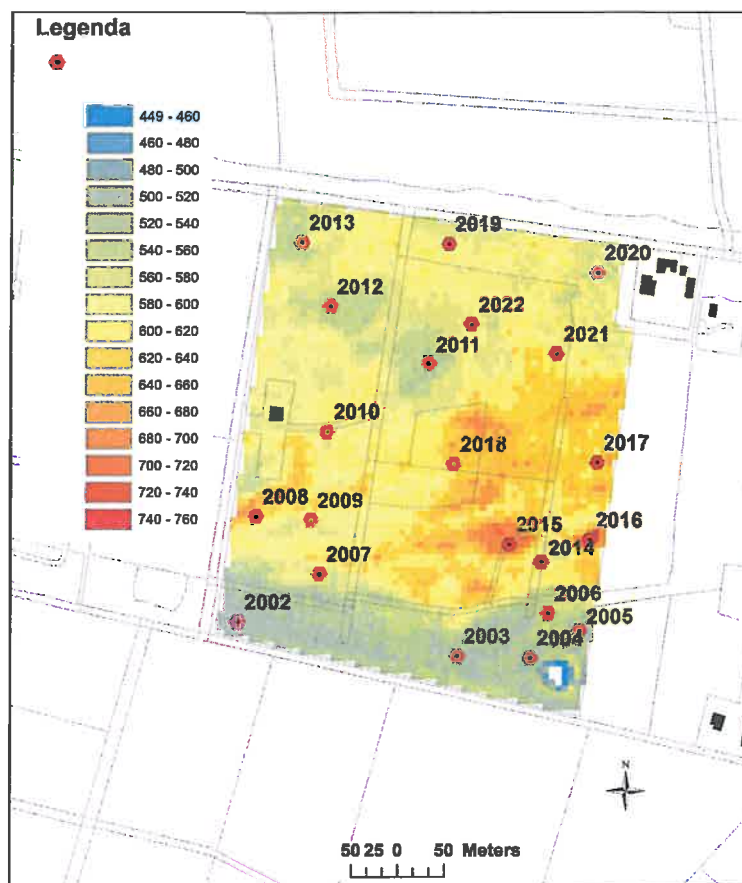
3.1.1 Bodemkundige gegevens

In de periode juni 2013 zijn in de gebieden Hooghei en Franse Baan respectievelijk 21 en 50 grondboringen verricht (afb. 6 en 7) minimaal tot diepte onder het GHG-niveau en is de positie met behulp van een GPS vastgelegd. Verder zijn bij de boorlocaties de bodemprofielen beschreven en geregistreerd met een veldcomputer (Motion). In de profielbeschrijving is ondermeer vastgelegd:

- de subgroep van de bodemclassificatie (De Bakker en Schelling, 1989) op basis van dikte, aard en opeenvolging van de verschillende horizonten;
- de bewortelbare diepte en eventueel ook de verwerkingsdiepte;
- het organische stofgehalte, het lutumgehalte, het leemgehalte en de mediaan (M50) van de zandfractie van de onderscheiden lagen;
- geologische informatie; het voorkomen van afwijkende materiaalsoorten, zoals grof zand, moerig materiaal.



Afbeelding 6 Ligging van de boringen van het gebied Franse Baan (geprojecteerd op de hoogtekkaart)



Afbeelding 7 Ligging van de boringen van het gebied Hoogheij (geprojecteerd op de hoogtekkaart)

Het boorregister, waarin alle vastgelegde veldbodemkundige puntinformatie is opgenomen, bevindt zich in het archief van Alterra en wordt in digitale vorm alleen aan de opdrachtgever verstrekt.

3.1.2 Hydrologische gegevens

De gebruikswaarde van de gronden berust vooral op bodemfactoren, die sterk door de grondwaterstand en fluctuatie worden beïnvloed, bijv. het vochtleverend vermogen, de aëratie en de stevigheid van de bovengrond. De freatische grondwaterstand op een willekeurige plaats varieert in de loop van het jaar en van jaar tot jaar. Verder varieert de fluctuatie van het freatisch grondwater door verschil in grondsoort, profielopbouw, ont- en afwateringstoestand, grondwateronttrekkingen, neerslag, verdamping en kwel.

3.1.2.1 Hydrologische gegevens van de stambuizen

Het jaarlijks wisselende verloop van de freatische grondwaterstand op een willekeurige plaats is te herleiden tot een regiemcurve. De top en het dal van de grondwaterregiemcurve geven het niveau aan tot waar de grondwaterstand gemiddeld in de winter stijgt (Gemiddeld Hoogste

Grondwaterstand, GHG) en in de zomer daalt (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, GLG) (Stol, 1960; Knibbe en Marsman, 1961; Van Heesen en Westerveld, 1966; Van Heesen, 1971; Van Der Sluijs, 1982 en Van Der Sluijs en H.C. van Heesen, 1989.). De GHG en GLG worden berekend door het middelen van respectievelijk de drie hoogst gemeten grondwaterstanden (HG3) en de drie laagst gemeten grondwaterstanden (LG3) in een hydrologisch (1 april t/m 31 maart) jaar. Dit is proefondervindelijk vastgesteld door Knibbe en Marsman (1961) en Van de Sluijs en Van Egmond (1976). Om de GHG en GLG te berekenen worden respectievelijk de HG3 en de LG3 over minimaal acht aaneengesloten hydrologische jaren gemiddeld. Er wordt bij de berekeningen van de GHG's en GLG's uitgegaan van twee metingen per maand op of omstreeks de 14^e en de 28^e, in grondwaterstandsbuizen van twee tot ca. 5 m lengte met een filterlengte van meestal één meter. Voor dit onderzoek is alleen de GHG relevant, daarom zal de GLG niet verder worden beschouwd.

De selectie van de grondwaterstandsbuizen uit DINO (Deltares), die zullen worden gebruikt voor de onderbouwing van de GHG-schattingen in dit onderzoek, is gebaseerd op basis van ligging, continuïteit en lengte van de meetreeks, profielopbouw en diepte van het filter. Voor dit onderzoek is de GHG berekend over een aaneengesloten periode van ca. 10 jaar. Voor twee buizen is een periode van 7 jaar aangehouden in verband met het ontbreken van gemeten grondwaterstanden. Van de geselecteerde stambuislocaties zijn de bodemprofielen ook beschreven met een veldcomputer (Motion) en opgenomen in het boorregister.

3.1.2.2 Hydrologische situatie (GHG) van de onderzoeksgebieden

De schatting van het GHG-niveau is gebaseerd op hydromorfe kenmerken, meestal bestaande uit roestvlekken en kleurintensiteit, in afhankelijkheid van de fluctuatie van het grondwater. Bij de interpretatie van deze kenmerken wordt ook gelet op de textuur van het profiel. Bij een bepaalde GHG zullen in sterk of zeer sterk lemige, zeer fijnzandige gronden de hydromorfe kenmerken als gevolg van een dikke, vol capillaire zone hoger in het bodemprofiel voorkomen dan bij zwak lemige of leemarme matig fijnzandige gronden. Dit heeft tot gevolg dat de eerst genoemde gronden, uit het oogpunt van de landbouw (vochtleverend vermogen, draagkracht etc.), natter zijn dan de minder lemige of grofzandige of matig fijnzandige profielen.

Tijdens het onderzoek is op elke boorlocatie de GHG geschat en in een profielbeschrijving vastgelegd. Om de geschatte GHG-waarden op de locaties zo goed mogelijk te onderbouwen zijn in alle boorgaten de grondwaterstanden gemeten. De gemeten grondwaterstanden zijn van een datum voorzien en staan ook bij de profielbeschrijvingen vermeld. Verder zijn voor de onderbouwing ook de grondwaterstanden gebruikt die door andere firma's (Öko-Care B.V., Milon en Ecoconsultancy) op een aantal momenten in de tijd zijn gemeten o.a. in het gebied Hooghei op 8 oktober 2012 en 6 februari 2013 en in het gebied Franse Baan op 7 maart 2013. De gemeten grondwaterstanden zijn met betrekking tot het GHG-niveau allen getoetst aan langjarige gegevens van de geselecteerde stambuizen.



Afbeelding 8 Grondwaterstandsbuis door Ôko-Care geplaatst in het gebied Hooghei

Voor het vervaardigen van een gebiedsdekkende GHG-kaart zijn de puntsgewijs geschatte GHG's geïnterpoleerd met behulp van de IDW-techniek (inverse distance weighted). Bij deze interpolatie neemt de onderlinge samenhang tussen punten toe naarmate de afstand tussen de punten kleiner is. De verwantschap, die bij IDW-interpolatie normaal gesproken een functie is van de onderlinge afstand, is verfijnd door de hoogte van het maaiveld mee te nemen. De informatie over de hoogte van het maaiveld t.o.v. NAP die we hebben gebruikt, is afkomstig van het AHN (5 bij 5 meter grid). Vooral bij het interpoleren van de freatische grondwaterstand mag men immers verwachten dat de verwantschap met een nabij gelegen locatie groter is naarmate de hoogteligging van het maaiveld meer overeen komt (Van der Gaast et al., 2006).

Op de huidige GHG-kaart zijn de geïnterpoleerde GHG-waarden ingedeeld in intervallen van 20 cm rondom de toetsdiepte van 145 cm-mv.

3.2 Berekening ophoging

De basis voor de berekening van de hoeveelheid benodigde grond is de huidige GHG-kaart en de wettelijke richtlijn van 145 cm – mv. Wanneer humusarm, zwak lemig tot leemarm zand als ophoogmateriaal wordt gebruikt, wordt de huidige GHG na de ophoging t.o.v. NAP nauwelijks of niet beïnvloed. De volgende formule is dan van toepassing (eenheden in cm):

$$(1) \text{Dikte}_{\text{ophoog_vast}} = 145 - \text{GHG}_{\text{huidig}}$$

De variabele *Dikte_{ophoog_vast}* moet vervolgens worden gecorrigeerd, omdat we technisch gezien niet met vast zand kunnen ophogen. Ophogen kan alleen met los zand en dat heeft een andere dichtheid (soortelijk gewicht) dan vast zand. In het Cultuurtechnisch Vademecum (blz. 282) wordt voor los

zand de waarde $1,34 \text{ g/cm}^3$ en voor zeer vast zand de waarde $1,63 \text{ g/cm}^3$ voor het soortelijk gewicht gegeven. Dat betekent dat 1 m^3 zeer vast zand overeenkomt met ca. $1,2 (=1,63/1,34) \text{ m}^3$ los zand. Omdat het losse zand boven op het bestaande bodemprofiel wordt aangebracht, is het niet aannemelijk dat het losse zand uiteindelijk in de zeer vaste fase over zal gaan. Vandaar dat wij liever de correctie versoepelen van 1,2 (van zeer vast naar los) naar 1,15 (van vast naar los). Dat geeft dan de volgende formules (eenheden in cm):

$$(2) \text{Dikte}_{\text{ophoog_los}} = \text{Dikte}_{\text{ophoog_vast}} * 1,15$$

$$(3) \text{Dikte}_{\text{ophoog_los}} = (145 - \text{GHG}_{\text{huidig}}) * 1,15$$

Kunstmatige verhoging van terreinoppervlaktes met grond van elders heeft bij een slappe ondergrond tot gevolg dat het oorspronkelijke bodemprofiel wordt samengedrukt door de opgebrachte belasting. Hierdoor zakken het oorspronkelijke maaiveld en de opgebrachte laag. Dit betreft een grondmechanisch proces, algemeen als zetting aangeduid (Cultuurtechnisch Vademecum, blz. 235). Bij toenemende waarden van de variabele $\text{Dikte}_{\text{ophoog_los}}$ vergroot het gevaar van zetting. Omdat de zandgronden in beide onderzoeksgebieden geen slappe ondergrond hebben, is het gevaar voor zetting minimaal. In onze berekening van de noodzakelijke ophoging wordt daarom niet gecorrigeerd op zetting.

4 Resultaten

4.1 Bodem en hydrologie

Voor een verklaring en beschrijving van de gebruikte coderingen en begrippen bij de bodemprofielen wordt verwezen naar het rapport 'Bodemgeografisch onderzoek in landinrichtingsgebieden; bodemvorming, methoden en begrippen' (Brouwer et al., 1996).

In de volgende paragrafen zal van de bodemgesteldheid en hydrologie van de stambuizen en de gekarteerde gebieden een korte beschouwing worden gegeven.

4.1.1 De stambuizen

Op basis van de uitgevoerde selectie (par. 3.1.2.1) blijven vier stambuizen B45F0667, B45E0579, B45E0603 en B45B0464 (afb. 9 en 10) van diverse instanties over. Deze peilbuizen hebben dus voldoende lange en continue meetreeksen, een correcte ligging, vergelijkbare filterdieptes (begindiepte filter tot maximaal ca. 5 m-mv.) en een vergelijkbaar bodemtype/profielopbouw om de schatting van de hydrologische situatie (GHG) van beide onderzoeksgebieden te onderbouwen.



Afbeelding 9 Ligging van de geselecteerde stambuizen in de buurt van het gebied Franse Baan.



Afbeelding 10 Ligging van de geselecteerde stambuizen in de buurt van het gebied Hoogheij.

Voor algemene informatie van deze stambuizen, zoals ligging, buis- en filterlengte wordt verwezen naar aanhangsel 1. Voor de onderbouwing van de GHG-schattingen in beide onderzoeksgebieden en voor het vaststellen van de grootte en omvang van eventuele hydrologische ingrepen zijn ondermeer de GHG's nodig berekend over 10 jaar. De berekende GHG's van de stambuizen staan in tabel 1 vermeld. Voor twee stambuizen (B45F0667 en B45E0603) is een periode van 7 jaar (7HG3) aangehouden in verband met het ontbreken van grondwaterstanden. Deze berekende waarden kunnen, gezien de niet al te grote variatie rond het gemiddelde, worden beschouwd als een redelijke schatting van de GHG.

Tabel 1 Berekende GHG's en 7HG3's (cm – mv.) van de geselecteerde stambuizen.

Naam	X-coördinaat (m)	Y-coördinaat (m)	GHG (10HG3)	7HG3	OPMERKING
B45F0667	172730	415490		98	Berekende xHG3 periode 7 jaar (variatie HG3 minimaal 68 en maximaal 129 cm-mv.)
B45E0579	168914	415181	238		Berekende GHG periode 10 jaar
B45E0603	162697	413291		75	Berekende xHG3 periode 7 jaar (variatie HG3 minimaal 61 en maximaal 88 cm-mv.)
B45B0464	157045	414264	169		Berekende GHG periode 11 jaar

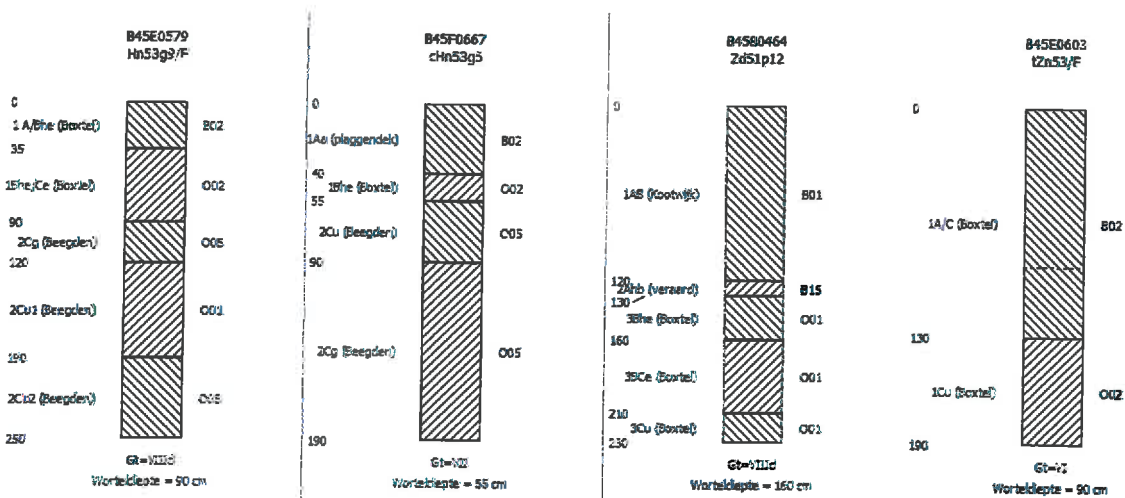
In afbeelding 11 staan de geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische profielen ter plekke van de geselecteerde stambuizen weergegeven. Om eventueel voorkomende storende lagen vast te stellen, zijn de onderscheiden bodemhorizonten bodemfysisch gekarakteriseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de coderingen (tabel 2) uit de Staringreeks (Wösten et al., 1987 en Wösten et al., 2001), aangevuld met relevante hydrologische informatie die bij het beschrijven van de bodemprofielen in het veld is meegenomen.

Tabel 2 Coderingen van de bouwstenen uit de Staringreeks.

Code	Beschrijving
B01	Bovengrond : Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
B02	Bovengrond : Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B03	Bovengrond : Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B04	Bovengrond : Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B05	Bovengrond : Grof zand
B06	Bovengrond : Keileem
B07	Bovengrond : Zeer lichte zavel
B08	Bovengrond : Matig lichte zavel
B09	Bovengrond : Zware zavel
B10	Bovengrond : Lichte klei
B11	Bovengrond : Matig zware klei
B12	Bovengrond : Zeer zware klei
B13	Bovengrond : Zandige leem
B14	Bovengrond : Siltige leem
B15	Bovengrond : Venig zand
B16	Bovengrond : Zandig veen en veen
B17	Bovengrond : Venige klei
B18	Bovengrond : Kleilig veen
O01	Ondergrond : Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
O02	Ondergrond : Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O03	Ondergrond : Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O04	Ondergrond : Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
O05	Ondergrond : Grof zand
O06	Ondergrond : Keileem
O07	Ondergrond : Beekleem
O08	Ondergrond : Zeer lichte zavel
O09	Ondergrond : Matig lichte zavel
O10	Ondergrond : Zware zavel
O11	Ondergrond : Lichte klei
O12	Ondergrond : Matig zware klei
O13	Ondergrond : Zeer zware klei
O14	Ondergrond : Zandige leem
O15	Ondergrond : Siltige leem
O16	Ondergrond : Oligotroof veen
O17	Ondergrond : Mesotroof en eutroof veen
O18	Ondergrond : Moerige tussenlaag

Van alle stambuizen blijkt, dat het bodemprofiel in het fluctuatietraject van het freatische grondwater is opgebouwd uit goed doorlatend, matig fijn leemarm (B45E0603) of zwak lemig (B45B0464) dekzand (Boxtel) en zeer goed doorlatend, grof leemarm rivierzand (B45F0667 en B45E0579) (Beegden). Voor al deze situaties geldt dat de buizen staan in zogenaamde 'open' profielen. Dit betekent dat in het fluctuatietraject van het freatische grondwater geen

weerstandbiedende lagen van betekenis zijn aangetroffen die een dominante of sturende invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater.



Afbeelding 11 Geschematiseerde bodemkundige/bodemfysische boorprofielen van de stambuizen

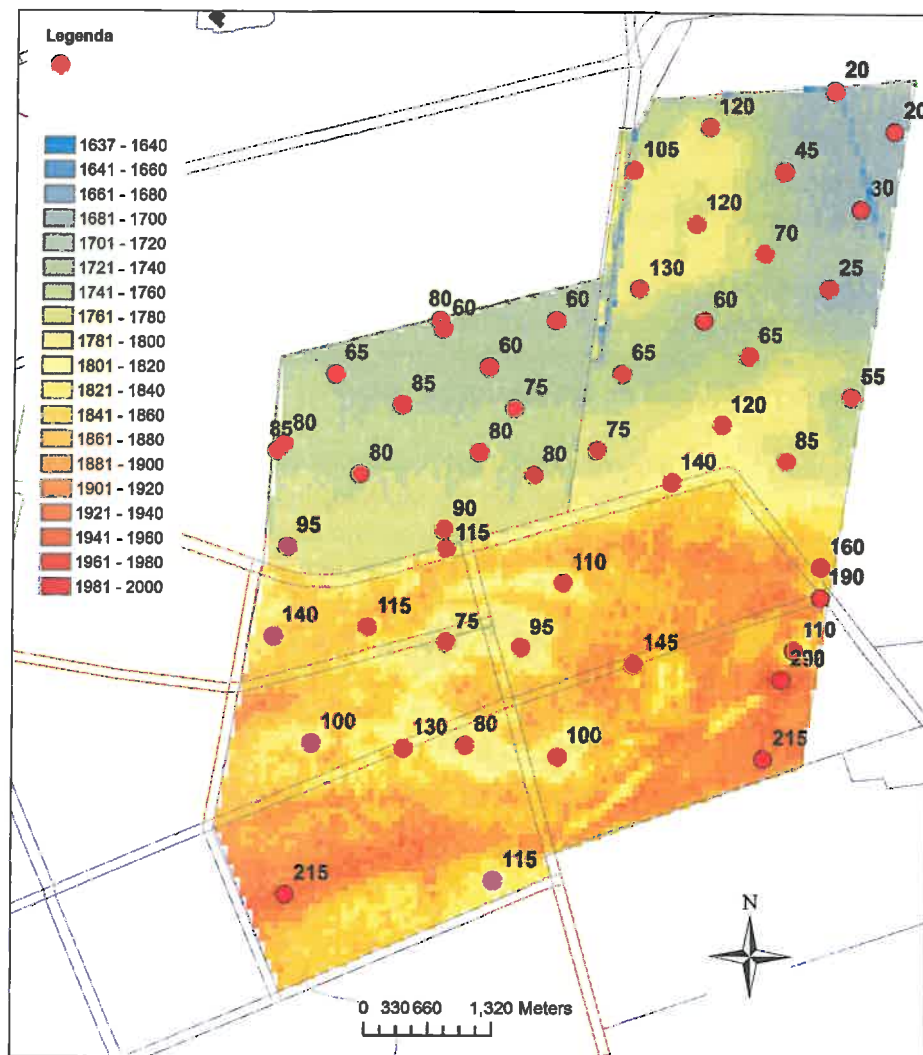
4.1.2 De bodemopbouw en de geschatte GHG van het gebied Franse Baan

In dit gebied komen alleen zandgronden voor. Naar de aard van de pedogene en geogene processen en de daardoor ontstane bodemhorizonten worden de zandgronden verder onderverdeeld in laarpodzolgronden (cHn..), veldpodzolgronden (Hn..), gooreerdgronden (cZn.. en tZn..) en duinvaaggronden (Zd..).

In het gebied loopt de dikte van de humushoudende bovengrond bij de zandgronden nogal uiteen; deze hangt nauw samen met de ontginningsgeschiedenis. De dikste homogene bovengronden liggen in het akkerbouwgebied. Deze gronden hebben vaak een dikkere humeuze bovengrond, variërend van 30-40 cm (cHn.., cZn..). De bovengronden zijn meestal matig fijn, zwak lemig of leemarm. De veldpodzolgronden en gooreerdgronden die in het graslandgebied voorkomen zijn door egalisatiewerkzaamheden verwerkt (../F) tot een diepte van maximaal ca. 60 cm. In de verwerkingslaag is meestal de loodzandlaag (E-horizont, uitspoelingshorizont) in de vorm van grijsvlekkige vlekken nog waar te nemen. In het bosgebied komen vooral matig fijnzandige, leemarme veldpodzolgronden voor. Op de hoogste delen komen de matig fijnzandige, leemarme duinvaaggronden voor met een stuifzanddek (tot ca. 80 cm dik). In de ondergrond komt binnen boorbereik overal rivierzand voor (Beegden). In het algemeen zijn deze zanden grindhoudend, matig tot zeer grof en leemarm van samenstelling. Dit materiaal heeft, vooral indien ze voorkomt net onder de effectieve wortelzone, ongunstige capillaire eigenschappen (Van Soesbergen et al. 1986), waardoor de gewassen die op deze gronden worden geteeld snel kunnen verdrogen. In het gehele onderzoeksgebied zijn tijdens de kartering geen weerstandbiedende lagen aangetroffen (open gronden) die een dominante of sturende invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van het freatische grondwater.

Op afbeelding 12 staan de geschatte GHG-waarden op de boorlocaties in het gebied Franse Baan. Op basis van de resultaten van de gemeten grondwaterstanden die op verschillende momenten in de

tijd zijn gemeten, blijkt dat er een nauw verband aanwezig is tussen de freatische grondwaterstand (dus ook GHG) en de hoogte van het maaiveld.



Afbeelding 12 Geschatte GHG's op de boorlocaties in het gebied Franse Baan (geprojecteerd op de hoogtekkaart)

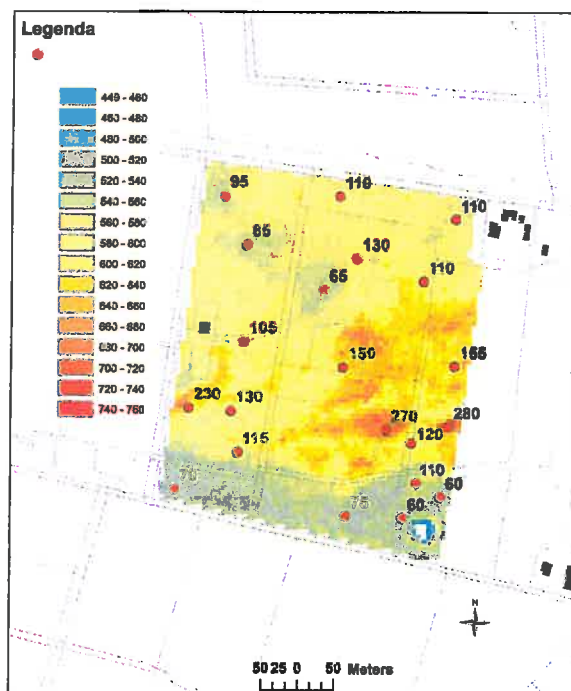
Dit geldt zowel voor de relatief natte momenten (perioden met een neerslagoverschot) als ook voor relatief droge momenten in de tijd (perioden met een verdampingoverschot). Typerend voor deze 'open' gronden is, dat in de laagst gelegen gebieden de hoogste grondwaterstanden zijn gemeten en dat hier de relatief natste GHG's zijn geschat en vice versa. In het noordoostelijk deel van het gebied komen GHG's voor ondieper dan 25 cm-mv. Deze gronden hebben na neerslagrijke perioden periodiek last van plaspvorming. Verder treden op deze gronden tijdens nattere perioden snel problemen op ten aanzien van de zuurstofvoorziening van het gewas en hebben ze een geringe draagkracht. Voor de GHG's die liggen tussen 25 en 40 cm-mv. geldt dit in mindere mate. De diepste GHG's komen voor op enkele smalle, hoge dekzandruggen in het zuidelijk deel van het bosgebied. De GHG bevindt zich hier meestal dieper dan 200 cm-mv.

4.1.3 De bodemopbouw en de geschatte GHG van het gebied Hooghei

In dit gebied komen eveneens alleen zandgronden voor. Naar de aard van de pedogene en geogene processen en de daardoor ontstane bodemhorizonten worden de zandgronden verder onderverdeeld in haarpodzolgronden (Hd..), veldpodzolgronden (Hn..), gooreerdgronden (tZn..) en duinvaaggronden (Zd..). De haarpodzol- en duinvaaggronden komen voor in de hoogste delen van het gebied. De bovengrond en ondergrond bestaat uit matig fijn leemarm zand. Door houtteelt is het grootste deel van het gebied diep verwerkt.

Op afbeelding 13 staan de geschatte GHG-waarden op de boorlocaties in het gebied Hooghei. Op basis van de resultaten van de gemeten grondwaterstanden die op verschillende momenten in de tijd zijn gemeten, blijkt dat er ook in dit gebied een nauw verband aanwezig is tussen de freatische grondwaterstand (dus ook GHG) en de hoogte van het maaiveld.

Dit geldt zowel voor de relatief natte momenten (perioden met een neerslagoverschot) als ook voor relatief droge momenten in de tijd (perioden met een verdampingsoverschot). In de laagst gelegen gebieden zijn de hoogste grondwaterstanden gemeten en zijn de relatief natste GHG's geschat en vice versa. In het zuidelijk deel en op enkele locaties in het noordelijk deel van het gebied komen de relatief natste GHG's voor met een diepte die varieert van ca. 60 tot 80 cm-mv. De diepste GHG's komen voor in de relatief hoog gelegen dekzandruggen in het midden van het gebied (vanaf ca. 150 tot 280 cm-mv.). Verder kan nog worden vermeld dat ook in dit onderzoeksgebied geen weerstandbiedende lagen aangetroffen zijn die een dominante of sturende invloed hebben op de hoogte en fluctuatie van het freatisch grondwater.



Afbeelding 13 Geschatte GHG's op de boorlocaties in het gebied Hooghei (geprojecteerd op de hoogtekaart)

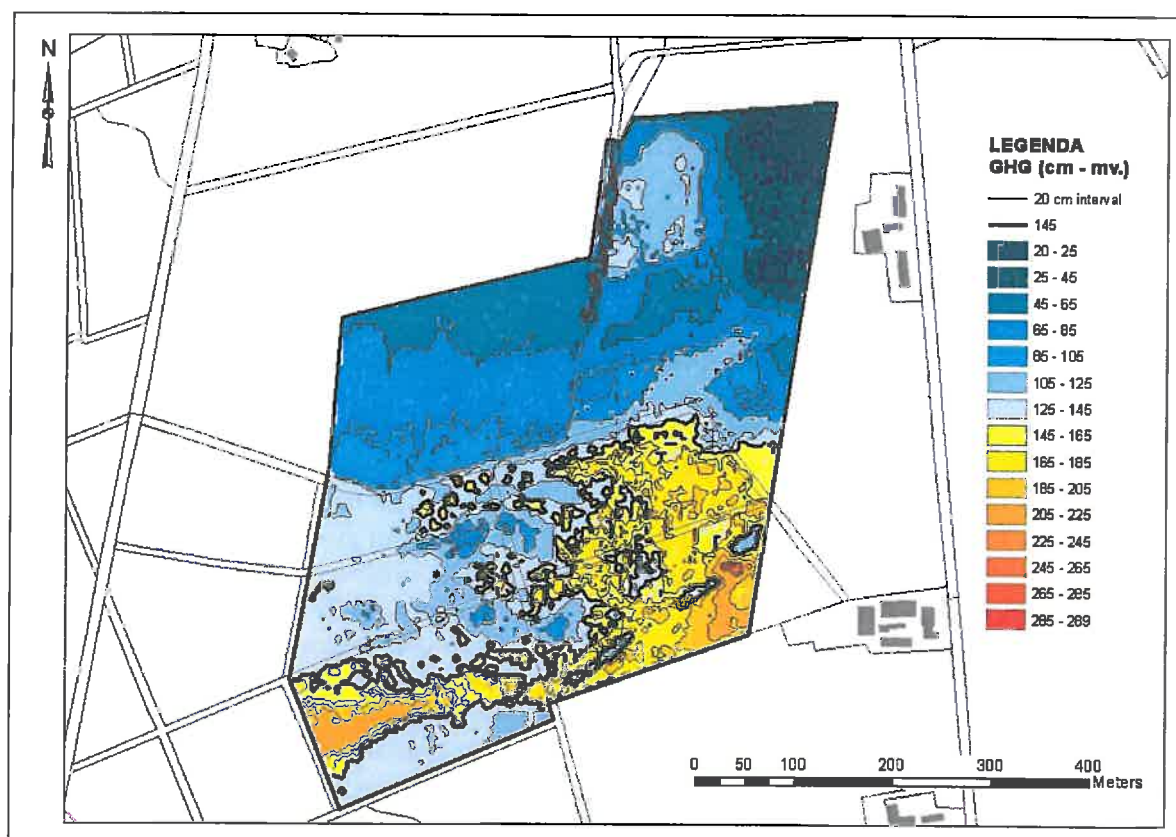
De geschatte GHG's op de boorlocaties zijn met IDW-interpolatie en het AHN omgezet in gebiedsdekkende GHG-kaarten (afb. 14 en 15).

4.2 Benodigde ophoging

Zoals beschreven in par. 3.2 is de basis voor de berekening van de hoeveelheid benodigde grond de gebiedsdekkende GHG-kaart en de wettelijke richtlijn van 145 cm – mv.

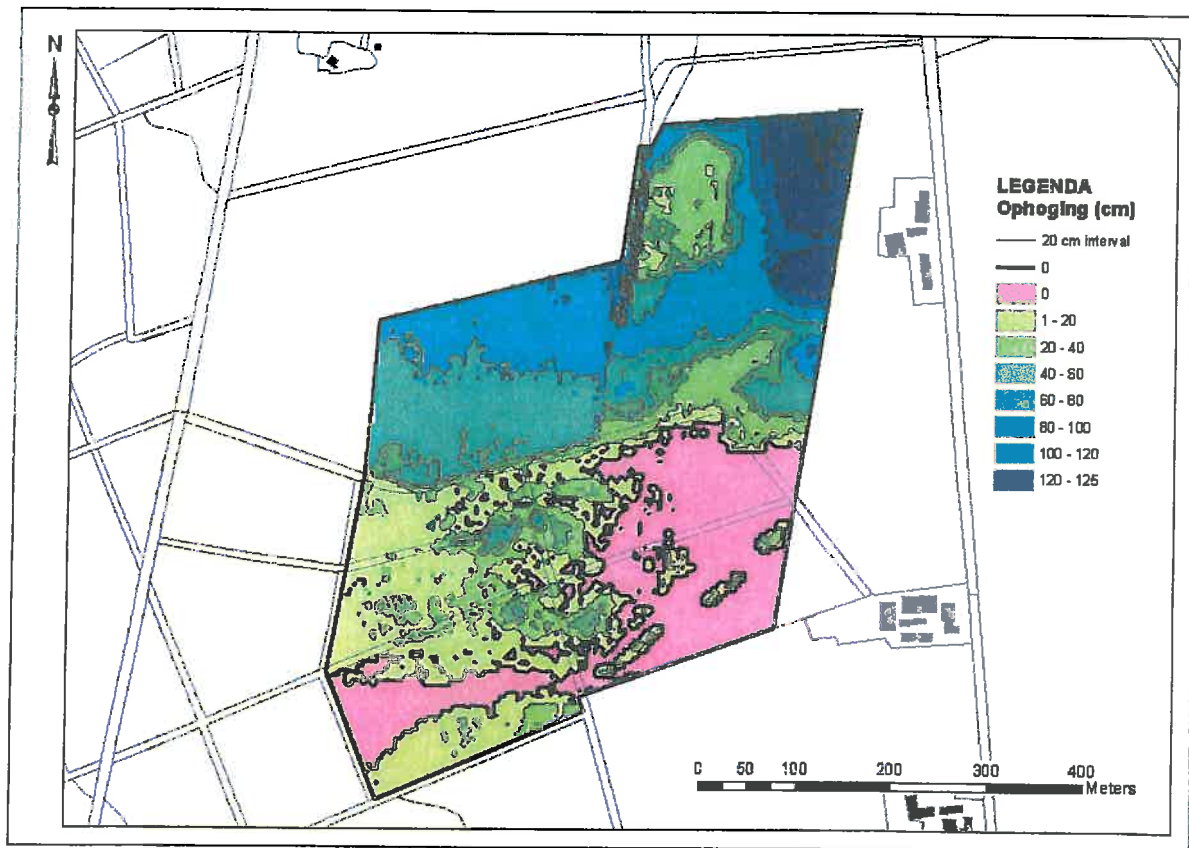
4.2.1 Ophoging van het gebied Franse Baan

De gebiedsdekkende GHG-kaart van het gebied Franse Baan is weergegeven op afbeelding 14.



Afbeelding 14 Gebiedsdekkende GHG-kaart van het gebied Franse Baan

Bij gebruik van de formule $Dikte_{ophooglos} = (145 - GHG_{huidig}) * 1,15$ kunnen we de GHG-kaart van afbeelding 14 omzetten in een grondophoogkaart (afb. 15).

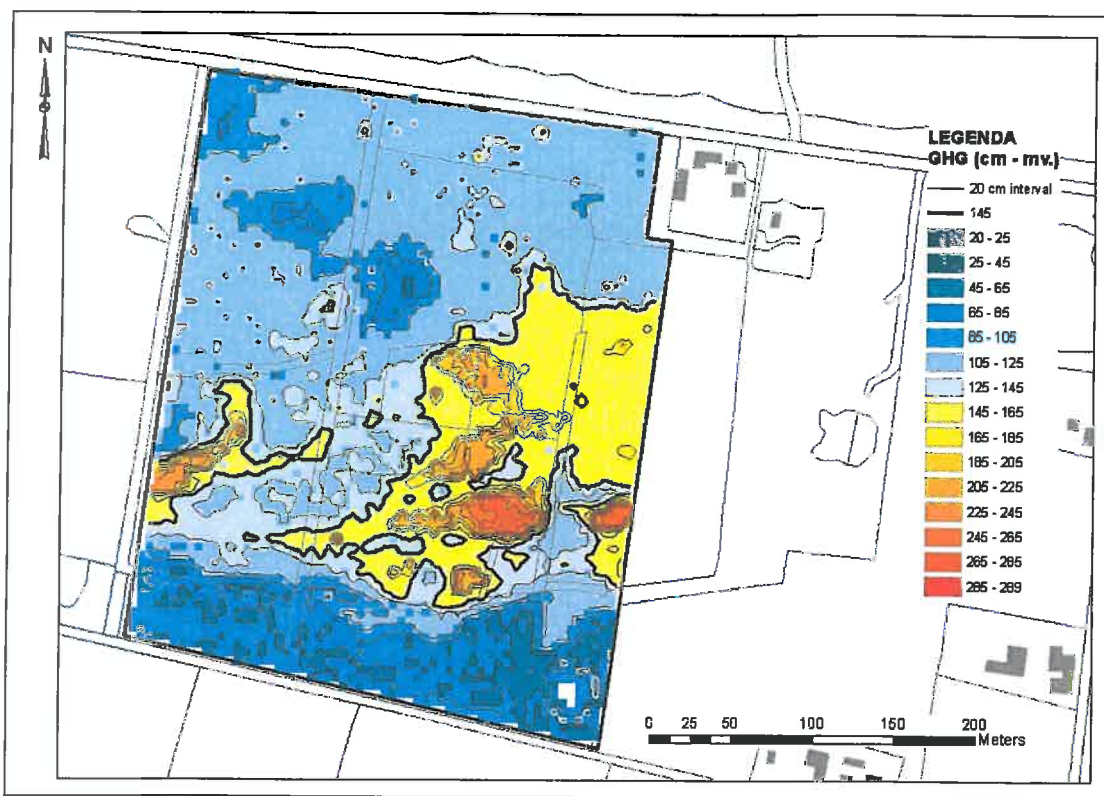


Afbeelding 15 Grondophoogkaart van het gebied Franse Baan

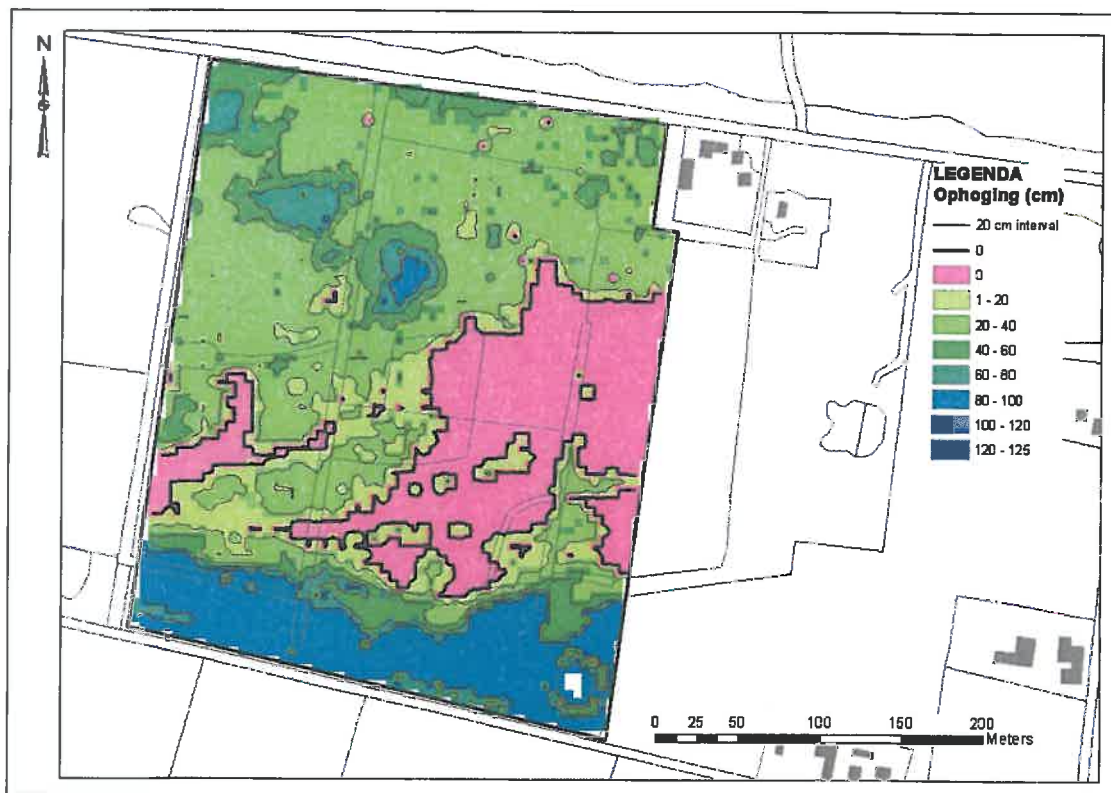
Voor zowel de gebiedsdekkende GHG-kaart als de grondophoogkaart geldt dat ze zijn afgeleid met behulp van het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN, 5 bij 5 meter grid). Dat betekent dat ook de GHG-kaart en de grondophoogkaart zijn opgebouwd uit rasters met gridcellen van 5 bij 5 meter. Het is dus vrij gemakkelijk om de totaal benodigde hoeveelheid grond te berekenen omdat voor elke gridcel van het raster de benodigde ophoging en de oppervlakte bekend zijn. Bij sommeren van al deze waarden blijkt dat voor Franse Baan in totaal 105.274 m³ grond nodig is om de toekomstige begraafplaats gebiedsdekkend geschikt te maken voor begraven. Het noordoostelijk gedeelte is vanwege de relatief lage en natte ligging ongeschikt voor ophoging. De vereiste ophoging bedraagt hier namelijk meer dan één meter. Een oplossing is om hier een poel te realiseren. In plaats van veel zand aan te voeren, levert het juist zand op zonder transportkosten. Verder levert de aanleg van een poel ook een winst voor de natuur op. Het is vrij gemakkelijk om de totaal benodigde grond opnieuw te berekenen bij aanpassingen van het bestemmingsplan.

4.2.2 Ophoging van het gebied Hooghei

Voor het gebied Hooghei zijn de gebiedsdekkende GHG-kaart en de grondophoogkaart weergegeven op resp. afbeelding 16 en 17.



Afbeelding 16 Gebiedsdekkende GHG-kaart van het gebied Hooghei



Afbeelding 17 Grondophoogkaart van het gebied Hooghei

Voor Hooghei is in totaal 34.649 m³ grond nodig om de toekomstige begraafplaats gebiedsdekkend geschikt te maken voor begraven.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, W.J.M. de Groot, H.R.J. Vroon, F.J.E. van der Bolt, A.J. van Kekem, 2010. *Stijghoogteverschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk*. Wageningen, Alterra. Rapport 1735.

Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. *Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus*. Wageningen, PUDOC.

Brouwer, F., J.A.M. ten Cate en A. Scholten, 1996. *Bodemgeografisch onderzoek in landinrichtingsgebieden; bodemvorming, methoden en begrippen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 157. Tweede, gewijzigde druk, bewerkt door J.A.M. ten Cate, H.Kleijer en J.Stolp.

Econsultancy, 2009. *Verkenkend bodemonderzoek Franse Baan 2 te Schaijk gemeente Landerd*. Boxmeer, Econsultancy. Rapport 09043177.

Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en M. Pleijter, 2006. *De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1335.

Heesen, H. van en G. Westerveld, 1966. *Karakterisering van het grondwaterstandsverloop op de bodemkaart*. Cultuurtechnisch tijdschrift, jaargang 5.

Heesen, H. van, 1971. *De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten*. Boor en Spade 17, p. 127 - 149. Wageningen, Stiboka.

Knibbe M. en B. Marsman, 1961. *Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden*. Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no. 16). Wageningen, Stiboka.

Milieuadviesbureau Öko-Care B.V., 7 februari 2013. *Rapportage onderzoek freatisch grondwaterpeil op de locatie Natuurbegraafplaats Hooghei te Berlicum*. RL10865A.

Milieuadviesbureau Öko-Care B.V., 8 maart 2013. *Rapportage onderzoek freatisch grondwaterpeil op de locatie Fransebaan 2 te Schaijk*. RL10985A.

Milon, 2009. *Verkenkend bodemonderzoek aan de Hooghei te Berlicum*. Schijndel, Milon. Projectnummer 294974.

Ritzema, H.P., G.B.M. Heuvelink, M. Heinen, P.W. Bogaart, F.J.E. van der Bolt, M.J.D. Hack-ten Broeke, T. Hoogland, M. Knotters, H.T.L. Massop en H.R.J. Vroon, 2012. *Metten en interpreteren van grondwaterstanden : analyse van methodieken en nauwkeurigheid*. Wageningen, Alterra. Rapport 2345.

Sluijs, P. van der en Th. Van Egmond, 1976. *Facetten van grondwatertrappen in zandgronden*. Wageningen, Stiboka. Rapport 1329.

- Sluijs, P. van der, 1982. *De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop*. H2O tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 15-3: 42-46.
- Sluijs, P. van der en H.C. van Heesen, 1989. *Veranderingen in de berekening van de GHG en GLG*. Landinrichting 29, 1: 18-21.
- Soesbergen, G. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.
- Stiboka, 1969. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Toelichting bij de kaartbladen 45 West 's-Hertogenbosch*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Stiboka, 1976. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Toelichting bij de kaartbladen 45 Oost 's-Hertogenbosch en 46 West/Oost*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Stol, P.H., 1960. *Grondwaterstanden onder verschillende klimatologische omstandigheden*. Overdruk uit het landbouwkundig tijdschrift 72 ste jaargang no. 18.
- Vroon, H.R.J. en G.H. Stoffelsen, 2012. *Verkenkend onderzoek naar de freatische grondwaterstand in het waterwingebied Mander (fase 1)*. Wageningen, Alterra. Rapport 2325.
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1992. *Cultuurtechnisch vademecum*. Utrecht, Vereniging voor Landinrichting. ISBN 90-9002366-6.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven en ondergrond in Nederland: De Staringreeks*. Wageningen, ICW en STIBOKA. ICW-rapport nr. 18 en STIBOKA-rapport nr. 1932.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterretentiekarakteristieken en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks*. Wageningen, Alterra-rapport nr. 153.

Aanhangsel 1

Algemene gegevens van de stambuizen..

Naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm)	Bovenkant buis (cm -mv.)	Onderkant filter (cm -mv.)	Filterlengte (cm)	Opmerking
B45F0667	172730	415490	1734	-9	-334	100	Metingen vanaf 06-07-2006
B45E0579	168914	415181	1711	-7	-389	50	Metingen vanaf 27-03-1974
B45E0603	162697	413291	607	-2	-207	50	Continue metingen vanaf 14-09-2006
B45B0464	157045	414264	591	76	-597	200	Metingen vanaf 28-11-2001

- **Naam:** Nummer of code van de peilbuis.
- **X-coördinaat:** X-coördinaat in meters.
- **Y-coördinaat:** Y-coördinaat in meters.
- **Hoogte mv. t.o.v. NAP (cm):** Hoogte van het maaiveld in cm t.o.v. NAP
- **Bovenkant buis (cm -mv.):** Bovenkant van de grondwaterstandsbuis in cm t.o.v. maaiveld
- **Onderkant filter (cm -mv.):** Onderkant filter in cm t.o.v. maaiveld
- **Opmerking:** Eventuele opmerkingen die relevant zijn voor de metingen.