

**PROJECT 'CAR' - FASE 1
'KARTERING SLECHT-DOORLATENDE LAAGPAKKETTEN VAN TERTIAIRE
FORMATIES'**

Rapport

**Rijks Geologische Dienst
Vestiging Heerlen
Postbus 126
6400 AC Heerlen**

Bibliotheek
Geowetenschappen
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken
Projectnummer: 4120006
Rapportnummer: GB 2514
Projectleider: C.N. Bremmer
Projectmedewerkers: H.J. Simmelink, A.H. Heidema, A. Hoogendoorn, H.J.M. Pagnier
Programma: Hydrogeologie en Milieu

VERZENDLIJST

- 1 Ministerie van Economische Zaken, Directie EE t.a.v. dr. H.T. Cahen
- 2 ECN t.a.v. dr. ing. J. Prij
- 3 TU-Delft, Faculteit Mijnbouwkunde t.a.v. prof.dr. T.D. Genschke
- 4 Programmabureau CORA
- 5-7 Rijks Geologische Dienst

INHOUD

	Samenvatting	6
1.	Inleiding	7
1.1	Algemeen	7
1.2	Doelstelling	7
2.	Uitgangspunten en werkwijze	8
2.1	Algemeen	8
2.1	Stratigrafische Nomenclatuur	8
2.2	Opbouw rapport	9
3.	Beschrijving van slecht-doorlatende laagpakketten van Tertiaire Formaties	12
3.1	Oosterhout-eenheid, Klei van Brunssum en Klei van Reuver	12
3.1.1	Stratigrafische positie en genese	12
3.1.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	12
3.1.3	Lithologie en structurele eigenschappen	13
3.1.4	Mineralogie	13
3.1.5	Geotechniek	13
3.2	Breda-eenheid	14
3.2.1	Stratigrafische positie en genese	14
3.2.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	14
3.2.3	Lithologie en structurele eigenschappen	15
3.2.4	Geotechniek	15
3.3	Klei van Veldhoven	15
3.3.1	Stratigrafische positie en genese	15
3.3.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	15
3.3.3	Lithologie en structurele eigenschappen	16
3.4	Klei van Boom	16
3.4.1	Stratigrafische positie en genese	16
3.4.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	17
3.4.3	Lithologie en structurele eigenschappen	17
3.4.4	Mineralogie	17
3.4.5	Geotechniek	18
3.5	Klei van Asse	19
3.5.1	Stratigrafische positie en genese	19
3.5.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	19
3.5.3	Lithologie en structurele eigenschappen	19
3.5.4	Mineralogie	20

3.	Beschrijving van slecht-doorlatende laagpakketten van Tertiaire Formaties (vervolg)	
3.6	Klei van leper	20
3.6.1	Stratigrafische positie en genese	20
3.6.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	20
3.6.3	Lithologie en structurele eigenschappen	21
3.6.4	Mineralogie	21
3.6.5	Geotechniek	21
3.7	Klei van Landen	22
3.7.1	Stratigrafische positie en genese	22
3.7.2	Verbreiding, diepteligging en dikte	22
3.7.3	Lithologie en structurele eigenschappen	22
4.	Discussie	24

BIJLAGEN

- 1a Diepteligging Top Oosterhout-eenheid/Klei van Brunssum/Klei van Reuver
- 1b Dikte Oosterhout-eenheid/Klei van Brunssum/Klei van Reuver
- 2a Diepteligging Top Breda-eenheid
- 2b Dikte Breda-eenheid
- 3a Diepteligging Top Klei van Veldhoven
- 3b Dikte Klei van Veldhoven
- 4a Diepteligging Top Klei van Boom
- 4b Dikte Klei van Boom
- 5a Diepteligging Top Klei van Asse
- 5b Dikte Klei van Asse
- 6a Diepteligging Top Klei van Ieper + Zand/Tuffiet van Dongen en Klei van Landen Noord van het Mid-Nederlands Hoog
- 6b Dikte Klei van Ieper + Zand/Tuffiet van Dongen en Klei van Landen Noorden van Mid-Nederlands Hoog
- 7a Diepteligging Top Klei van Landen ten zuiden van het Mid-Nederlands Hoog
- 7b Dikte Klei van Landen ten zuiden van het Mid-Nederlands Hoog

SAMENVATTING

Dit rapport geeft een overzicht van de dikte en de diepte tot de bovenzijde van kleipakketten van Tertiaire ouderdom in de ondergrond van het Nederlandse vasteland. Hiervoor zijn bestaande kaartbeelden uit het rapport 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' (RGD, 1984; rapport nr. OP 6009) gedigitaliseerd en verwerkt met het Geografisch Informatiesysteem ARC/INFO. De kaarten geven een beeld waar en op welke diepte kleipakketten voorkomen en welke dikte deze kleipakketten hebben. De digitale verwerking van de kaartbeelden maakt het mogelijk om de informatie direct beschikbaar te maken voor rekenmodellen waarmee geotechnische, hydrogeologische of risico analyses uitgevoerd kunnen worden. Tevens zijn de kaarten geschikt om samengestelde kaartbeelden te maken waarmee specifieke gebieden geselecteerd kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan gebieden waar kleipakketten voorkomen in het traject 500-750m -NAP met een minimale dikte van 100m.

De eenheden die in dit rapport aan de orde komen betreffen de Oosterhout-eenheid, de Breda-eenheid, de Klei van Veldhoven, de Klei van Boom, de Klei van Asse, de Klei van Ieper en de Klei van Landen. Van al deze eenheden is de diepte tot de bovenzijde en de dikte in kaartvorm toegevoegd. In het rapport wordt een korte beschrijving gegeven van stratigrafische positie en genese, verbreiding en dikte, lithologische eigenschappen, mineralogie en geochemie en van de geotechnische eigenschappen.

De nadruk in dit rapport ligt op de verbreiding en dikte van de slecht-doorlatende lagen van Tertiaire ouderdom. De gebieden waar deze eenheden ondiep (<500m) en diep (>500m) voorkomen worden afgebakend. Daarnaast worden gebieden waar de dikte van de kleipakketten meer dan 100m bedraagt aangegeven.

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Dit rapport beschrijft de verbreiding en dikte van kleipakketten van Tertiaire ouderdom in de ondergrond van het Nederlandse vasteland. De werkzaamheden voor dit rapport zijn uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken op basis van een projectvoorstel van de zijde van de Rijks Geologische Dienst (ons kenmerk: EdM/RM-962061).

Het project CAR beoogt een aardkundige verkenning van Tertiaire kleien als mogelijk alternatieve gastgesteenten ten behoeve van terugneembare opberging. De resultaten van het project CAR zullen als uitgangspunt gebruikt worden in het project METRO (studie naar de veiligheid en economische aspecten van terugneembare opberging in de diepe ondergrond) uitgevoerd door het ECN en het project TRAM (studie naar de geotechnische aspecten met betrekking tot vormen van terugneembare opslag), uitgevoerd door o.a. de Technische Universiteit Delft.

In het project CAR worden de volgende fasen onderscheiden:

- fase 1 - compilatie van bestaande gegevens
- fase 2 - literatuurstudie en kartering Tertiaire kleipakketten in het Noordzeebekken
- fase 3 - studie van lithologische eigenschappen met betrekking tot terugneembare opslag
- fase 4 - eindrapportage

Het voorliggende rapport heeft betrekking op de werkzaamheden voor fase 1 en beoogt het, op basis van bestaande kaartinformatie, in kaart brengen van verbreiding en dikte van de kleipakketten van Tertiaire ouderdom in de ondergrond van het vasteland van Nederland. De kaarten die hiervoor vervaardigd zijn, zijn digitaal opgeslagen en kunnen in een digitaal format aangeleverd worden voor gebruik in de projecten METRO en TRAM. Voor de kaartbeelden is uitsluitend gebruik gemaakt van het kaartmateriaal van het rapport 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' (RGD, 1984; Rapport nr. OP 6009). De kaartbeelden, behorende bij dit rapport, zijn met ARC/INFO[®] gedigitaliseerd en voor reproductie en gebruik geschikt gemaakt.

In Fase 2 tot en met 4 worden deze kaartbeelden geactualiseerd en wordt een inventarisatie gemaakt van lithologische, geotechnische en hydrogeologische gegevens van de kleipakketten van Tertiaire ouderdom. Voor deze werkzaamheden is nog geen opdracht verleend.

1.2 Doelstelling

Het, op basis van bestaande kaartinformatie, in digitale vorm opslaan van verbreidings- en diktegegevens van kleipakketten van Tertiaire ouderdom.

2. UITGANGSPUNTEN EN WERKWIJZE

2.1 *Algemeen*

De kaartbeelden die in dit rapport gepresenteerd worden zijn gebaseerd op kaartbeelden uit het rapport 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' (RGD, 1984; rapport no. OP-6009). Bij de totstandkoming van dat rapport is een aantal uitgangspunten geformuleerd:

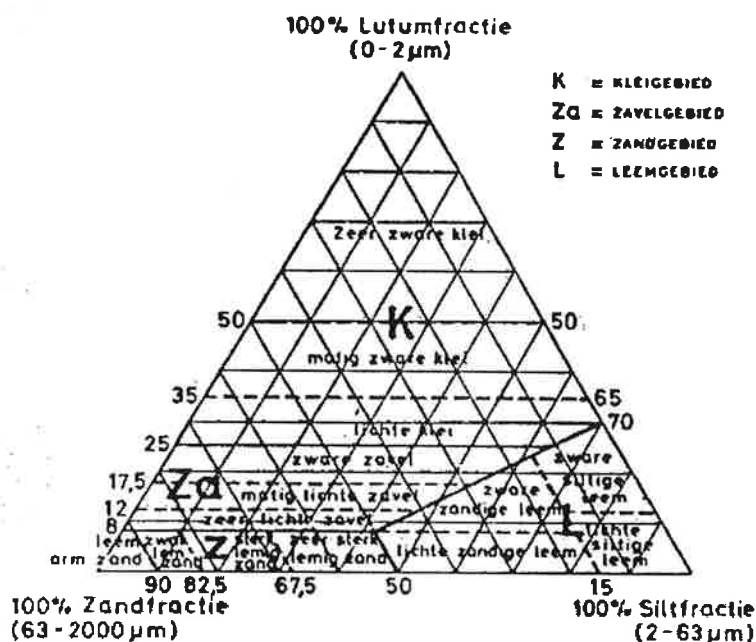
1. De inventarisatie heeft een algemeen karakter en is niet gericht op één of enkele specifieke toepassingsgebieden.
2. De inventarisatie is, wat betreft boor- en geofysische gegevens, uitsluitend gebaseerd op beschikbare gegevens.
3. In deze inventarisatie werden alleen slecht-doorlatende laagpakketten betrokken:
 - kleisteen (schalie)
 - steenzout
 - kleiMergel, krijtkalk en kalksteen zijn niet in deze studie betrokken omdat de permeabiliteit van deze gesteentesoorten van plaats tot plaats sterk kan verschillen.
4. Tevens zijn alleen laagpakketten beschouwd waarvan uit de boorbeschrijving of uit de geofysische boorgatmeting duidelijk blijkt dat deze in eerste instantie als **klei(steen) of schalie** (al dan niet zandig, lemig, grindig of venig) omschreven kunnen worden. De als sterk zandig beschreven klei(steen)pakketten zijn buiten beschouwing gelaten. De exacte definitie van het begrip klei in lithologische termen wordt met de driehoek in figuur 1 gegeven. De drie hoekpunten vormen de eindleden van een menging van zand, silt en klei nl.: 100% zand, 100% silt en 100% klei. De begrippen zand, silt en klei hebben betrekking op de korrelgrootte: zand 63-2000 μ m, silt 2-63 μ m en klei < 2 μ m.
5. De minimale te karteren dikte bedraagt 25m voor dieptes minder dan 500m. Voor dieptes meer dan 500m geldt dat de minimaal te karteren dikte 50m bedraagt.

2.2 *Stratigrafische Nomenclatuur*

In dit rapport wordt een beschrijving van de ligging, verbeiding en dikte van een aantal Tertiaire laagpakketten gegeven. Deze laagpakketten nemen een bepaalde, afgebakende positie ten opzichte van elkaar in. Dit geldt zowel in plaats als in ouderdom en als zodanig kunnen deze laagpakketten dan ook gekarakteriseerd en benoemd worden. Dit wordt de stratigrafie van de ondergrond genoemd. Een globaal overzicht van de stratigrafie van de Nederlandse ondergrond wordt in figuur 2 gegeven. Hierin is aan de linkerzijde een kolom met tijdvakken te zien. De figuur zelf geeft de ligging van de belangrijkste stratigrafische eenheden aan, zowel in ruimte (verdeeld over de as ZO-NW Nederland) als in tijd. In dit rapport gaat het om de volgende eenheden (van jong naar oud):

1. Oosterhout-eenheid
2. Breda-eenheid
3. Klei van Veldhoven
4. Klei van Boom
5. Klei van Asse
6. Klei van Ieper
7. Klei van Landen

- Pliocene (1,5-5 miljoen jaar)
 Mioceen (5-23 miljoen jaar)
 Laat-Oligoceen (23-30 miljoen jaar)
 Oligoceen (30-35 miljoen jaar)
 Laat-Eoceen (35-42 miljoen jaar)
 Vroeg-Eoceen (50-57 miljoen jaar)
 Laat-Paleoceen (57-61 miljoen jaar)

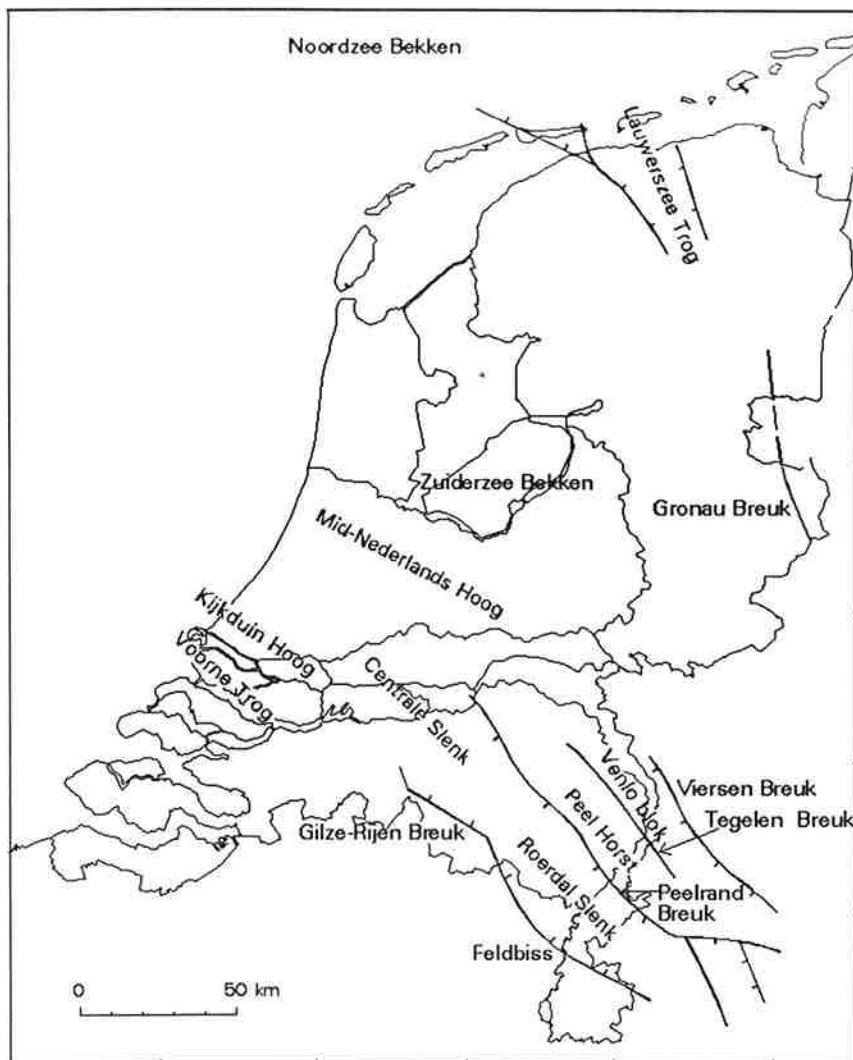


Figuur 1 - Lithologische classificatiedriehoek op basis van de korrelgrootteverdeling

2.3 Opbouw Rapport

In het rapport worden de slecht-doorlatende laagpakketten van Tertiaire ouderdom van jong naar oud behandeld. Hierbij wordt aandacht besteed aan de stratigrafische ligging en genese, verbreiding en dikte, lithologie, mineralogie en geochemie en aan de geotechnische eigenschappen. Niet al deze onderwerpen konden even uitgebreid behandeld worden omdat niet van alle laagpakketten een even uitvoerige kennis bestaat. Zo zijn verbreiding, lithologie en dikte van de jongere pakketten veel beter bekend omdat deze lagen zich ondieper bevinden dan de oudere en daardoor beter toegankelijk voor onderzoek zijn. Van de Klei van Boom is weer relatief betrekkelijk veel bekend omdat deze laag, om geotechnische redenen en redenen die samenhangen met opberging, in België relatief intensief onderzocht is.

Waar van de laagpakketten mineralogische, geochemische of geotechnische gegevens benoemd werden in het rapport 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' zijn deze gegevens ook in dit rapport overgenomen. De nadruk van dit rapport ligt echter op de verbreiding, dikte en lithologische eigenschappen van de laagpakketten. De stratigrafische positie en genese worden beschreven teneinde de laagpakketten in hun geologische context te kunnen plaatsen.



Figuur 3 - Ligging van de in dit rapport aangehaalde structurele eenheden

In de tekst wordt verwezen naar een aantal structurele eenheden in de Nederlandse ondergrond. Hiermee worden gebieden bedoeld die opgeheven of gedaald zijn. De opheffing of daling kan in een ver geologisch verleden hebben plaats gehad en nu geen rol meer spelen. Bij het karteren van de laagpakketten moet met deze opheffings- en dalingsgeschiedenis van de Nederlandse ondergrond wel rekening gehouden worden. Zo zullen na een opheffingsfase de gesteenten in het opgeheven gebied bloot komen te staan aan verwering terwijl in de dalingsgebieden dikke pakketten sediment afgezet worden. De ligging van de belangrijkste opheffings- en dalingsgebieden die ook in de tekst aan de orde komen wordt in figuur 3 weergegeven.

3. Beschrijving van slecht-doorlatende laagpakketten van Tertiaire Formaties

3.1 *Oosterhout-eenheid, Klei van Brunssum en Klei van Reuver*

De Oosterhout-eenheid, Klei van Brunssum en Klei van Reuver zijn wegens het ontbreken van overlap in verbreiding en de bij benadering gelijke ouderdom, in één hoofdstuk en op één kaart samengenomen. De kaarten 'Diepte tot top Oosterhout-eenheid/Klei van Brunssum/Klei van Reuver' en 'Dikte Oosterhout-eenheid/Klei van Brunssum/Klei van Reuver' zijn respectievelijk als bijlage 1a en 1b bijgesloten.

3.1.1 Stratigrafische positie en genese

Op basis van genese kan er onderscheid gemaakt worden tussen de Oosterhout-eenheid, welke van mariene oorsprong is, enerzijds en de Klei van Brunssum en de Klei van Reuver, welke een fluviaatiele oorsprong hebben, anderzijds.

De Oosterhout-eenheid wordt aan de bovenzijde afgedekt door de Formatie van Maassluis. Waar de kleien uit de Formatie van Maassluis overgaan in de kleien van de Formatie van Oosterhout zijn deze kleien samengevoegd als behorend tot de Oosterhout-eenheid. In Oost- en Noord-Nederland gaat de Oosterhout-eenheid lateraal over in de Formatie van Scheemda, welke zandig ontwikkeld is en van continentale oorsprong. Er bestaat onzekerheid over de uitbreiding van de marien ontwikkelde Oosterhout-eenheid in Noordoost-Nederland, daar waar een duidelijke uitbreiding in oostelijke richting op de bijlage is aangegeven. In de inventarisatiestudie 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' (RGD, 1985) wordt deze oostelijke uitbreiding als onderdeel van de Oosterhout-eenheid gezien en als zodanig ook gekarteerd. Echter, niet geheel onwaarschijnlijk is dat dit deel van de Oosterhout-eenheid gekarteerd moet worden als glaciale geulen van de Formatie van Peelo.

Aan de onderzijde ligt de Formatie van Oosterhout over het algemeen op de mariene afzettingen van de Formatie van Breda.

In Zuidoost-Nederland wordt binnen de Kiezeloöliet Formatie de Klei van Brunssum aangetroffen. Deze Klei is in een continentaal milieu afgezet ten tijde van de vorming van de Formatie van Oosterhout.

3.1.2 Verbreiding, diepteligging en dikte

Ondanks het feit dat de Oosterhout-eenheid als een aaneengesloten kleipakket op de bijlage is weergegeven is het waarschijnlijk dat deze eenheid bestaat uit verschillende kleipakketten onder geringe helling, gescheiden door zandlagen. De studie laat niet toe dit in detail te karteren. De diepte tot de top van de Oosterhout-eenheid neemt vanaf de zuidelijke en zuidoostelijke verbreidingsgrens geleidelijk toe van ca. 150m -NAP tot ca. 500m -NAP in de Kop van Noord-Holland. In het verbreidingsgebied van Noord-Nederland neemt de diepte tot de top van de Oosterhout-eenheid van oost naar west toe tot ca. 600m -NAP nabij Terschelling.

De dikte van de Oosterhout-eenheid neemt in algemene zin toe in noordwestelijke richting. De grootste dikten komen voor nabij Den Haag (ca. 140m), Rotterdam (ca. 175m) en Alkmaar (ca. 280m). Ten westen van Harlingen ligt een NW-ZO georiënteerd gebied waar de dikte over korte afstand toeneemt van 50m tot ca. 200m. In het overige deel van Noord-Nederland bedraagt de dikte zelden meer dan 50m.

In twee, op de bijlage met een apart symbool aangegeven gebieden, ligt de Oosterhout-eenheid direct op de kleien van de Formatie van Breda.

In de omgeving van Nederweert en Roermond zijn voorkomens aangetroffen van de Klei van Brunssum met een dikte van meer dan 25m. De diepte tot de top van de Klei van Brunssum varieert in deze gebieden van 14m tot ca. 105m -NAP. In de omgeving van Schinveld komt de Klei van Brunssum aan de oppervlakte voor en kan een dikte hebben oplopend tot 40m.

3.1.3 Lithologie en structurele eigenschappen

De kleien van de Oosterhout-eenheid zijn zandig ontwikkeld en bevatten aan de basis veel glauconiet waardoor ze groen van kleur zijn. Voor het overige is de kleur licht- tot donkergrijs en wordt in de Oosterhout-eenheid pyriet, glimmer en plantenresten aangetroffen. In het Zuiderzeebekken wordt een afwisseling van zand- en kleipakketten aangetroffen. Hier is de top en basis zandig ontwikkeld en is de basislaag rijk aan schelpfragmenten en andere resten van mariene organismen. In Noord-Nederland, het Waddengebied en de Kop van Noord-Holland bevinden zich tevens kleipakketten die gescheiden zijn door zandpakketten. De onderste kleilaag, die naar onder toe steeds kleiiger wordt, gaat hier vaak over in de kleien van de Formatie van Breda. In delen van de provincie Zuid-Holland en in het zuidwestelijk deel van de provincie Utrecht is de klei sterk zandig ontwikkeld.

De Klei van Brunssum bestaat overwegend uit grijze en donkergrijsbruine kleien waarin frequent bruinkool of sterk humeuze lagen voorkomen. Tevens komen in de Klei van Brunssum veel zandinschakelingen voor zodat maar in enkele, kleine gebieden, sprake is van een homogeen kleipakket met een dikte van 25m of meer.

3.1.4 Mineralogie

Enkel van de Klei van Brunssum zijn mineralogische en geochemische gegevens bekend. Hieruit blijkt dat de Klei van Brunssum (in gewichtspercentage droge stof) voor $\pm 45\%$ uit kwarts bestaat, voor $\pm 40\%$ kaoliniet en voor $\pm 10\%$ uit illiet en mica. Het restant is chloriet, veldspaat en rutiel. De geochemische samenstelling (wederom in gewichtspercentage droge stof) bestaat voor het grootste deel uit de componenten SiO_2 ($\pm 65\%$) en Al_2O_3 ($\pm 20\%$) en slechts voor een klein deel uit ijzer ($\pm 2\%$) en aardalkalimetalen ($\pm 3,5\%$). Het restant komt ongeveer overeen met het gloeiverlies.

3.1.5 Geotechniek

De klei van de Oosterhout-eenheid heeft een relatief geringe sterkte en hoog watergehalte. Met een zakpenetrometer is een ongedraineerde schuifsterkte, C_u , van $\pm 100\text{kN/m}^2$ gemeten bij een watergehalte van $\pm 25\%$. Dit wordt verklaard uit de zandigheid van de klei waardoor slechts een geringe mate van compactie wordt bereikt. De hydraulische doorlatendheid wordt geschat op 10^{-7} tot 10^{-9} m/sec.

3.2 Breda-eenheid

De Breda-eenheid maakt onderdeel uit van de Formatie van Breda, welke afgezet is gedurende het Mioceen. De kaarten 'Diepte Top Breda-eenheid' en 'Dikte Breda-eenheid' zijn respectievelijk als bijlage 2a en 2b bijgevoegd.

3.2.1 Stratigrafische positie en genese van de Formatie van Breda

De Formatie van Breda is in een marien milieu afgezet. Ten zuiden van de grote rivieren worden in de Centrale Slenk zeer dikke pakketten mariene afzettingen van de Formatie van Breda aangetroffen. In een aantal boringen in dit gebied zijn kleipakketten van circa 50 m aangetroffen doch deze zijn op basis van de beschikbare gegevens niet te correleren. In gebieden ten westen en ten oosten van de Centrale Slenk, met name op de Peelhorst en in de Venlo Slenk, is de Formatie van Breda veel dunner en voornamelijk grofkorrelig ontwikkeld. In de richting van het Zuiderzeebekken wordt de Formatie van Breda geleidelijk kleiiger. In het centrale deel van dit bekken kan de Formatie van Breda onderscheiden worden in een zandig bovenste deel en een kleiïge basis. Buiten het centrum van dit bekken, naar de randen toe, wordt het zandige deel dunner of ontbreekt het. Dit laatste is het geval ter plaatse van het Mid-Nederlands Hoog en het Kijkduin Hoog.

Aan de onderzijde van de Formatie van Breda gaan de kleiïge lagen geleidelijk over in de Klei van Veldhoven (zie paragraaf 2.3). Deze overgang verloopt minder continu naar de bekkenranden toe en in het noorden.

Ten tijde van de afzetting van de Formatie van Breda is eveneens de Formatie van Heksenberg (gedurende het Vroeg- en Midden-Mioceen) afgezet, welke in en ten zuidoosten van de Centrale Slenk wordt aangetroffen. De Formatie van Heksenberg is echter in een continentaal milieu afgezet en bestaat voornamelijk uit zanden en bruinkoolhoudend materiaal.

3.2.2 Verbreiding, diepteligging en dikte van de Breda-eenheid

Zoals hiervoor is aangegeven is in de Centrale Slenk in slechts enkele boringen een kleipakket van circa 50 m dikte aangetroffen, liggend op een diepte variërend tussen de 400 m en 600 m -NAP. Het bleek niet mogelijk om op basis van de beschikbare gegevens deze kleipakketten te correleren, rede waarom in dit deel van Nederland de ligging van de bovenkant van de Breda-eenheid en de dikte op de kaarten als 'onzeker' is weergegeven. In het centrum van het bekken ligt de bovenkant het diepst, namelijk op 800 m -NAP in de nabijheid van Hoorn. Naar het zuiden loopt de diepte op tot 300 m -NAP nabij Breda; naar het oosten, in Gelderland en Overijssel, tot 100 m -NAP. In westelijk Noord-Holland ligt de bovenzijde van de Breda-eenheid op maximaal 650 m -NAP en in Noord-Nederland op maximaal 200 m -NAP.

De grootste dikten van de Breda-eenheid, circa 350 m, worden aangetroffen ter plaatse van Zuidelijk Flevoland. Naar het zuidwesten en oosten neemt de dikte af tot aan de verbreidingsgrens. Naar het noorden neemt de dikte af tot ongeveer 50 m. In de provincies Groningen en Friesland worden echter nog dikten aangetroffen van circa 100 tot 150 m met een maximum van 200 m nabij Heerenveen, terwijl tussen Ameland en Schiermonnikoog lokaal dikten van circa 300 m zijn aangetroffen.

3.2.3 Lithologie en structurele eigenschappen van de Breda-eenheid

In de Centrale Slenk bestaat de Breda-eenheid uit slecht correleerbare pakketten van glauconiethoudend, meest kleiig, silthoudend zand gescheiden door glauconiethoudende, zandige kleipakketten. Meer naar het noorden en noordwesten komt bijna uitsluitend glauconiethoudende, zandige klei voor.

In het gebied tussen Twente/Achterhoek en het centrum van het Zuiderzee-bekken is de kleiïge basis te verdelen in een onderste deel bestaande uit donkergroengrijze tot groenbruine klei met een zandige onderlaag en een bovenste deel (50 tot 100 m dik) dat is opgebouwd uit donker bruinzwarte tot donker groengrijze klei met hier en daar fijnzandige laagjes. Van belang voor het onderscheid tussen deze twee eenheden is dat de onderste eenheid kalkrijk is, terwijl de bovenste eenheid geheel kalkloos is.

3.2.4 Geotechniek van de Breda-eenheid

Op een kleimonster uit de boring Ockenburg (30D-206) van een diepte van 433 m -NAP werden de plasticiteitsgrenzen bepaald: LL = 70,5%, PL = 25,6% en PI = 44,9%.

3.3 *Klei van Veldhoven*

De Klei van Veldhoven behoort samen met het Zand van Voort tot de Formatie van Veldhoven. De Formatie van Veldhoven is afgezet gedurende het Boven-Oligoceen en Onder-Mioceen. De kaarten 'Diepte Top Klei van Veldhoven' en 'Dikte Klei van Veldhoven' zijn respectievelijk opgenomen als bijlage 3a en 3b.

3.3.1 Stratigrafische positie en genese

Voorafgaande aan de afzetting van de Klei van Veldhoven werden in Zuid-Nederland in een ondiep marien milieu zanden afgezet die bekend staan onder de naam Zand van Voort. Deze zanden vormen in dit deel van Nederland de overgang naar het veelal zandige bovenste deel van de onderliggende Klei van Boom maar wiggen in noordelijke richting uit. Derhalve ligt de Klei van Veldhoven in Noord-Nederland direct op de Klei van Boom.

Het zwaartepunt van de sedimentatie van de Klei van Veldhoven lag in de Centrale Slenk en het Peelgebied. Naderhand is een groot deel van de oorspronkelijk afgezette kleien door erosie verwijderd.

3.3.2 Verbreiding, diepteligging en dikte

De Gilze-Rijen storing, die in noordwest-zuidoostelijke richting door Brabant loopt, vormt de zuidwestelijk begrenzing van de Klei van Veldhoven. In Noord Nederland, het westelijk deel van de provincie Noord-Holland en in oostelijk Overijssel wordt de Klei van Veldhoven niet aangetroffen. Ten zuiden van Amsterdam en op de Peelhorst komen gebieden voor waar de Klei van Veldhoven lokaal niet wordt aangetroffen.

De bovenzijde van de Klei van Veldhoven wordt in de Centrale Slenk op de grootste diepte aangetroffen, namelijk op maximaal 1400 m -NAP. Op de Peelhorst bedraagt de diepte tot de bovenzijde slechts 150 m. Het grote verschil in diepteligging is een direct gevolg van de sterke

verticale beweging langs de breuken in dit gebied. Langs de Peelrandbreuk heeft een verplaatsing van de Klei van Veldhoven van circa 450 m plaats gevonden, wat meer is dan de dikte van het pakket. Hierdoor komt de Klei van Veldhoven in dit gebied lateraal niet-aaneengesloten voor. Dit is eveneens het geval in de regio Utrecht.

Ter plaatse van de Flevopolders ligt de bovenzijde van de Klei van Veldhoven op ongeveer 1150 m -NAP. In noordelijke richting neemt de diepte uiteindelijk af tot circa 850 m -NAP.

De grootste dikten van de Klei van Veldhoven worden aangetroffen in het Zuid-IJsselmeer/Veluwe-bekken ten noordwesten van Arnhem waar een dikte van ruim 150 m is waargenomen. Op de Peelhorst kan een scheiding tussen het kleiig zand van het Zand van Voort en de zandige klei van de Klei van Veldhoven op basis van beschikbare gegevens niet gemaakt worden. Daarom zijn deze eenheden bij de vervaardiging van de kaart samengenomen wat een totale dikte van meer dan 150 m oplevert. Ter plaatse van de Flevopolders wordt een dikte van meer dan 100 m bereikt. In de Centrale Slenk wordt eveneens een dikte van circa 100 m aangetroffen. De Klei van Veldhoven kan hier, door een uitgebreid breukstelsel, moeilijk vervolgd worden. Op de kaart is de dikte daarom als 'onzeker' weergegeven.

3.3.3 Lithologie en structurele eigenschappen

De Klei van Veldhoven is een glauconiethoudende, siltige of zandige klei. In het centrum van het bekken in Midden-Nederland zijn zand en silt in dunne laagjes en lenzen aanwezig. Naar het oosten lijkt de klei in de nabijheid van de paleo-bekkenrand zandiger te worden. Op basis van het voor deze studie gebruikte materiaal kan van de Klei van Veldhoven vooralsnog geen mineralogische, geochemische of geotechnische beschrijving gemaakt worden.

3.4 *Klei van Boom*

De Klei van Boom en het onderliggende Zand van Berg maken onderdeel uit van de Formatie van Rupel, welke afgezet is in het Vroeg- en Midden Oligoceen, ongeveer 35-30 miljoen jaar oud. De kaarten 'Diepte Top Klei van Boom' en 'Dikte Klei van Boom' zijn toegevoegd als bijlagen 4a en 4b.

3.4.1 Stratigrafische positie en genese

De Formatie van Rupel is een mariene eenheid, gelijktijdig afgezet in een ondiepe zee ter plaatse van Zuid-Nederland en Noord-België, en op de overgang naar het diepe Noordzee bekken ten noorden hiervan. Voorafgaand aan de afzetting van de Formatie van Rupel vond een fase van tektonische opheffing en relatieve zeespiegeldaling plaats, resulterend in de vorming van het Mid-Nederlands Hoog. Ter plaatse van dit relatief hoger gelegen gebied ontwikkelde zich een sterke mate van erosie waardoor oudere Tertiaire formaties afwezig waren tijdens de afzetting van de Formatie van Rupel en deze plaatselijk direct op oudere afzettingen uit het Krijt kwam te liggen. Rond de overgang Oligoceen/Mioceen vond weer een fase van opheffing plaats waardoor de Klei van Veldhoven deels of geheel en de Klei van Boom deels weggeërodeerd werden. In de gebieden waar de Klei van Veldhoven volledig weggeërodeerd is liggen de kleien van de Formatie van Breda direct op de Klei van Boom.

3.4.2 Verbreiding, diepteligging en dikte

De Klei van Boom komt onder het grootste deel van het vasteland van Nederland voor. De zuidelijke verbreidingsgrens loopt in oost-west richting over noord-België. In westelijk richting komt de Klei van Boom ook voor in het Noordzeebekken.

In zuidwest-Nederland helt de bovenkant van de Klei van Boom vanaf de Nederlands-Belgische grens naar het noordoosten en bereikt een diepte van circa 500m bij Rotterdam. In de Centrale Slenk komt de bovenkant van de Klei van Boom op de voor het Nederlandse vasteland grootste diepte voor, 1700m, waarbij het diepste punt ten zuidwesten van Boxtel ligt. De Klei van Boom is hier ook doorsneden door een uitgebreid breukensysteem dat een noordwest-zuidoost oriëntatie heeft. Ter plaatse van het Mid-Nederlands Hoog, voornamelijk in de provincies Zuid Holland en Utrecht, varieert de diepte tot de bovenzijde van de Klei van Boom van circa 400 tot 800m. Ten noorden van het Mid-Nederlands Hoog, ter plaatse van het Zuid-IJsselmeer/Veluwebekken, bereikt de top van de Klei van Boom diepten tot 1250m. In noord-Nederland is het verloop van de ligging van de bovenkant van de Klei van Boom grillig, mede ten gevolge van de aanwezigheid van meerdere zoutdiapieren. Deze zijn op enkele plaatsen door de Klei van Boom heen geperst waardoor de Klei van Boom lokaal afwezig kan zijn. Ten zuidoosten van Den Haag is de Klei van Boom tengevolge van erosie niet aanwezig.

De Klei van Boom bereikt de grootste dikten in het Peelgebied (100-150m), de Noordoost-Polder (150m), in de omgeving van Arnhem (250m) en ten zuiden van Schiermonnikoog (275m).

3.4.3 Lithologie en structurele eigenschappen

De klei van Boom bestaat aan de top uit een zandig gedeelte van 10-25m dikte. Naar onder toe gaat de Klei van Boom over in een siltig, een kleilig en aan de basis weer een siltig niveau. In de klei komen siltiger en kleiiger zones voor. Deze afwisseling van silt-klei is zowel te zien op een schaal van een gelaagdheid van 5-10 cm als in dikkere pakketten van 2-3 m.

Op basis van onderzoek op monsters uit de nabijheid van Mol, België, wordt afgeleid dat het kleipercantage in de zandige overgangszone aan de top varieert tussen de 20 en 45%. In de siltige en meer kleilige niveaus varieert het kleigehalte tussen de 44-60%. Gemiddeld bedraagt het kleigehalte echter 49%. Korrelgrootte-analyses op monsters uit de Achterhoek laten eveneens een hoog kleigehalte zien (circa 60%). In de Klei van Boom komen kalkrijke niveaus voor met septariaknollen of -platen variërend in diameter van circa 0,1 tot 1,5m en in dikte van 0,1 tot 0,3m. De klei is fijngelaagd, met name waar de klei zandig ontwikkeld is. In de ondiep gelegen delen van de Klei van Boom blijken in klei scheuren of scheurtjes voor te komen.

3.4.4 Mineralogie

In de Klei van Boom worden pyriet, in pijpjes van 1 tot 2 mm diameter en enkele centimeters lengte, en markasiet als mineraalconcentraties aangetroffen. Daarnaast wordt de kleifractie gekarakteriseerd door het hoge percentage smectiet en intermediaten. Met name smectiet heeft een hoog specifiek oppervlak en een sterk zwellend vermogen onder bevochtiging of door kationuitwisseling.

3.4.5 Geotechniek

Van de geotechnische eigenschappen van de Klei van Boom zoals deze onder Nederland voorkomt, is in het kader van deze studie geen nieuw materiaal verzameld zodat de geotechnische eigenschappen beschreven worden aan de hand van de resultaten welke verwerkt zijn in het rapport 'Inventarisatie van slecht-doorlatende laagpakketten in de ondergrond van het Nederlandse vasteland' (RGD, 1984).

Uit boringen en uit groeves in de Achterhoek is bekend dat de klei in Nederland, zoals ook bekend is uit monsters uit België, als zeer stijf tot hard te karakteriseren is. Een oorspronkelijk grotere kleidikte dan de huidige, gereduceerd door erosie tijdens de opheffing gedurende het Boven-Oligoceen/Onder-Mioceen, wordt naast overconsolidatie door miocene zanden als oorzaak van deze stijfheid beschouwd. In onderstaande tabel wordt het bereik van een aantal geotechnische parameters aangegeven. De analyses zijn uitgevoerd op in totaal 7 monsters uit de omgeving van Antwerpen, Oosterweel en Mol. Verwacht mag worden dat op basis van uitgebreid literatuuronderzoek een groter aantal meetgegevens verkregen kan worden, met name ook voor de Nederlandse ondergrond, op basis waarvan de parameterwaarden een ander bereik toegekend dienen te worden. Als een algemene indruk kunnen de waarden in onderstaande tabel echter wel voldoen.

Op basis van de waarden voor de LL, PI en LI kan de klei, in ieder geval deels, ingedeeld worden in de categorie van anorganische kleien met een hoge plasticiteit. De invloed van de gescheurdheid van de klei laat zich aantonen aan de hand van een vergelijking van de resultaten van doorlatendheidsproeven onder alzijdige druk in een triaxiaalcel en zonder deze druk. In het eerste geval ligt de doorlatendheid in de orde van 10^{-10} m/sec, in het tweede in de orde van 10^{-9} m/sec.

diepte (m -mv)	0-260
$< 2\mu$ (%)	49-62
LL (%)	60-81
PL (%)	26-30
PI (%)	35-53
Activiteit	0,65-1,06
Wn (%)	23-32
γ_s (kN/m ²)	19-20,1
γ_d (kN/m ²)	14,6-16,5
Cu (kN/m ²)	80-760
C'-cu (kN/m ²)	100-250
ϕ' -cu (°)	17-25
K (m/sec)	10^{-9} - 10^{-11}
Thermische geleiding (W/m°C)	100 °C: 0,30 200 °C: 0,44
Specifieke warmte (Wn/kg°C)	25 °C: 0,26 275 °C: 0,41

3.5 *Klei van Asse*

De Klei van Asse behoort tot het bovenste deel van de Formatie van Dongen welke afgezet is gedurende het Boven Eoceen. De kaarten 'Diepte Top Klei van Asse' en 'Dikte Klei van Asse' zijn toegevoegd als bijlagen 5a en 5b.

3.5.1 Stratigrafische positie en genese

De Klei van Asse werd afgezet in een ondiep marien, laag energetisch milieu, tijdens de laatste Eocene transgressie van de zee. Zoals alle Paleocene en Eocene afzettingen wordt de Klei van Asse gekenmerkt door haar aanwezigheid in twee afzonderlijke gebieden: een bekken ten zuiden van het Mid-Nederlands Hoog en een bekken ten noorden hiervan. Na het Eoceen, het tijdvak waarin onder andere de Klei van Asse is afgezet, is door opheffing van het Mid-Nederlands Hoog de Klei van Asse grotendeels weggeërodeerd waardoor de verbreidingsgebieden ten noorden en ten zuiden van het Mid-Nederlands Hoog het verst uit elkaar kwamen te liggen in vergelijking met oudere Tertiaire kleipakketten.

3.5.2 Verbreiding, diepteligging en dikte

Ten zuiden van het Mid-Nederlands Hoog, ongeveer ter hoogte van de lijn Delft-Dordrecht, wigt de Klei van Asse tegen dit hoog uit. Het wordt hier aan de oostzijde begrensd door de Gilze-Rijen breuk. Aan de noordflank van het Mid-Nederlands Hoog verloopt de verbreidingsgrens van de Klei van Asse globaal over de lijn Schagen-Enkhuizen-Dronten-Harderwijk-Zutphen-Hengelo. De bovenzijde van de Klei van Asse ligt langs deze lijn op de grootste diepte. Nabij Enkhuizen ligt de bovenzijde van de Klei van Asse op circa 950 m -NAP en nabij Harderwijk op 1200 m -NAP. Het uitwigen tegen het Mid-Nederlands Hoog verloopt hier geleidelijker dan aan de zuidflank doordat de basis van het Tertiair hier minder steil helt dan aan de zuidflank.

De Klei van Asse die in het zuidelijk bekken wordt aangetroffen heeft een maximale dikte die niet veel boven de 50 m uitkomt. Onder de kop van Noord Holland en Texel ligt de Klei van Asse in een noordwest-zuidoostelijk lopende trog waarin een maximale dikte van circa 225 m wordt bereikt. Ook onder de Waddenzee worden lokaal aanzienlijke dikten, in de orde van 250-300m geregistreerd. In zuidoost Drenthe is de Klei van Asse afwezig.

3.5.3 Lithologie en structurele eigenschappen

Zowel in het noordelijke als in het zuidelijke verbreidingsgebied wordt de Klei van Asse beschreven als een glauconiethoudende plastische klei. Het verschil tussen de klei uit het noordelijke bekken en de klei uit het zuidelijke bekken bestaat hieruit dat de klei uit het noordelijke bekken bruin getint is en nauwelijks kalk bevat. In Zuidwest- en Oost-Nederland is de bovenkant van de Klei van Asse enigzins zandig ontwikkeld. In België, waar de Klei van Asse aan de oppervlakte wordt aangetroffen, wordt deze beschreven als een grijze, homogene, zeer plastische klei.

3.5.4 Mineralogie

Uit mineralogisch onderzoek blijkt de Klei van Asse een relatief laag percentage kaoliniet en een relatief hoog percentage smectieten en intermediaten te bevatten. Zeker in verhouding tot de kleien van oligocene en miocene ouderdom, zoals de Klei van Boom, de Klei van Veldhoven, de Breda-eenheid en de Oosterhout-eenheid, is het percentage smectieten c.q. intermediaten in het noordelijke verbeidingsgebied veel hoger. Deze kleimineralogische samenstelling verklaart mede het plastische gedrag van deze klei.

3.6 *Klei van leper*

De Klei van leper is afgezet gedurende het Onder-Eoceen en behoort met de Klei van Asse, het opliggende Zand van Brussel en het onderliggende Basaal Zand van Dongen, tot de Formatie van Dongen. De kaarten 'Diepte Top Klei van leper + Zand/Tuffiet van Dongen + Klei van Landen Noord van het Mid-Nederlands Hoog' en 'Dikte Klei van leper + Zand/Tuffiet van Dongen + Klei van Landen Noord van het Mid-Nederlands Hoog' zijn toegevoegd als bijlage 6a en 6b respectievelijk.

3.6.1 Stratigrafische positie en genese

De Klei van leper werd in zeer dikke pakketten afgezet in een marien milieu, met name in bekkens ten zuiden en ten noorden van het Mid-Nederlands Hoog. Het zuidelijke bekken, de Voorne trog, is duidelijk herkenbaar op de diktekaart. Het noordelijke bekken wordt gevormd door een uitloper van het Noordzee Bekken.

Het basale deel van de Klei van leper werd afgezet onder ondiep mariene condities. In Zuid-Nederland ontwikkelde zich geleidelijk een dieper marien milieu waardoor de klei afgezet werd op diepten van 100 tot 200 m.

3.6.2 Verbreiding, diepteligging en dikte

Het Basaal Zand van Dongen gaat naar het noorden toe over in de Tuffiet van Dongen. Het Basaal Zand van Dongen/Tuffiet van Dongen is moeilijk te onderscheiden van de bovenliggende Klei van leper en als zodanig zijn deze pakketten als één geheel gekarteerd.

De Klei van leper komt voor onder geheel Nederland met uitzondering van een strook ter hoogte van het Mid-Nederlands Hoog. In Zuidwest-Nederland is de Klei van leper globaal volgens de lijn Den Haag - Den Bosch door de steile zuidflank van het Mid-Nederlands Hoog begrensd. Bij Veghel buigt de grens naar het zuidwesten in de richting van Turnhout. In de omgeving van Harlingen ontbreekt de Klei van leper en dit is tevens het geval op plaatsen waar zich zoutdiapieren hebben gevormd. Op de noordflank van het Mid-Nederlands Hoog is de Klei van leper globaal ten noorden van de lijn Amsterdam-Nijmegen aangetoond.

De bovenzijde van de Klei van leper ligt in het zuidelijke bekken, in de uitlopers van de Voorne trog, maximaal op 1800 m -NAP. In het noordelijke bekken neemt de diepte tot de bovenzijde van de Klei van leper toe van $\pm 500-700$ m -NAP aan de zuidelijke rand tot maximaal 1350 m -NAP in Zuidelijk Flevoland. De grote diepte wordt veroorzaakt door de daling van het Zuiderzee bekken gedurende het Mioceen. Vanuit het centrum van het bekken neemt de diepte tot de bovenkant van de Klei van leper naar het noordwesten toe af tot ongeveer 700 m in Noord