



Bosgroepen



Biodiversiteit van Brabants Bialowieza

Fase 2 onderdeel B historische
referentie

Bosgroep Zuid Nederland



Colofon

Opdrachtgever: Provincie Noord-Brabant
Titel: Biodiversiteit van Brabants Bialowieza – Fase 2: onderdeel B historische referentie
Status: definitief
Datum: Maart 2024
Auteur(s): Maaïke de Graaf, Harm Smeenge, William Gosling, Leon van den Berg, Rob van der Burg, Jan van Mourik,
Foto's: Zie onderschriften
Foto voorzijde: Leembos in Denemarken, foto Leon van den Berg
Kaartmateriaal: Copyright © 2021, Dienst voor het kadaster en openbare registers, Apeldoorn
Projectnummer: 19355180

© Coöperatie Bosgroep Zuid Nederland u.a.

5591 VD, Heeze

t (040) 20 66 360

www.bosgroepen.nl



Inhoudsopgave

1	INLEIDING	4
1.1	ONDERZOEK NAAR DE HISTORIE.....	4
1.2	LEESWIJZER.....	4
2	METHODEN.....	6
2.1	BOSONTWIKKELING IN HET HOLOCEEN: PALYNOLOGIE.....	6
2.1.1	<i>literatuur- en database onderzoek.....</i>	<i>6</i>
2.2	AANVULLENDE DATA VERZAMELING IN HET VELD	6
2.3	RECONSTRUCTIE VAN HET BOSLANDSCHAP IN VERSCHILLENDE PERIODEN	8
3	BOSONTWIKKELING IN HET HOLOCEEN: LITERATUURSTUDIE EN VELDONDERZOEK	12
3.1	ACHTERGRONDEN BIJ POLLENONDERZOEK	12
3.2	LITERATUURSTUDIE	13
3.2.1	<i>Begin van het holoceen (11.000 – 8000 jr BP): berken - dennenbos</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Atlanticum (8.000 – 5.000 BP): linden – eikenbos.....</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Subboreaale – vroege middeleeuwen (5000 – 500 BP): eikenbos</i>	<i>15</i>
3.2.4	<i>Middeleeuwen en Nieuwe tijd (450 – 1850 na Chr.): heide.....</i>	<i>16</i>
3.2.5	<i>Vanaf ca. 1850: Dennen – eikenbos</i>	<i>17</i>
3.3	BOSONTWIKKELING IN NOORD BRABANT: INZICHT VANUIT DE EXTRA METINGEN	19
3.3.1	<i>Ontwikkeling rijke bossen.....</i>	<i>20</i>
3.4	RECONSTRUCTIE VAN HET BOSLANDSCHAP IN VERSCHILLENDE PERIODEN	25
3.4.1	<i>Langenboom: overgang rivierengebied – hogere zandgronden.....</i>	<i>25</i>
3.4.2	<i>De Kempen: Klein Hasselsven (mesolithicum en vroeg neolithicum).....</i>	<i>33</i>
3.4.3	<i>De Kempen: Hoenderboom (Bronstijd en Romeinse tijd)</i>	<i>35</i>
4	CONCLUSIES ONDERDEEL HISTORISCHE BOSSEN	37
5	LITERATUUR.....	39



1 Inleiding

In het onderzoek van Fase 2 is gekozen voor het beschrijven van ontwikkelingsfasen van goede referenties voor bossen en habitat dat niet in Fase 1 is onderzocht. Aan de hand van de beschrijving van goede referentiebeelden voor de Noord-Brabantse kan worden ingeschat in welke mate de maatregelen effect sorteren. Uit de beschrijvingen van de historische referenties kan ook lering getrokken worden over de mate van degradatie en de kansen voor herstel.

De kennisleemtes die in Fase 2 werden onderzocht zijn onder te verdelen in twee studies:

- A. Een studie naar de potenties en het hydrologisch functioneren van referentiebossen op leem en de zeer natte hoogveenbossen op zandgrond. Een beschrijving van de biodiversiteit en functioneren van bossen op leem of hoogveenbosjes op zand ontbreekt grotendeels waardoor maatregelen niet gericht op de maximale potenties van deze bossen kunnen worden ingezet.
- B. Een studie naar de historische referentie (het bosbeeld van Noord-Brabant ten tijde van het Mesolithicum of vroeg Neolithicum?) op zandgrond. Vanwege de onduidelijkheid van dit bosbeeld is het niet goed bekend wat, historisch gezien, Noord-Brabantse bosreferenties op zandgrond zijn.

Het hier voorliggende deelrapport betreft onderzoek B in deze studie

1.1 Onderzoek naar de historie

Onderzoek naar pollendiagrammen onder grafheuvels toont de aanwezigheid van rijk-strooiselsoorten op de Nederlandse zandgronden na de laatste ijstijd. Ook in Noord-Brabant zijn deze soorten gevonden (Bakels 1975, Doorenbosch 2013). Deze literatuur heeft zich echter voornamelijk gericht op het heidelandschap en geeft geen reconstructie van het boslandschap dat ervoor aanwezig was. Het merendeel van het palynologische onderzoek naar bos-ecosystemen in Europa is daarbij niet specifiek toepasbaar op Noord-Brabant.

Een goede reconstructie van de bossamenstelling van de Noord-Brabantse bossen na de laatste ijstijd is noodzakelijk voor een goede beeldvorming en onderbouwing van de huidige bosmaatregelen.

Middels een analyse van bestaande pollenopnamen uit Noord-Brabant en aanvullende metingen van boorprofielen in veen nabij oude boslocaties en bruine bosbodems, is een reconstructie van de bossamenstelling van Noord-Brabantse bossen op zand sinds de laatste ijstijd gemaakt. Voor een drietal locaties is het historische landschap gereconstrueerd in verschillende perioden.

Het doel van de beschrijving van deze historische referentie voor bosontwikkeling is dan ook **1.** het geven van inzicht welke bostypen er in de loop der tijd aanwezig zijn geweest op de Brabantse zandgronden en

2. waar in de landschappelijke gradiënt zij zich bevonden.

Het is uitdrukkelijk niet het doel om te beschrijven welk bostype wanneer op welke plaats in Brabant voorkwam; dat is wegens gebrek aan vlakdekkende data niet mogelijk.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de methodiek van de verschillende deelonderzoeken beschreven. Vanwege de leesbaarheid worden ze zoveel mogelijk geïntegreerd in het daaropvolgende hoofdstuk 3: de bosontwikkeling in Noord-Brabant in het holoceen. Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkeling op hoofdlijnen; in de tekst zijn de bevindingen van de aanvullende metingen verwerkt. Omdat een



dergelijk algemene beschrijving geen recht doet aan de diversiteit van het landschap, is voor drie locaties uitgewerkt hoe de landschappelijke gradiënt er kan hebben uitgezien.



2 Methoden

2.1 Bosontwikkeling in het holoceen: palynologie

2.1.1 literatuur- en database onderzoek

Het onderzoek is gestart met een beschrijvende literatuurstudie betreffende de beschikbare kennis over de bosontwikkeling in Noord-Brabant. De eerste versie van het literatuuronderzoek is uitgevoerd door Dr. J.M. van Mourik. Na zijn overlijden is onder leiding van Prof. Dr. William Goslink en Dr. Iris de Wolf door Qi Liu een overzicht gegeven van de vegetatieontwikkeling in de Brabantse bossen (inclusief directe omgeving) op basis van beschikbare gegevens in de Neotoma Paleoecology Database (neotomadb.org). Zij heeft zich daarbij beperkt tot locaties op zandgronden, waarvan C14-datering bekend is. Op die manier kon de vegetatieontwikkeling worden gedateerd (Liu 2023). De literatuurstudie van Qi Liu is weergegeven als bijlage 6.

2.2 Aanvullende data verzameling in het veld

De bestaande gegevens laten een aantal kennishiaten zien, zowel geografisch als chronologisch. Om de bosontwikkeling van prehistorie tot in de historische tijd te onderzoeken, zijn daarom op vier locaties aanvullende boringen verricht (zie Tabel 1 en Figuur 1). De vier sets aan boringen zijn gemaakt op locaties waar bruine bosbodems (holtpodzol-bodems) binnen een afstand van max. 2 km van veenbodems lagen. Bij deze gekoppelde locaties werden de bruine bosbodems beschouwd als rijkere bodems, waar vaak langdurig bos heeft. Het veenprofiel geeft de mogelijkheid een doorlopende vegetatieontwikkeling te beschrijven, mits de veenlagen ongestoord zijn. Vondsten van pollen in bruine bosbodems zijn niet te herleiden tot een bepaalde periode, omdat bioturbatie leidt tot een vermenging van pollen uit verschillende lagen. Er is geprobeerd om dit te ondervangen door de sequentie van taxa in het pollendiagram van veenprofielen te vergelijken met de sequentie van taxa in het pollendiagram van zandprofielen. Wanneer deze zand en veenprofielen binnen 1 a 2 km van elkaar af liggen en de ^{14}C methode wel in het veenprofiel toepasbaar is zouden de vergelijkbare patronen in de pollendiagrammen koppelbaar zijn aan tijd (Smeenge, 2020). De gecombineerde holtpodzol-veenprofielen zijn bemonsterd op de volgende plaatsen: 1. Volkel – Molenheide, 2. Langenboom, 3. Veldhoven, 4. Den Hout (zie Tabel 1).

De holtpodzolen zijn bemonsterd door in iedere horizont een monster te nemen; er werd bemonsterd tot in de C-horizont. De veenbodems zijn bemonsterd voor een pollenanalyse middels een brede Russische boor/Wardenaar in Langenboom en met behulp van een guts op de overige locaties. Van het profiel werd op meerdere diepten een monster genomen. Vervolgens zijn van veen- en holtpodzolmonsters geëxtraheerd, zodat het pollen geteld kon worden (Van Delft 2022).

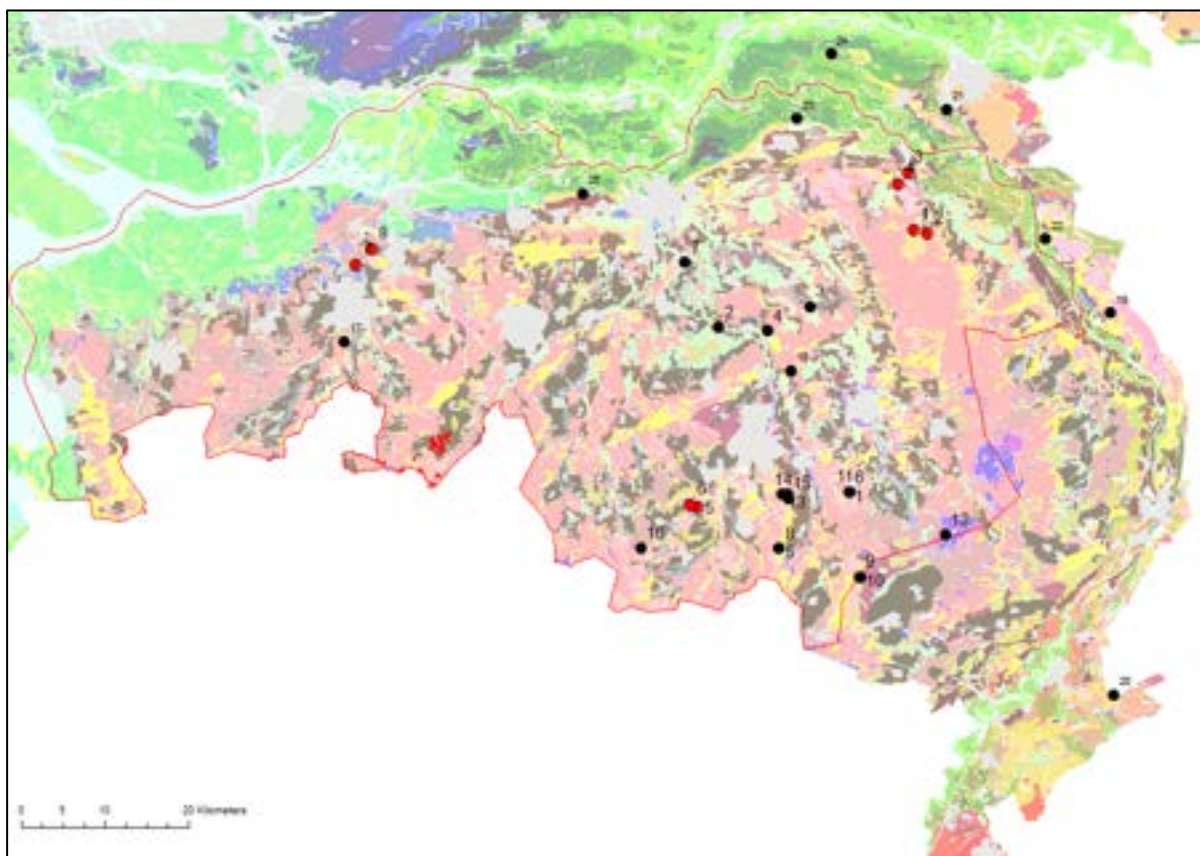
De paleo-ecologische analyse is uitgevoerd door de Universiteit van Amsterdam. In eerste instantie werd de ouderdom van het profiel verkend op basis van het pollenbeeld (indicatieve taxa: granen, rogge, boekweit, korenbloem, mais) en aanwezige rijke taxa: linde, iep, haagbeuk, esdoorn. In het Langenboomprofiel volgde in een C14-datering om de exacte ouderdom van verschillende lagen in het profiel te bepalen (Aukes 2023, Schouten 2023).

Tabel 1 Beschrijving van de locaties waar bodembemonsteringen hebben plaatsgevonden.



Locatie	X	Y	bodemtype	afstand tussen veen en holtpodzol (m)	bemonsterde diepte onder maaiveld (cm)
Volkel	180330	409184	veen	1640	0 - 95
Molenheide	181918	408821	holtpodzol		5 - 40
Langenboom	179585	415970	veen	1700	
Langenboom	178399	414675	holtpodzol		
Veldhoven (Groot Goor)	154278	375984	veen	930	0 - 130
Veldhoven (Steensel)	153368	375996	holtpodzol		12 - 38
Den hout	113610	404990	veen	2700	5 - 100
Den hout	115549	406944	holtpodzol		10 - 75

In aanvulling op het pollenonderzoek, werd in veenprofiel van Langenboom ook de aanwezigheid van houtskool en schimmelsporen onderzocht. Beiden geven informatie over het gebruik van het landschap door de mens. Houtskool duidt op brand als gevolg van menselijk handelen. Bij schimmelsporen wordt specifiek gezocht naar sporen die aanwezig zijn in de uitwerpselen van grote zoogdieren; deze zijn deels soortspecifiek en geven informatie over begrazing (zie toelichting in (Aukes 2023) en (Moonen 2022)).



Figuur 1 Overzicht van de locaties uit het literatuuronderzoek (zwart) en veldbemonstering (rood), geplot op de bodemkaart van Nederland

2.3 Reconstructie van het boslandschap in verschillende perioden

Het literatuuronderzoek, aangevuld met de metingen uit dit onderzoek, geeft inzicht in de aanwezigheid van verschillende bostypen en boomsoorten op regionale schaal. Globaal is dit binnen een straal van ca. 2 km van het bemonsterde profiel (Sugita et al., 1999). Om meer



inzicht te krijgen in de verschillende biotopen die bestonden binnen de bemonsterde zone, is een reconstructie gemaakt van het landschap binnen op basis van kennis van de standplaatscondities van plantensoorten. Om een dergelijke reconstructie te kunnen maken zijn 1. Scherp gedateerde paleo-ecologische gegevens nodig die 2. karakteristiek zijn voor het hogere zandlandschap. Op basis van de beschikbare gegevens uit de literatuur en in het kader van dit project uitgevoerde profielbeschrijvingen, zijn drie profielen geselecteerd (Tabel 2):

1. Het Langenboomprofiel (Schouten 2023): 11500BP – 1500 AD. Het Langenboomprofiel ligt op de overgang van het rivierengebied naar het hogere zandlandschap
2. Klein Hasselsven bij Eersel (Van Leeuwarden 1982). 12000 – 7000 BP zandlandschap
3. Hoenderboom in Someren (Arnoldussen & Scheele 2018): 1700 BC – 165 AD , zandlandschap

Tabel 2 overzicht van locaties voor landschapsreconstructie in relatie tot geologische en archeologische perioden.

Geologie		Fase	BP-jaren ¹	Jaren v.C./AD ²	Archeologie ³		Fases
Holoceen	Subatlantisch		3.000-0	1.000 v.C. - heden	nieuwe tijd	1850-heden	C
						1650-1850 AD	B
					middel-eeuwen	1500-1650 AD	A
						1250-1500 AD	laat B
	Romeinse	1050-1250 AD	laat A				
		450-1050 AD	vroeg				
	Subboreaal		5.000-3.000	3.700-1.000 v.C.	ijzertijd	270-450 AD	laat
						70-270 AD	midden
					bronstijd	12 v.C. - 70 AD	vroeg
						250-12 v.C.	laat
neolithicum	500-250 v.C	midden					
	800-500 v.C.	vroeg					
Atlantisch		8.100-5.000	7.000-3.700 v.C.	neolithicum	1.100-800 v.C.	laat	
					1.800-1.100 v.C.	midden	
Boreaal		9.150-7.900	8.200-7.000 v.C.	mesolithicum	2.000-1.800 v.C.	vroeg	
					2.850-2.000 v.C.	laat	
Pre boreaal	Laat Rammelbeekfase	9.700-9.150	9.200-8.200 v.C.	mesolithicum	4.200-2.850 v.C.	midden	
					9.850-9.750	9.300-9.200 v.C.	5.300-4.200 v.C.
Frieslandfase		10.150-9.850	9.700-9.300 v.C.	paleolithicum	6.450-4.900 v.C.	laat	
							7.100-6.450 v.C.
Pleistoceen	Laat Glaciaal	Jonge dryas B	10.550-10.150	10.700-9.700 v.C.	< 9.700 v.C.	laat B	
		Jonge dryas A	10.950-10.550	11.000-10.700 v.C			
		Allerød	11.900-10.950	12.000-11.000 v.C.			

Langenboom De Graafse Raam

Someren De Hoenderboom

Klein Hasselsven/Klokven





De beschrijving van het historische landschap op die plaatsen is als volgt gereconstrueerd:

1. Beschrijving van de aardkundige context

Met behulp van de geomorfologische kaart, de bodemkaart en het AHN wordt een beeld gevormd van de locatie van het veenprofiel in heden en verleden. Voor het reconstrueren van het verleden is gebruik gemaakt van een de beschrijving van het substraattypen in het profiel en kennis van de omstandigheden waaronder deze is gevormd. Bestaande kennis omtrent vorming van verschillende bodemtypen (Kemmers et al., 2011) is gebruikt om de historische condities in het (recente) verleden te herleiden.

2. Beschrijving van de paleoecologische situatie

Het ¹⁴C-gedateerde pollenprofiel is vervolgens gebruikt om inzicht te krijgen in:

- de periode (zowel geologisch als archeologisch) waarin het profiel is gevormd
- de relatie met de abiotische condities gedurende de tijd waarin het profiel is gevormd
- de aanwezigheid van verschillende plantensoorten, op basis van pollenanalyse, tijdens de vorming van het profiel

Op basis van deze gegevens worden belangrijke overgangen in het pollenprofiel beschreven en gerelateerd aan processen als opkomst en intensivering van de landbouw.

3. Integratie van paleoecologisch en plantensociologisch onderzoek

De vertaling van de aanwezige soorten in het pollendiagram naar soortensamenstelling in bostypen is complex. Verschillen in pollenproductie van planten, dispersieafstanden van pollen, overleving in de bodem en classificatiemethoden zijn hier debet aan (Janssen, 1974; Broström et al., 1998; Sugita et al., 1999; Bunting et al., 2005). Vanwege deze complexiteit is in het huidige onderzoek gekozen voor een alternatieve interpretatie van de pollendiagrammen waarbij gebruik wordt gemaakt van de aan- of afwezigheid van soorten op verschillende diepten in het profiel. Dit wordt gecombineerd met kennis van plantsociologische relaties tussen verschillende soorten (Smeenge, 2020). De plantsociologische relaties zijn bepaald aan de hand van de trouwgraad (op basis van presentie) aan een taxonomische klasse: soorten die kenmerkend zijn voor een plantsociologische klasse, vertonen een hoge trouw aan die klasse. Er worden drie trouwgraden onderscheiden: zeer hoge trouw (trouwgraad > dominante %), hoge trouw (trouwgraad > 5%) en minder trouwe soorten hoge trouw (trouwgraad < 5 %; data SynBioSys 2023 (Hennekens et al., 2010)).

Op basis van kennis over bestaande plantsociologische relaties en landschapsecologische kennis zijn zeven landschapsecologische groepen opgesteld die karakteristiek zijn voor een bepaald milieu (Tabel 3). De indeling in groepen is gebaseerd op de indeling in vegetatieklassen vanuit de Vegetatie van Nederland (Schaminée et al., 1995–1999).

4. Integratie tot historisch landschapsecologische beschrijving

Integratie van stap 1–3 leidt tot een reconstructie van het landschap in verschillende tijdsperiodes.



Tabel 3 Beschrijving van de landschapsecologische groepen (Smeenge 2020).

Groep	Habitat	SynBioSys klasse
1	Open water	1, 2, 3, 4
2	Moerassen en moerasbossen	7, 8, 9, 32, 36, 38, 39
3	Hoogvenen en natte heide	10, 11, 40
4	Graslanden, droge heide en zomen	12, 14, 16, 18, 19, 20
5	Pioniermilieus en ruderaal ruigten	28, 29, 30, 31
6	Voedselarme bossen, kapvlakten, en braam- en jeneverbesstruwelen	42, 34, 35, 41
7	Voedselrijke bossen, nitrofiel zomen en doornstruwelen	43, 33, 37



3 Bosontwikkeling in het Holoceen: literatuurstudie en veldonderzoek

3.1 Achtergronden bij pollenonderzoek

De Holocene ontwikkeling van bossen op de Pleistocene zandgronden kan in belangrijke mate worden gereconstrueerd uit pollendiagrammen van venen en bodemprofielen (bodemarchieven). Er zijn enkele landelijke referentiediagrammen van veenafzetting ter beschikking, te weten de pollendiagrammen van de Peelvenen (Janssen & ten Hove 1971), van het Udellermere (Engels et al., 2016) en van De Borchert (Van Geel et al., 1980). Deze veenprofielen geven inzicht in de Holocene ontwikkeling van de bossen op de Pleistocene gronden en in de pollendiagrammen is de opkomst en teruggang van linde (een goede indicator voor de rijke bossen) goed geregistreerd. Omdat in veenafzettingen sprake is van een polleninflux van lokale soorten (met name de veenvormende planten en regionale soorten (zoals bomen op de hogere gronden) is het lastig om de pollenanalyses te vertalen naar standplaatsen van de bomen of de bossen die het pollen hebben geproduceerd. Daarnaast is het aantal pollenonderzoeken in veenprofielen dat is voorzien van een datering (bijvoorbeeld met behulp van ^{14}C -datering) in Brabant op zandgronden beperkt. Qiu Liu voerde een literatuurstudie uit naar de vegetatieontwikkeling in het holoceen in Brabant (Bijlage 6). Zij gebruikte daarvoor palynografische data (veenprofielen) uit de Neotoma Paleoecology Database (neotomadb.org), die voorzien was van een datering, op zandgrond én in Brabant lag of in de directe omgeving van de provincie (Liu 2023). Deze studie laat zien dat er in de historische vegetatieontwikkeling in Brabant twee hiaten zitten: een geografisch hiaat en een temporeel hiaat. Verreweg de meeste beschreven palynologische studies liggen aan de rand van de provincie in het rivierengebied of in de Kempen en de Peel. In het zandgebied tussen Eindhoven, Oss, 's Hertogenbosch en Breda ontbreken gedateerde studies. Het temporele hiaat beperkt zich tot de periode 10.000 tot 9.000 jaar BP¹, op de overgang van het pleistoceen naar het holoceen. Overigens zijn in aanvulling op de gedateerde palynologische studies verschillende niet-gedateerde onderzoeken beschikbaar. Door de patronen van belangrijke indicatorsoorten te vergelijken met de gedateerde profielen, zijn beide hiaten aan te vullen en ontstaat er een min of meer provincie-breed beeld (zie hoofdstuk 3).

Aanvullende informatie wordt verkregen uit pollenanalyse van bodemprofielen zoals overstoven podzols en enkeerdgronden. Deze analyses geven bovendien een idee welke soorten ter plaatse stonden, met name voor de overstuivingen of de aanleg van enkdekken. Voor Noord-Brabant zijn enkele studies beschikbaar waarin pollendiagrammen zijn opgenomen van overstoven polycyclische podzolbodems en enkeerdgronden: het gaat om de veldwerkgebieden *Weerter en Budelerbergen*, (Van Mourik et al., 2012), *Maashorst* (Van Mourik et al., 2012), *Zilverakkers* (Thews & Van der Heiden 2011) en *Breda* (Van Mourik 1999) (Brandenburg & Kooistra 2004). Alvorens in te gaan op regionale en lokale verschillen in de bosontwikkeling tijdens het Holoceen, wordt een algemeen beeld geschetst van de bosontwikkeling (hoofdstuk 3). De ontwikkeling van

¹ er zijn verschillende tijdschalen om pollendiagrammen te dateren. De geologische tijdschaal geeft datering weer in jaar BP (Before Present), dus het absolute aantal jaar voor heden. De archeologische tijdschaal gaat uit van de mens. Datering wordt uitgedrukt in jaar voor het begin van onze jaartelling (voor Chr), of erna (na Chr. of AD). Bijlage 1 geeft een overzicht van beide tijdschalen en de belangrijkste processen die in de archeologische tijdschaal plaatsvonden.

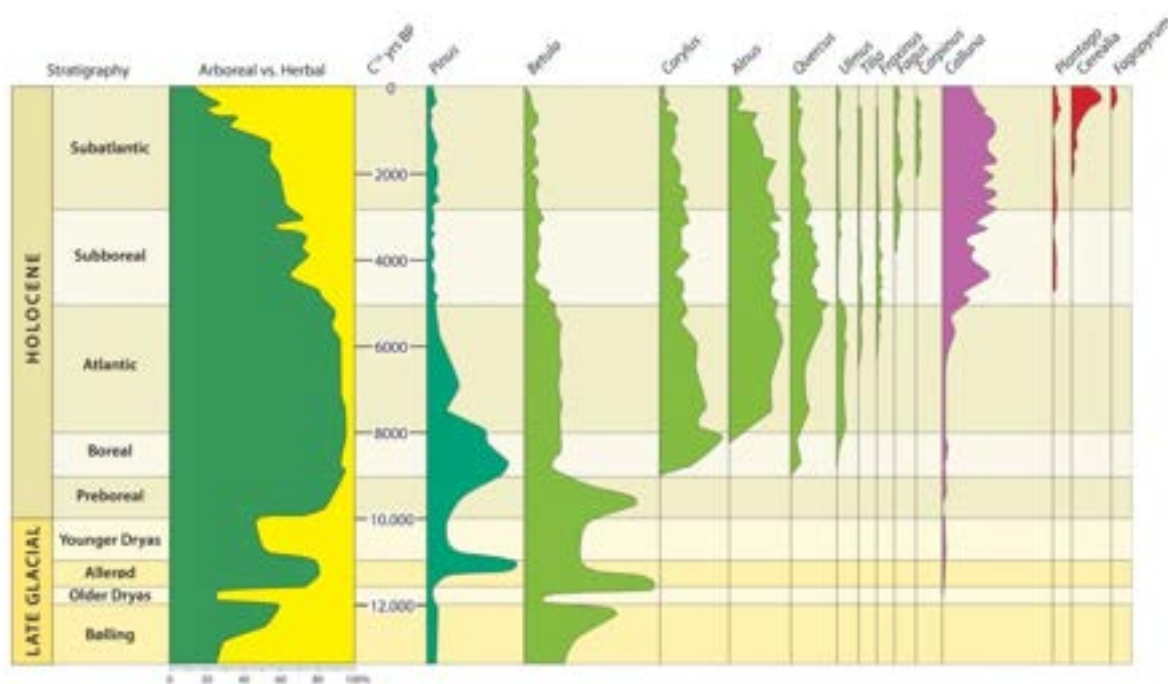
bossen in Nederland wordt beschreven aan de hand van het vereenvoudigde pollenprofiel van Jansen uit 1974 (Figuur 1) en dient als kader voor de beschrijving van de regionale en lokale ontwikkeling. Voor een uitgebreidere verwijzing van de bosgeschiedenis wordt verwezen naar (Buis 1985), (Spek 2004) en (Nyssen & Van den Berg 2017).

3.2 Literatuurstudie

3.2.1 Begin van het holoceen (11.000 – 8000 jr BP): berken - dennenbos

De hogere zandgronden in Brabant stammen uit het pleistoceen, en zijn in die periode als een dekzanddeken over grote delen van de provincie neergelegd. In het holoceen vormen deze dekzanden de basis waarop de bosontwikkeling heeft plaatsgevonden. Het pleistocene dekzand was nog nauwelijks verweerd, en was dan ook rijker aan mineralen dan huidige toplaag van de bodem (Nyssen & Van den Berg 2017).

Aan het einde van het pleistoceen was het karakteristieke landschap van Brabant een toendralandschap (Figuur 3). Pollendiagrammen laten zien dat grove den en berk de dominante boomsoorten waren in een bostype dat dientengevolge beschreven wordt als een berken-dennenbos. Daarnaast kwamen wilg, ratelpopulier en jeneverbes voor. Het was een open landschap, met in de kruidlaag o.a. heide en zeggesoorten. Pollen van heide komt voor in zeer lage dichtheden, en het is dan ook aannemelijk dat heide slechts in lage bedekking voor kwam. Met het warmer worden van het klimaat keerden langzaam soorten terug uit het zuiden. Hazelaar kwam in het eerste terug, en wordt sinds het boreaal (zo'n 9000 jaar BP) aangetroffen in het boslandschap. De mens trok in deze periode als kleine groepen jagers rond en had een zeer beperkte invloed op het landschap.



Figuur 2 Vereenvoudigd laat- en postglaciaal pollendiagram van Zuid Nederland (Janssen 1974).



Figuur 3 de huidige toendralandschappen uit Canada (bron Hunebednieuwscafe.nl) en IJsland geven een indruk van het Brabantse landschap aan het begin van het pleistoceen.

3.2.2 Atlanticum (8.000 – 5.000 BP): linden – eikenbos

Het warmer worden ging gepaard met de terugkeer van boomsoorten die zich tijdens de ijstijden hadden teruggetrokken in zuidelijker Europa. Tijdens het Atlanticum keerden eik, iep, linde, esdoorn en es terug en in zuid Nederland ontstond een rijk bostype, het linden – eikenbos (Figuur 4). Dit palynologische gedefinieerde bostype wordt ook wel het *Quercetum mixtum* genoemd. Het boslandschap van het Atlanticum kende, op basis van abiotische omstandigheden, een variatie aan bostypen. In het Brabantse zandlandschap vormden de schralere groeiplaatsen een bostype waarin eik over linde domineerde, terwijl dit op de wat rijkere groeiplaatsen andersom was (Nyssen & Van den Berg 2017).



Figuur 4 Impressie van het linden-eikenbos, zoals dat nu nog gevonden wordt in Bialowieza Polen/Wit-Rusland. Foto H. Smeenge

3.2.3 Subboreaal – vroege middeleeuwen (5000 – 500 BP): eikenbos

Na het Atlanticum begint de achteruitgang van dit rijke loofbos (zichtbaar in de curves van linde en iep). Die achteruitgang zet door in de loop van het Subborea. Deels heeft dit te maken met de natuurlijke verzuring, deels met cultuurinvloeden. De mens krijgt een steeds grotere invloed op het landschap: rondtrekkende jagers-verzamelaars maken plaats voor de eerste landbouwers. Zij kapten bos om ruimte te maken voor begrazing met vee en voor akkertjes. In de pollendiagrammen is zichtbaar dat het percentage boompollen daalt en heide toeneemt (Figuur 1), hetgeen duidt op een verandering van het landschap. Als gevolg van de toename in bevolkingsdichtheid, daalde het areaal bos tot in de Romeinse tijd (12 v Chr. – 450 na Chr.). Daarnaast maken de pollendiagrammen duidelijk dat het bostype veranderde: linde maakt plaats voor eik, beuk en haagbeuk. De landbouwers gebruikten het bos selectief: de lindebomen werden ontdaan van hun bast (touwproductie) en de jonge takken en bladeren werden gebruikt als veevoer ((Thill 1977)(Weeda et al., 1987). Linde werd dus intensief gebruikt. De akkers werden snel weer verlaten omdat de grond onvoldoende vruchtbaar was voor permanente akkers. Deze plaatsen groeiden dicht met heide, alvorens door successie te ontwikkelen tot bos. Echter, als gevolg van het landbouwkundig gebruik, verschaalde de bodem, waardoor successie naar een rijker bostype op veel plaatsen niet voor de hand lag. (Boom-) soorten die zijn aangepast aan nutriëntarmere bodems, zoals eik en beuk, hadden betere vestigings- en concurrentiemogelijkheden. Het linden-eikenbos werd geleidelijk omgevormd tot een eikenbos (Figuur 5).

Beuk en haagbeuk bereikten ons land pas 4000 resp. 2000 jaar geleden vanuit het zuiden, en concurreerden met linde wanneer bossen ouder en donker worden. In de studies van de



bodemarchieven van het Gutland in Luxemburg (Van Mourik 2017) (Van Mourik & Slotboom 2018) een vergelijkbare verdringing van linde door beuk geregistreerd en gedateerd voor dezelfde periode.

Het is niet duidelijk in welke mate de teruggang van linde wordt veroorzaakt door de natuurlijke verschraling (als gevolg van natuurlijke verwerking), de migratie van beuk, in hoeverre door antropogene invloed.

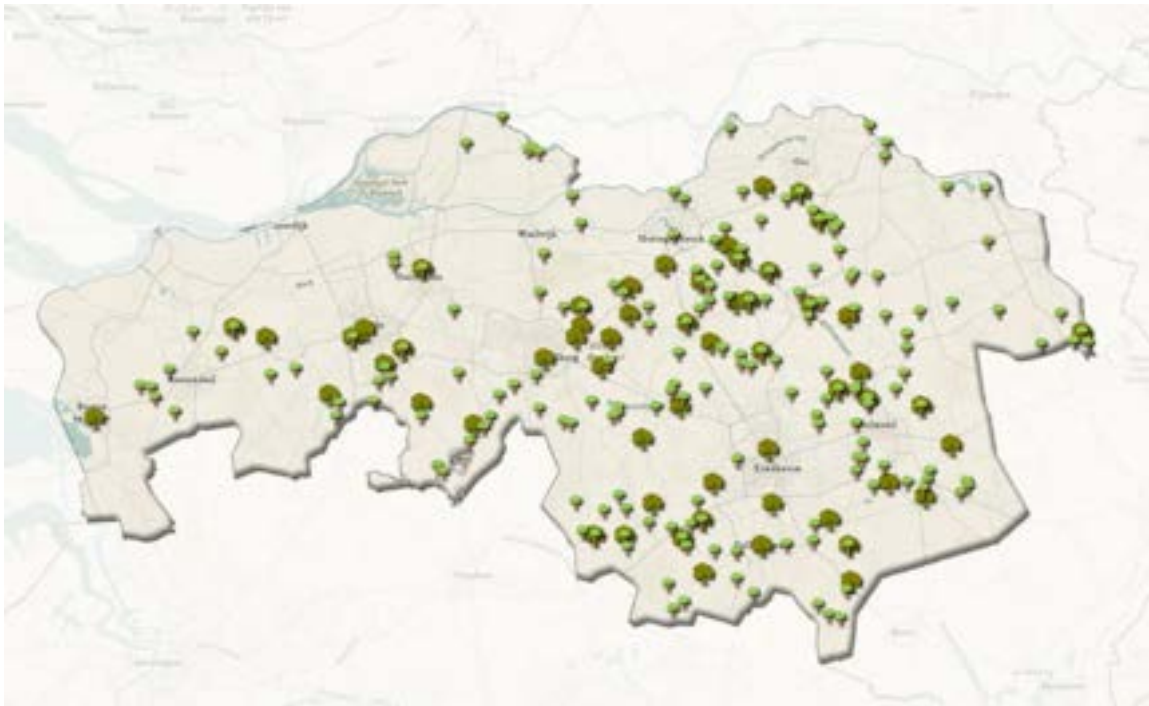


Figuur 5 Eikenbos in het New Forest in Engeland. Dit begraasde open eikenbos geeft een impressie van het bostype dat tussen 5000 en 1000 BP het Brabantse landschap domineerde. Foto H.Smeenge

De rijkere bossen zijn op de overgang Subboreaal/Subatlanticum al verschraald en zullen verder gaan degraderen tot heidegebieden.

3.2.4 Middeleeuwen en Nieuwe tijd (450 – 1850 na Chr.): heide

In de vroege Middeleeuwen, in de tijd dat veel van de Brabantse dorpen en steden hun naam kregen, maakten bomen en bossen nog een belangrijk deel uit van het landschap. De vele verwijzingen in plaatsnamen naar hout, bomen en bos zijn hier getuige van (Raap & Janse 2021),(Eijgenraam et al., 2022).



Figuur 6 Bosplaatsnamen in Brabant (<https://www.brabant.nl/subsites/brabantse-bomen/bosplaatsnamen>).

Echter, de invloed van de mens op het landschap werd zo groot dat het Nederlandse landschap grotendeels ontbost raakte tijdens de Romeinse tijd en vroege Middeleeuwen. Ontginning, houtskoolproductie (Beukenkamp & Sevink 2005) en de uitverkoop van hout (Vera 2011) zijn belangrijke oorzaken. In de pollendiagrammen is dit terug te zien in de afname van het percentage boompollen ten opzichte van het percentage pollen van heide, grassen en bv boekweit (Figuur 1).

Enkele bossen bleven aanwezig als jachtgebied voor de adel. Op landgoederen werden vanaf de 17^e eeuw (sterren-)bossen aangeplant, bv het Mastbos bij Breda (1514) en de Wouwse plantage. Daarnaast maakten bomen deel uit van het landschap in de vorm van lanen, erfbeplantingen en geriefbosjes. Desalniettemin bestond het overgrote deel van het Brabants zandlandschap uit heide. Vanaf de late Middeleeuwen degradeerde een deel hiervan door overexploitatie tot stuifzanden.

De markeboeken in Oost-Nederland laten zien dat gebruiksflicten in de late middeleeuwen streng werden bestraft (halszaken). Genoemde boomsoorten waren hoofdzakelijk eik- of beuk en in mindere mate haagbeuk (voor wagenwielen). Vanaf de 17^e eeuw na de 80-jarige oorlog was er nauwelijks nog bos over en moest men gaan aanplanten om de houtvoorraad op peil te houden. Dit gebeurde in zogenaamde telgenkampen die toen werden aangewezen. Dergelijke bossen staan nu als oud-bosgroeiplaats te boek. Opvallend is dat men uitsluitend sprak over het bezaaien of beplanten met eik of beuk (Koop & Smeenge, 2016, 2019).

3.2.5 Vanaf ca. 1850: Dennen – eikenbos

Vanaf ca. 1850 neemt het bosareaal op de zandgronden in Nederland en Brabant flink toe. Raap en Janse (Raap & Janse 2021) wijzen daar drie oorzaken voor aan: ten eerste de uitvinding van kunstmest, waardoor er geen uitgestrekte heidevelden meer nodig zijn in het landbouwsysteem. Doordat de markeverdelingen (in Brabant gemeeynten) werden beëindigd, kwam er ook grond vrij



voor bosaanplant. Ten derde was de kennis over bosbouw flink toegenomen, waardoor het mogelijk werd om heide en zandverstuivingen te bebossen.

Op de schrale zandgronden werd vooral naalddhout (grove den) aangeplant, ten behoeve van de productie van mijnhout. Brabant veranderde van karakter: de uitgestrekte woeste gronden maakten plaats voor een bosrijke provincie. Als gevolg van het sluiten van de Nederlandse en Belgische kolenmijnen in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw, verschuift het productiedoel van mijnhout naar zaaghout. Bomen kunnen hierdoor dikker worden, wat vraagt om een ander bosbeheer (Nyssen & Van den Berg 2017). Samen met het toegenomen besef van de rol van bossen in de biodiversiteit en de grotere beschikbaarheid aan vrije tijd evalueert het bos naar een meer divers bostype waarin menging en structuur- en leeftijdsvariatie leiden tot het ontstaan van gemengde dennen-, eiken, en beukenbossen (Figuur 7 en 8).



Figuur 7 Bostontwikkeling ten zuiden van Bladel; links ca. 1860, rechts 2023. Bron: (Anoniem 2019)



Figuur 8 Dennenbos vóór 1970: in het jonge bos werd voornamelijk dun hout geoogst voor de mijnbouw



3.3 Bosontwikkeling in Noord Brabant: inzicht vanuit de extra metingen

In deze paragraaf wordt de hierboven beschreven bosontwikkeling waar mogelijk verfijnd voor Brabant op basis van het aanvullende veldonderzoek.

Jona van Delft (Van Delft 2022) onderzocht de pollenprofielen uit Den Hout, Veldhoven en Volkel/Molenheide die voor dit project zijn verzameld. Voor dit project zijn pollenmonsters genomen in veen- en nabije holtpodzolbodem, met als doel de patronen in beide te vergelijken. Op die manier zou (zie methode) inzicht worden verkregen in de bosontwikkeling op de holtpodzolbodem, de plaats waarvan aannemelijk is dat er rijkere bossen hebben gestaan. Immers, holtpodzolbodems, ook wel bruine bosbodems genoemd, worden gevormd onder bossen onder mineraalrijke omstandigheden. Helaas bleek uit het onderzoek van Van Delft (2022) dat zowel de soortensamenstelling als de patronen in de veen- en holtpodzolprofielen niet vergelijkbaar zijn. Het pollen in de holtpodzolprofielen is voornamelijk afkomstig van soorten van open gebieden, zoals grassen, granen en boekweit en heide. Er werd weinig stuifmeel van bomen aangetroffen, en alleen van berk, den, els, hazelaar en linde. De andere patronen in de pollendiagrammen in holtpodzol en veen, worden waarschijnlijk veroorzaakt door bioturbatie en antropogene verstoring van de holtpodzolen. Gezien de grote verschillen in soortensamenstelling en in patronen, is het zeer waarschijnlijk dat het pollenbeeld in de holtpodzolbodems een afspiegeling vormt van de laatste eeuwen, waarin de mens met zijn landbouw een grote invloed uitoefende op het landschap. Hazelaar en linde zijn hier geen relict van de oude linden-eikenbossen, maar een afspiegeling van soorten die recent aanwezig zijn in het landschap, ook op erven en in lanen.

Langenboom

Het veenprofiel uit Langenboom is een uitzonderlijk lang en intact veenprofiel en geeft inzicht in de vegetatieontwikkeling tussen 11.488 en 25 jaar geleden (zie Figuur 12; (Aukes 2023, Schouten 2023). In het profiel kunnen op basis van een statistische analyse vier tijdzones worden onderscheiden:

1. Begin holocene 11.488 – 8.684 cal jaar BP: deze periode wordt gekenmerkt door het voorkomen van den, berk en wilg. Het bostype karakteriseren we als een berken-dennenbos, karakteristiek voor het begin van het holocene. Dit komt overeen met het voorkomen van dit bostype in de rest van Nederland. In het pollendiagram is relatief veel wilg aangetroffen, veroorzaakt door de aanwezigheid van riviergeulen op korte afstand.
2. Pre-agarische tijd 8.684 – 4.755 cal jaar BP: deze zone wordt gekenmerkt door de opkomst van els, eik, linde en hazelaar. Het markeert de opkomst van het linden-eikenbos (*Quercetum mixtum*). In vergelijking met Nederland komt er relatief veel den voor in het profiel. Linde wordt aangetroffen vanaf ca. 9.000 jaar BP, dus net voordat deze periode op basis van de statistische analyse begint.
3. Vroeg menselijke invloed 4.755 – 1.320 cal jaar BP: Tijdens deze periode neemt de hoeveelheid pollen van hazelaar (vanaf 4599 jaar BP), linde (vanaf 3500 jaar BP), en eik af (vanaf ca. 4000 jaar BP). De soorten blijven wel aanwezig in lagere concentraties in het spectrum (Figuur 12), en beuk en haagbeuk vestigen zich (Aukes 2023). Vanaf ongeveer 2500 jaar BP nemen grassen, granen, composieten en heideplanten toe in het spectrum. De periode kan worden gekarakteriseerd als een achteruitgang van het rijke linden-eikenbos als gevolg van de komst van de landbouwers.
4. Middeleeuwen tot heden 1320 – 25 cal jaar BP: in deze periode neemt de hoeveelheid boompollen af ten gunste van grassen, granen en kruiden (composieten, heide). Dit wijst



op een open landschap. In het pollenspectrum van de bomen domineert els, maar deze soort produceert ook veel pollen. Daarnaast zijn eik, den en berk aanwezig in het spectrum; vanaf 500 jaar BP. Soorten van rijkere bossen als linde, haagbeuk en hazelaar blijven aanwezig, maar in zeer beperkte hoeveelheid.

Het veenprofiel uit Langeboom toont daarmee aan dat de bosontwikkeling hier vergelijkbaar liep met die in de rest van Nederland.

De analyse van de ongedateerde veenprofielen (Den Hout, Veldhoven en Volkel) geeft op hoofdlijnen een vergelijkbare bosontwikkeling aan (zie Figuur 9, Figuur 10, Figuur 11). Echter, er zijn lokale verschillen in het tempo van bosontwikkeling en in soortensamenstelling. De profielen uit Den Hout, Veldhoven, Volkel en Langenboom dateren allen terug tot het begin van het holoceen. In Den Hout verloopt de bosontwikkeling vergelijkbaar met die in de rest van Nederland: na een eerste fase met open berken – dennenbos kort na het pleistoceen, vormt zich al snel een gesloten linden–eikenbos (*Quercetum mixtum*). Met de groter worden de invloed van de mens ca. 5500 jaar geleden (BP), verdwijnen de rijkere soorten uit het bos en blijven eik en berk over. Ook het oppervlak aan bos wordt minder; de grassen, granen en boekweit en heidestruiken maken vanaf die tijd een veel groter deel uit van het landschap.

In het pollenprofiel van Veldhoven komen in de eerste periode van het holoceen veel waterplanten voor, hetgeen erop duidt dat er destijds open water was. Dit is verland tot een bos met voornamelijk den en berk. Evenals in het profiel in Volkel, lijkt dit bostype lang stand te houden, totdat de mens met de landbouw zijn intrede doet en de eerste ontbossing plaatsvindt. Pas dan lijkt zich op beide locaties het diverse en soortenrijke linden–eikenbos te ontwikkelen. Van Delft (2022) suggereert tevens dat de linden–eikenbossen in Veldhoven en Volkel langer hebben overleefd, maar kan dit wegens gebrek een datering niet bewijzen.

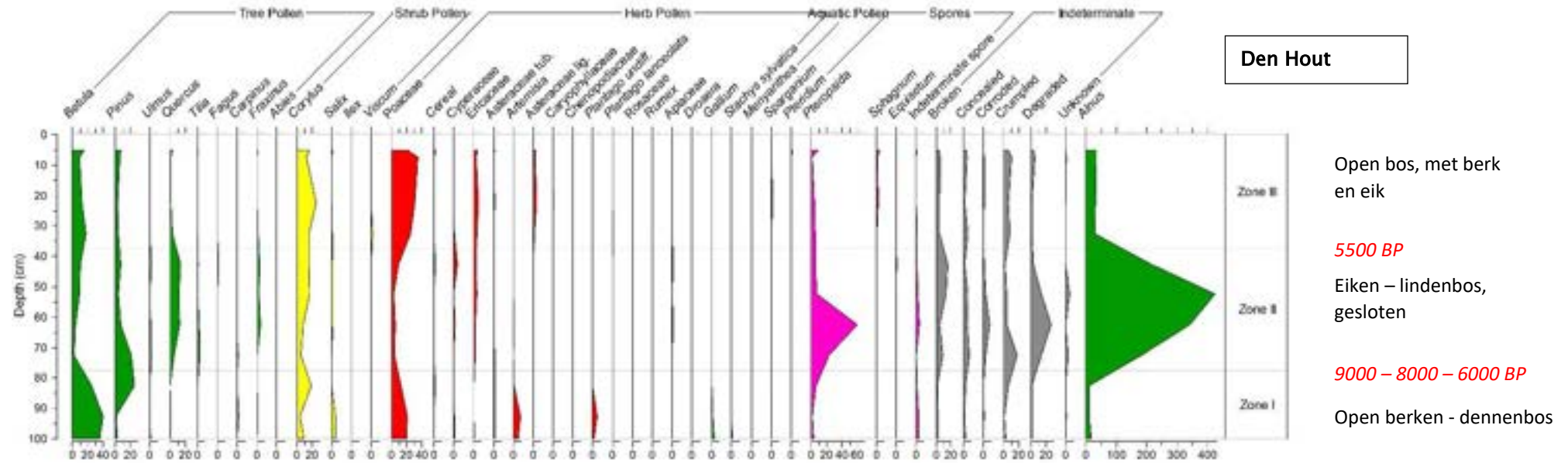
3.3.1 Ontwikkeling rijke bossen

Voor de ontwikkeling van de ecologisch rijkere bossen is het interessant om het verschijnen en verdwijnen van linde te volgen. Daaruit blijkt dat linde in Langenboom vrij vroeg is gearriveerd; de achteruitgang van deze soort zet in vanaf 3500 jaar BP en stabiliseert vanaf 2724 jaar BP op een percentage van 1% van de pollensom (Tabel 4).

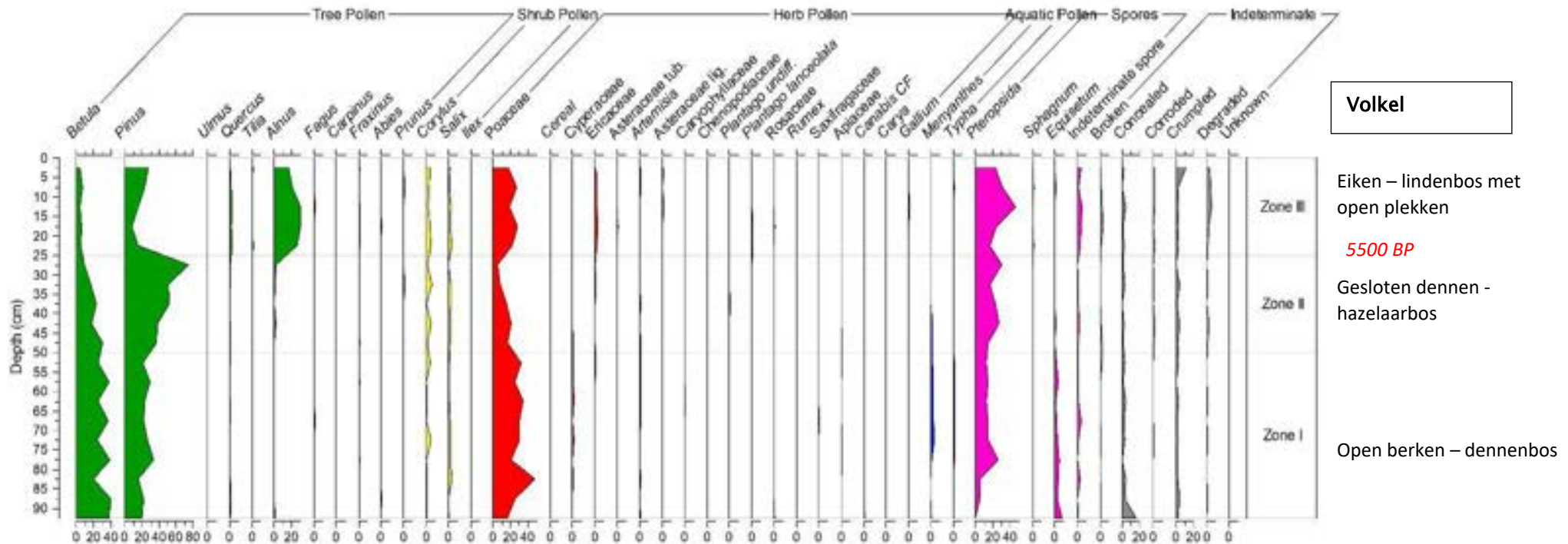
Tabel 4: Opkomst en teruggang van linde als palynologische indicator voor rijke bossen in enkele palynologische studies uit literatuur en aanvullende metingen. Voor Langenboom zijn Tilia percentage > 4% aan gehouden.

<i>Diagram</i>	<i>Opkomst van linde</i>	<i>Teruggang van linde</i>
Gutland (van Mourik, 2017)	≈ 8200 BP	≈ 3400 BP
Peel (Janssen & ten Hoven, 1971)	≈ 8000 BP	≈ 2400 BP
Uddellermeer (Engels et al., 2016)	≈ 8100 BP	≈ 2800 BP
De Borchert (van Geel et al., 1980)	≈ 8300 BP	≈ 3400 BP
Langenboom (Schouten 2023)	≈ 8600 BP	≈ 3500 BP

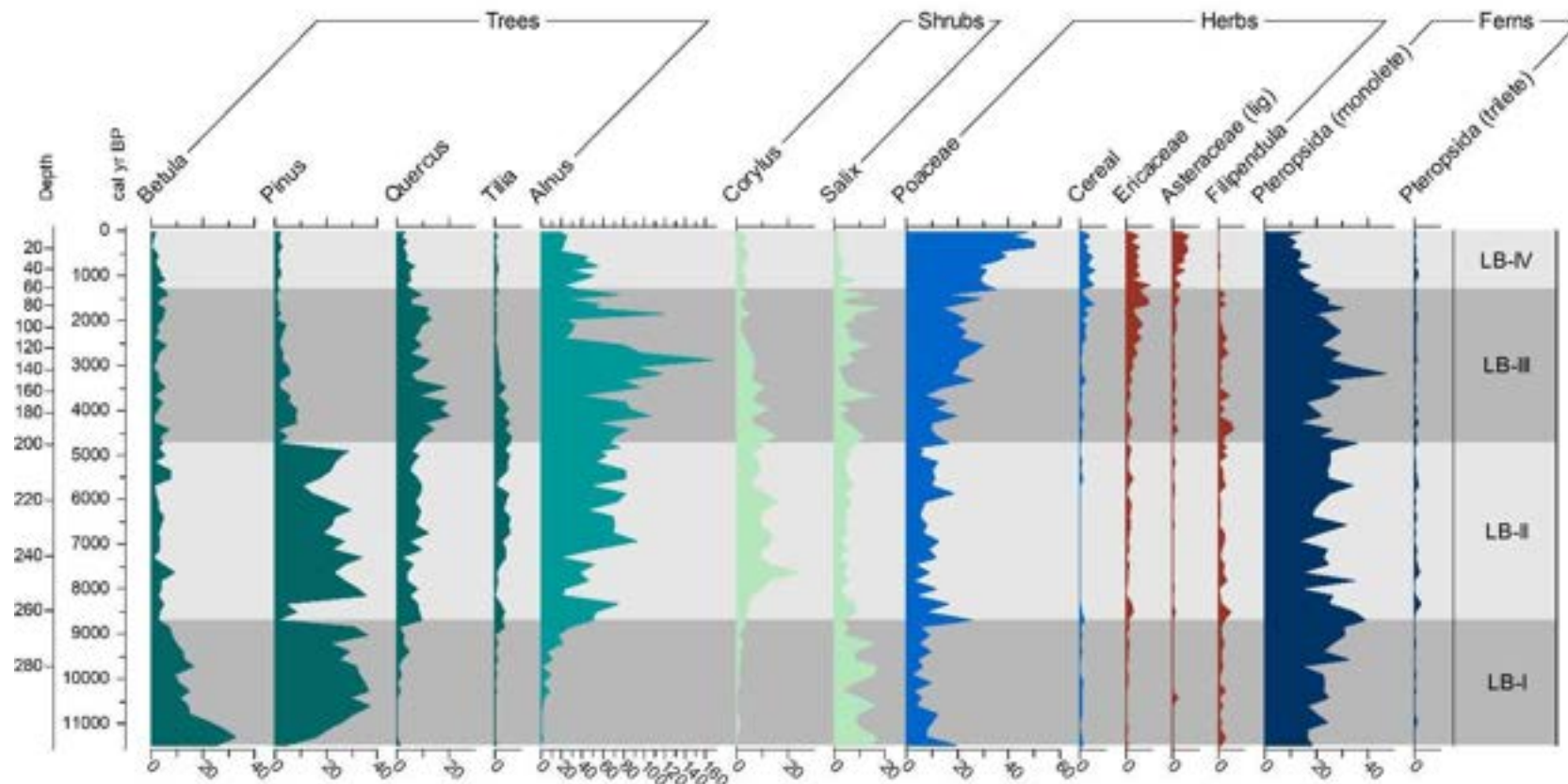
De natuurlijke verschraling van bossen is trouwens niet alleen geregistreerd in het Holoceen maar is een karakteristiek van pollendiagrammen van alle Pleistocene interglacialen. Zo is in een pollendiagram van het Eemien (Zagwijn; pagina 204 van het boek “de ondergrond van Nederland”) ook duidelijk de opkomst van het (rijkere) loofbos geregistreerd en vervolgens de afname van linde door de verdringing door beuk en haagbeuk en toen uiteraard zonder menselijke invloed.



Figuur 9 Pollendiagrammen uit Den Hout waarin alle getelde en geïdentificeerde pollen van bomen (groen), struiken (geel), kruiden (rood), aquatische soorten (blauw), en sporen van varens en mossen (rose) zijn opgenomen. Op de x-as is de abundantie weergegeven als percentage van de totale pollensom (terrestrisch). Niet identificeerbaar pollen is aangeduid in grijs. De indeling in zones berust op een statistische analyse (CONISS). Aan de rechterzijde van de grafiek zijn het bostype en de vermoedelijke ouderdom van een laag weergegeven (ouderdom op basis kenmerken indicatorsoorten). (Van Delft 2022)



Figuur 11 Pollendiagrammen uit en Volkel waarin alle getelde en geïdentificeerde pollen van bomen (groen), struiken (geel), kruiden (rood), aquatische soorten (blauw), en sporen van varens en mossen (rose) zijn opgenomen. Op de x-as is de abundantie weergegeven als percentage van de totale pollensom (terrestrisch). Niet identificeerbaar pollen is aangeduid in grijs. De indeling in zones berust op een statistische analyse (CONISS). Aan de rechterzijde van de grafiek zijn het bostype en de vermoedelijke ouderdom van een laag weergegeven (ouderdom op basis kenmerken indicatorsoorten). (Van Delft 2022)

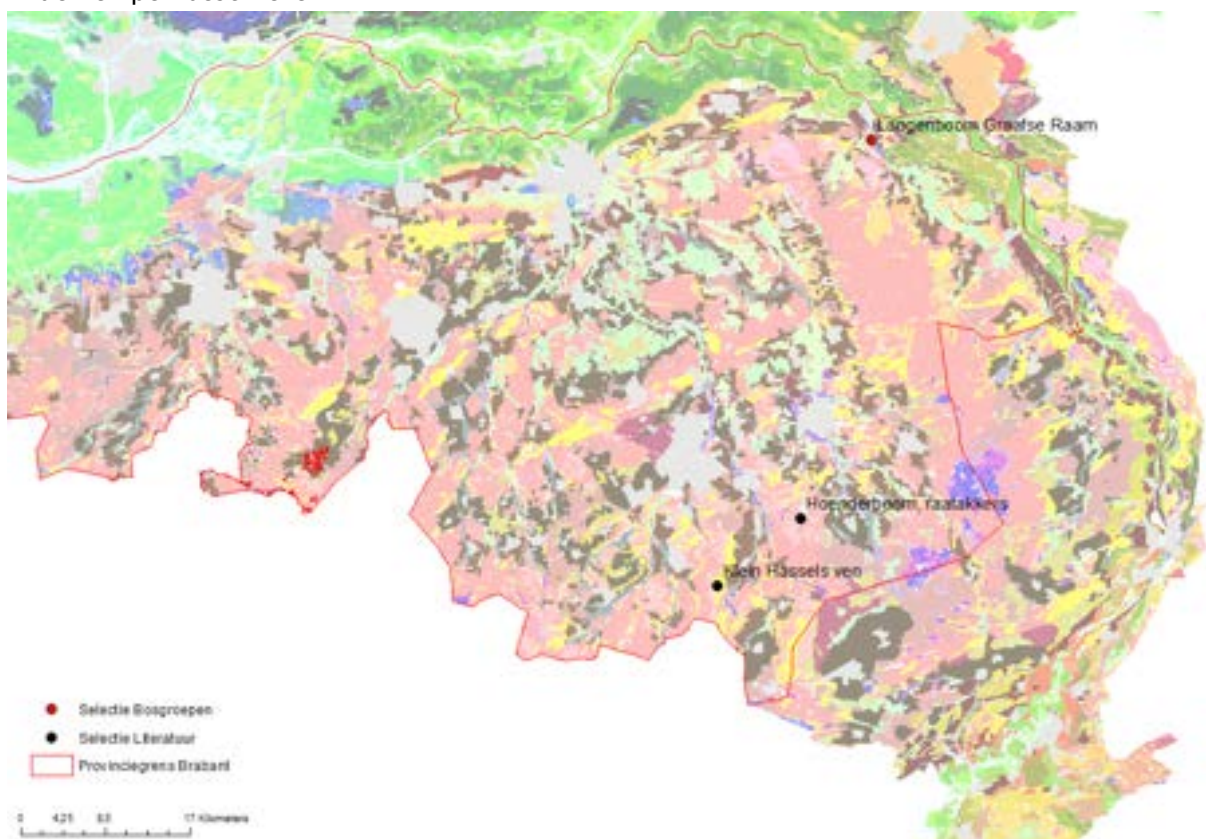


Figuur 12 Gedateerd pollendiagram Langenboom (Schouten 2023). In dit diagram zijn niet alle soorten weergegeven; van de geselecteerde soorten is de pollensom per soort weergegeven als percentage van de totale pollensom. De indeling in zones berust op een statistische analyse (CONISS).

3.4 Reconstructie van het boslandschap in verschillende perioden

In de pollenprofielen komen soorten met geheel andere ecologische vereisten gelijktijdig voor. Dit wordt veroorzaakt doordat het pollen van verschillende soorten variatie heeft in dispersie en conservering in de bodem. Met andere woorden, de pollendiagrammen zoals getoond in Figuur 9 – Figuur 12 geven een beeld van verschillende biotopen binnen een zekere afstand van het bemonsteringspunt. In deze paragraaf beschrijven we deze biotopen op basis van kenmerken van soorten en van de landschappelijke opbouw voor verschillende perioden.

De reconstructie van het landschap heeft plaatsgevonden op 3 locaties: Langenboom, Hoenderboom en Klein Hasselsven (Figuur 13). In de volgende paragrafen wordt de ontwikkeling van het landschap per locatie beschreven. Daarbij wordt uitgebreid ingegaan de ontwikkeling rondom Langenboom, omdat van die locatie een bodemprofiel beschikbaar is die vrijwel het gehele holoceen beschrijft. Vervolgens wordt aan de hand van twee profielen de bosontwikkeling in de Kempen beschreven.



Figuur 13 Ligging van de landschappelijke reconstructies, geprojecteerd op de bodemkaart.

3.4.1 Langenboom: overgang rivierengebied – hogere zandgronden

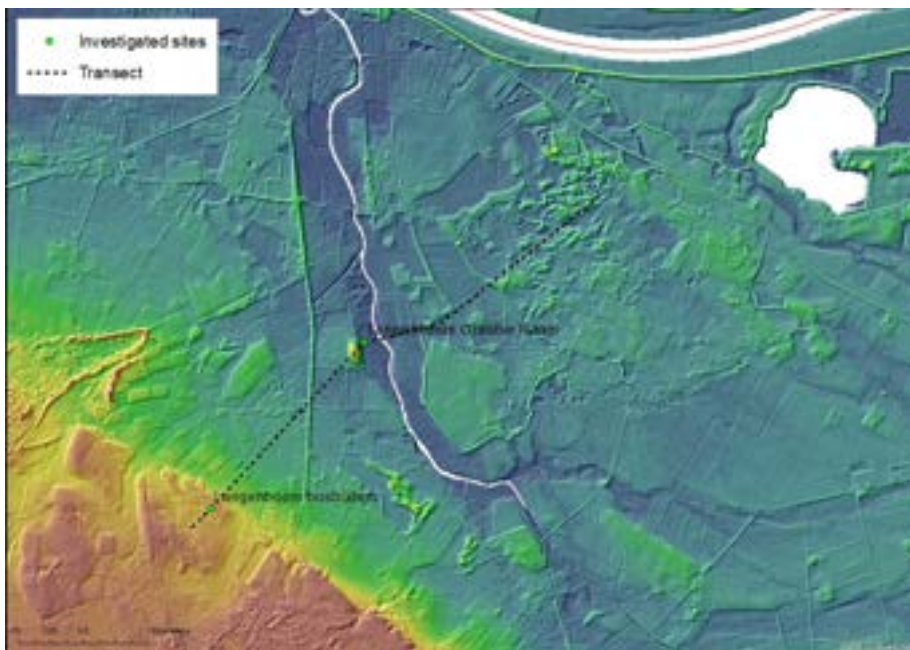
De aardkundige context

Het Langenboom-profiel is dichtbij de Graafse Raam gestoken, op de overgang van de hogere zandgronden (Maashorst) naar het rivierenlandschap van de Maas (Figuur 14). De overgang tussen de horst en het door de rivieren gevormde landschap is scherp en wordt gemarkeerd door een hoogteverschil van 6 meter over een afstand van 1 kilometer.

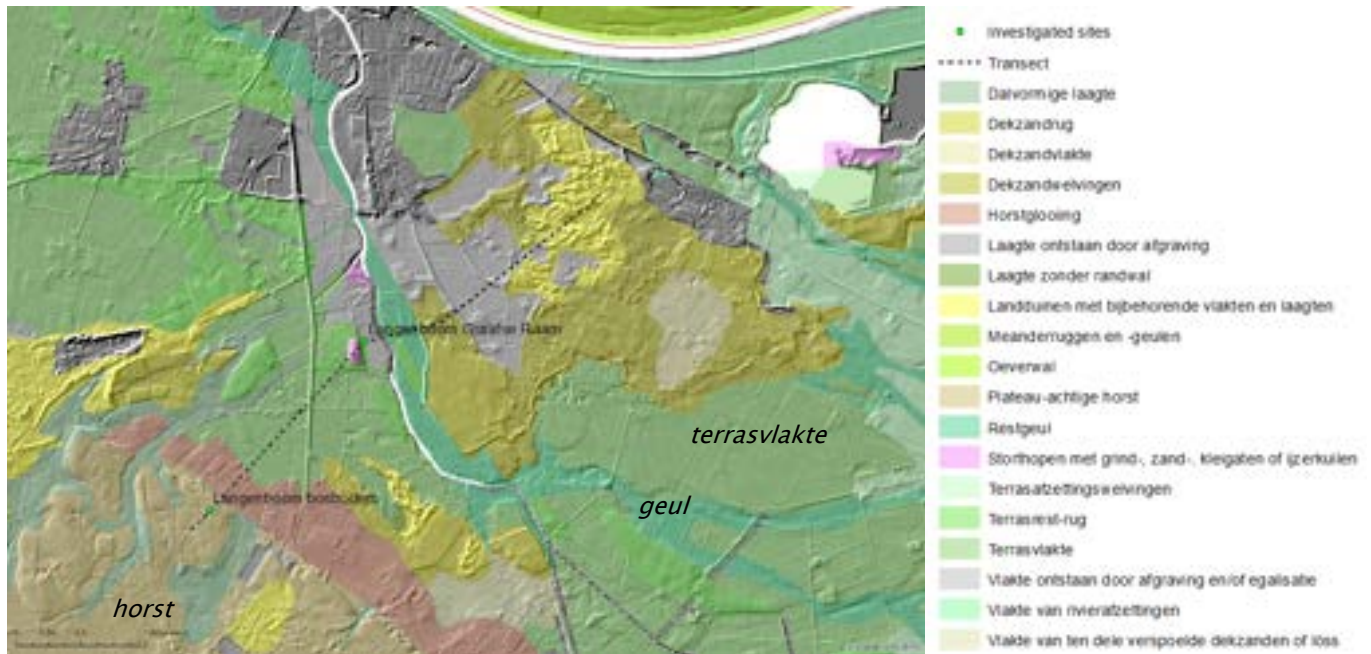
Het rivierenlandschap is gevormd door afzettingen en erosie van rivieren. Op de geomorfologische kaart is het oude patroon van geulen nog duidelijk herkenbaar (Figuur 15). In perioden met weinig dynamiek in de rivier kon veen ontstaan in de oude geulen waardoor ze verlandden: het veenprofiel in Langenboom is gestoken in een zo'n venige opvulling van een geul. Bodemkundig wordt het gekarakteriseerd als een waardveengrond op zand (kVz; Figuur 16). De datering van het ongestoorde veenprofiel (zie bijlage 2) maakt duidelijk dat de geul aan het einde van het pleistoceen is gevormd en er sindsdien geen erosie heeft plaatsgevonden. Deze doorgaande tijdlijn in het profiel en de korte afstand tot de hogere zandgronden op de Maashorst maken een reconstructie van de bosgeschiedenis mogelijk.

De bodem van de horst wordt voornamelijk gevormd door zandgronden, anno 2023 gekarakteriseerd als holt- veld- en haarpodzolen. De solifluctiedalen aan de randen van de horst zijn opgevuld met beekeerdgronden. Op verschillende plaatsen in het landschap worden enkeerdgronden aangetroffen, door de mens met plaggen opgehoogde bodems (Figuur 16).

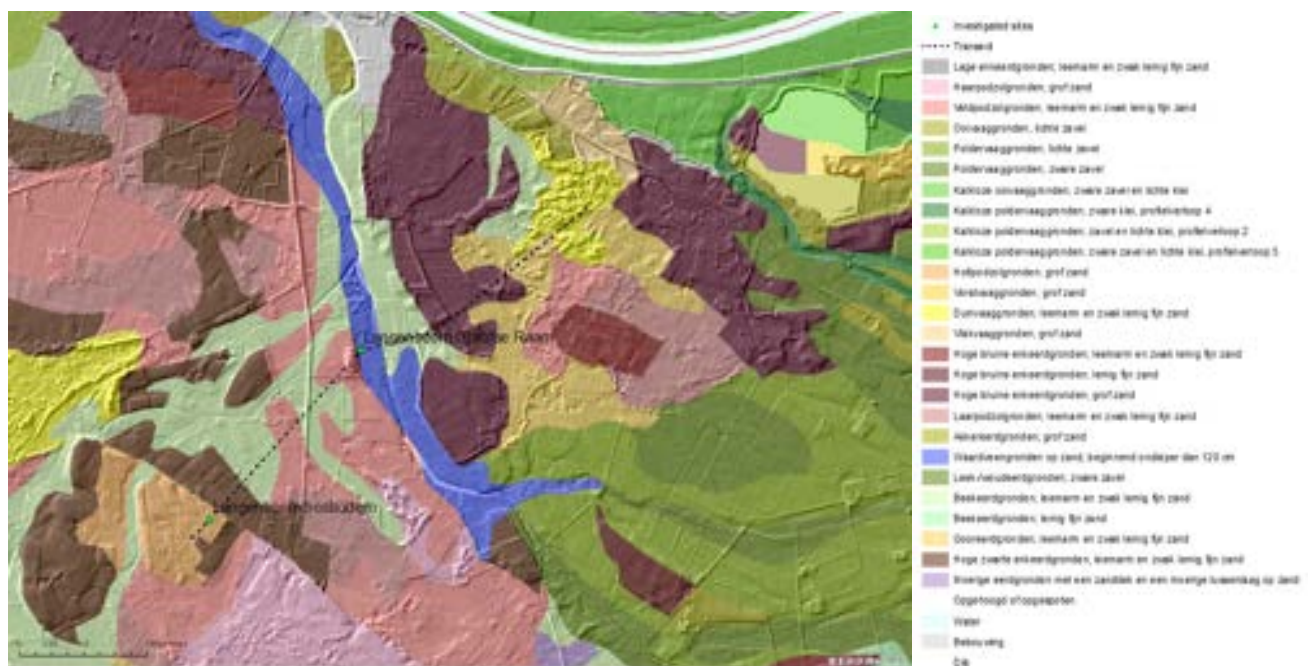
Doordat deze bodems vooral iets zeggen over bodemvormende processen in de afgelopen honderden jaren kunnen we alleen de relatief gezien actuele standplaatscondities benoemen. De holtpodzolgronden zijn door regenwater gevoede mineralogisch gezien wat rijkere bodems door leem. Haar- en veldpodzolgronden zijn ook regenwatergevoed en mineralogisch gezien arme zandgronden. Beekeerdgronden zijn door grondwater gevoed en daarmee mineralogisch gezien rijk. Dit geldt ook voor de veengronden die langs de Graafse Raam aanwezig zijn. Stuifzandgronden ten oosten zijn door bodemdegradatie ontstaan en vermoedelijk pas vanaf de middeleeuwen.



Figuur 14 Het geanalyseerde landschap rondom Langenboom, geprojecteerd op de hoogtekaart (AHN4). De boorlocaties in holtpodzol (Langenboom bosbodem) en op veengrond (Langenboom Graafse Raam) zijn beiden weergegeven. De landschapsreconstructie is gebaseerd op de analyse van het veenprofiel.



Figuur 15 Geomorfologie

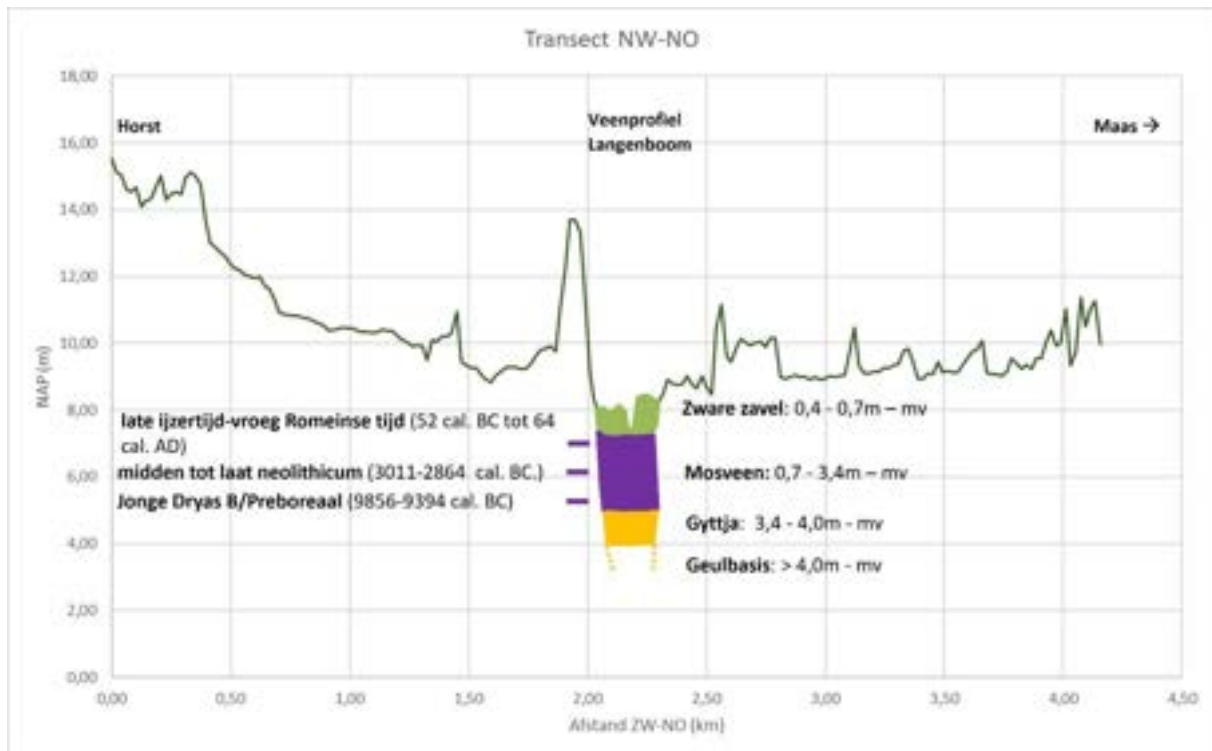


Figuur 16 Bodemkaart, 1:50.000. Brongegevens: WENR.

Analyse van de bodemopbouw van het Langenboomprofiel geeft een gedetailleerd beeld van de opvulling van de geul (Figuur 17), dat, gekoppeld aan de datering van het profiel (Schouten 2023), het volgende beeld oplevert. Op de zandige bodem van de geul is op de overgang van het pleistoceen naar het holoceen een ca. 60 cm dikke gyttja-laag ontstaan. Dit is organische laag die wordt afgezet in stilstaand water: resten van micro-organismen, planten en uitwerpselen van dieren zonken naar de bodem. De gyttja-laag is vaak slecht doorlatend, waardoor zich daarboven een veenpakket kon vormen. In het Langenboomprofiel is dit gekarakteriseerd als mosveen; de onderkant van deze laag is 9856 – 9394 jaar voor Chr. afgezet. De vorming van veen ging door tot in de Vroeg Romeinse tijd (52 cal. BC tot 64 cal. AD). Daarna vond er op de veenlaag



sedimentatie plaats van klei uit het Maassysteem. In die tijd werd de Maas dynamischer als gevolg van het kappen van bos stroomopwaarts.



Figuur 17 Datering en bodembeschrijving van de opvulling van de geul (Langenboomprofiel)

Ruimtelijke en temporele variatie in bostypen

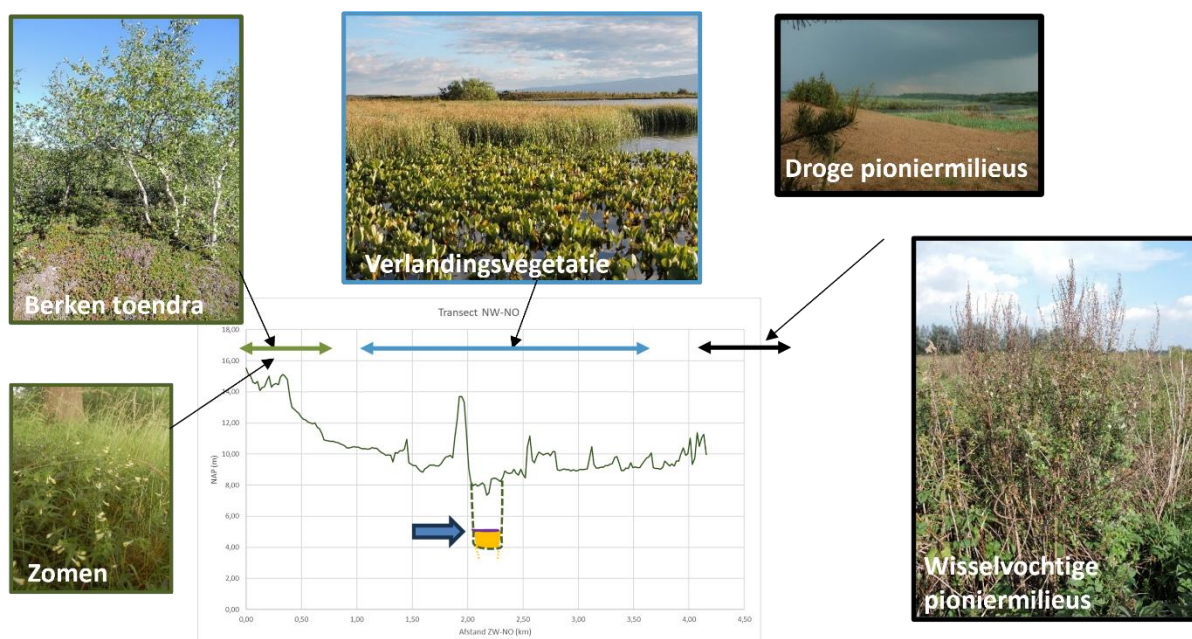
Vervolgens is voorkomen van alle plantensoorten uit het Langenboomprofiel (Figuur 12) geanalyseerd en is op basis van de huidige plantsociologische en ecologische kennis een indeling gemaakt in ecologische groepen (Bijlage 3). Dit is uitgevoerd voor verschillende diepten in het profiel en daarmee voor verschillende tijdsperiodes. In combinatie met het beeld uit het pollendiagram (Figuur 12) ontstaat een beeld van de vegetatieontwikkeling in ruimte en tijd. Op de overgang van de het pleistoceen naar het holoceen bestond de geul uit een verlandingsvegetatie met open water, waarin o.a. gele plomp en egelskop groeiden (Figuur 18). Op de oevers kwamen wilgenstruwelen/wilgenbossen voor. Op de hogere gelegen horst kwam een open toendra vegetatie voor voornamelijk berk. Grove den begon zich in dit landschap mondjesmaat te vestigen.

De Graafse Raam was vermoedelijk al verlaten door insnijding van de Maas, getuige het voorkomen van de gyttabodem met soorten van meer stabiele milieus zoals gele plomp (*Nuphar lutea*), egelskop (*Sparganium*), waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) en moerasspirea (*Filipendula ulmaria*). Op de oevers kwamen wilgenstruwelen voor. Op de hogere gelegen horst kwam een open toendra vegetatie voor voornamelijk berk. Een soort als hengel (*Melampyrum pratense*) wijst op aanwezige zoomvegetaties. De dekzandafzettingen waren nog nauwelijks vastgelegd gezien het voorkomen van soorten uit de heidefamilie (*Ericaceae*), wolfskluuw (*Lycopodium*), den (*Pinus sylvestris*). Ruderalen zoals alsem (*Artemisia*) verwijzen naar dynamiek, vermoedelijk door het destijds nog aanwezige vlechtende rivierenstelsel van de Maas. Grove den begon zich in dit landschap mondjesmaat te vestigen.

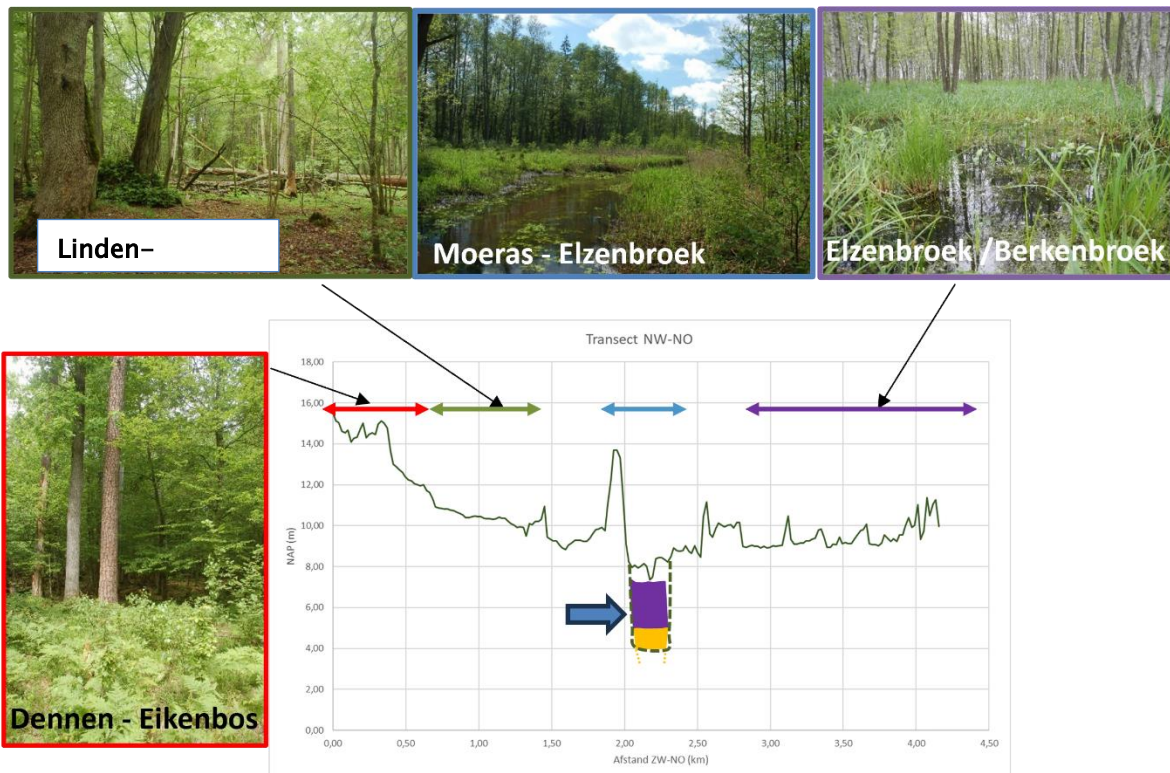
Het opwarmende klimaat schiep in de steentijd (3011 – 2864 cal voor Chr.) de condities voor een zeer divers boslandschap (Figuur 19). Soorten van de open water-groep zijn in die periode niet



aangetroffen (Bijlage 3). De invloed van de mens was nog zeer beperkt in die periode. Het is de overgangperiode van jagers-verzamelaars naar de prehistorische landbouw. In het Langenboomprofiel zijn in die periode de landbouwindicatoren (grassen, granen en heide) slechts zeer lage abundanties aangetroffen (Figuur 12). Daarentegen werd er een rijk palet aan boom- en bossoorten aangetroffen, waaronder soorten van zure arme bostypen (den, berk, eik en vuilboom), als ook soorten van een rijker bostype (iep, hazelaar, es en linde). Op de overgangen naar de horst en de horst stond in die periode waarschijnlijk een bostype dat gerekend wordt tot het linden-eikenbos, in mozaïek met de het dennen-eikenbos op de wat armere plaatsen. Kenmerkende soorten waren: linde (*Tilia*), iep (*Ulmus*), gewone es (*Fraxinus excelsior*). In die periode was de bodem nog veel minder uitgeloogd dan tegenwoordig (Nyssen & Van den Berg 2017), waardoor de condities voor bostypen van een mineraalrijkere bodem aanwezig waren. Maar ook nu nog worden bruine bosbodems (holtpodzolen) aangetroffen aan de randen van de Maashorst. De oorspronkelijke geul was inmiddels opgevuld met een dikke laag veen, en soorten van open water werden niet meer aangetroffen. De lagere terreindelen langs de oude verlaten geul bestond uit broekbos en moeras met soorten zoals: gele plomp, els (*Alnus*), munt (*Mentha*), wilg (*Salix*) en zeggen (*Cyperaceae*). Ook soorten als waterdrieblad en moerasspirea kwamen voor. Op de iets hogere, zandige rivierduinen richting de Maas, ontwikkelde zich een broekbos met kenmerken van een elzenbroek en berkenbroek.



Figuur 18 Voorkomen van verschillende vegetatietypen in het landschap rond Langenboom op de overgang van het pleistoceen – holocene (9856 – 9394 cal. Voor Chr.) Foto's: H. Smeenge



Figuur 19 Voorkomen van verschillende bostypen in het landschap rond Langenboom in de midden tot late steentijd (3011 – 2864 voor Chr.) Foto's: H. Smeenge

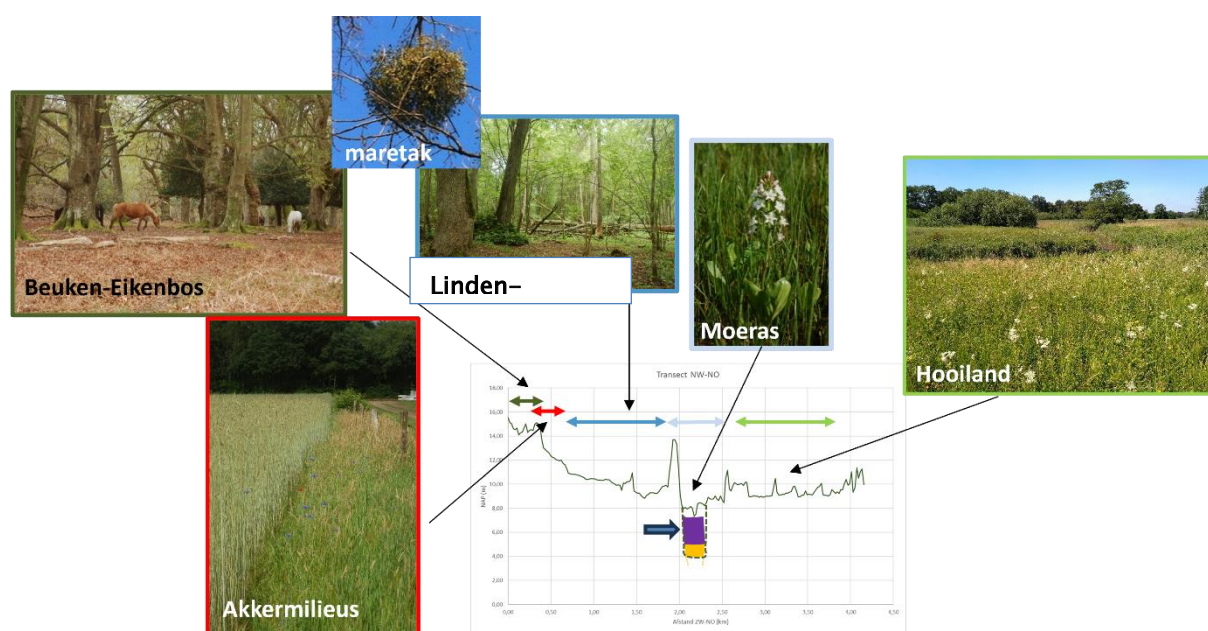
In de late ijzertijd tot Vroeg-Romeinse tijd (14C-datering: 52 v.C. tot 64 n.C.) begint de dynamiek in het Maassysteem te veranderen. Er wordt klei in het landschap afgezet. Dit klastisch materiaal is afkomstig vanuit erosiefases, waarschijnlijk een gevolg van ontbossing in het stroomgebied en ontwikkeling van de landbouw. Uit archeologische- en historische gegevens blijkt er sprake van een wegennetwerk langs de Maas en zien we alleen al op basis van Romeinse nederzettingen dat er veel drukpunten op het ecosysteem lagen. Het riviersysteem vult zichzelf op met sediment en het werd natter in het dal. Er komt een eind aan de veenvorming door sedimentatie van klei. Op de droge zandgronden van de Maashorst vond een verschuiving in het bosmozaïek plaats. Het Beuken-Eikenbos tekent zich af in de pollensamenstelling. Soorten zoals vuilboom (*Rhamnus frangula*) en beuk (*Fagus sylvatica*). Rijkere bossen kwamen ook voor gezien het voorkomen van haagbeuk (*Carpinus betulus*), maretak (*Viscum album*), hazelaar (*Corylus avellana*) en linde (*Tilia*).

Aan het einde van de ijzertijd nam de menselijke activiteit in het landschap toe: het was de periode waarin de landbouw intensiverde en regionaal ontbossing plaatsvond. Ook rond Langenboom zien we die veranderingen in het landschap (Figuur 20): er is een duidelijke toename van granen en grassen, en de dwergstruiken van de heide bereiken een maximum in de abundantie (Figuur 12 en bijlage 3). Voor het eerst is duidelijk sprake van landbouwinvloed door de aanwezigheid van gecultiveerde grassen (*Cerealia*) en toename van ruderaal soorten: alsme (*Artemisia*), ganzevoetfamilie (*Chenopodiaceae*), zuring (*Rumex*). Ook de soorten van de graslanden beginnen zich af te tekenen in de pollensamenstelling met taxa zoals: smalle weegbree (*Plantago lanceolata*), anjerfamilie (*Caryophyllaceae*), walstrofamilie (*Rubiaceae*). In de paleogeul zelf was inmiddels geheel verland en bevatte een elzenbroekbos en meer open mesotrofe moerassen, gezien het voorkomen van de lichtminnende soort waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) en moerasspirea. Het paleoecologisch beeld van een afwisseling tussen



meer en minder door mensen beïnvloede terreindelen past bij de historische situatie rond de jaartelling.

Het landschap was duidelijk opener geworden. Op de hoge, droge zandgronden in de horst groeide een beuken-eiken bos, waarin ook grove den, berk en vuilboom voorkwamen. Aan de randen van de horst, treffen we nu nog de enkeerdgronden aan: dit is waarschijnlijk de zone waarin de boeren van rond de jaartelling hun akkers hadden aangelegd. Op de rijkere bodems (de huidige beekeerdgronden) groeide ook in die tijd nog linden-eikenbos. De verlanding van de geul zette door en op de oevers zullen beslist elzen en wilgenstuwelen hebben gestaan. We verwachten echter dat tussen de Maas en de Graafse Raam een vrij open landschap bestond, met hooilanden en mogelijk ook kleine akkers, gezien de bodemtypen die hier ook nu nog worden aangetroffen (enkeerdgronden en gooreerdbodems).



Figuur 20 Voorkomen van verschillende bostypen in het landschap rond Langenboom op de overgang van de ijzertijd naar vroeg Romeinse tijd (52 voor Chr. – 62 na Chr.) Foto's: H. Smeenge

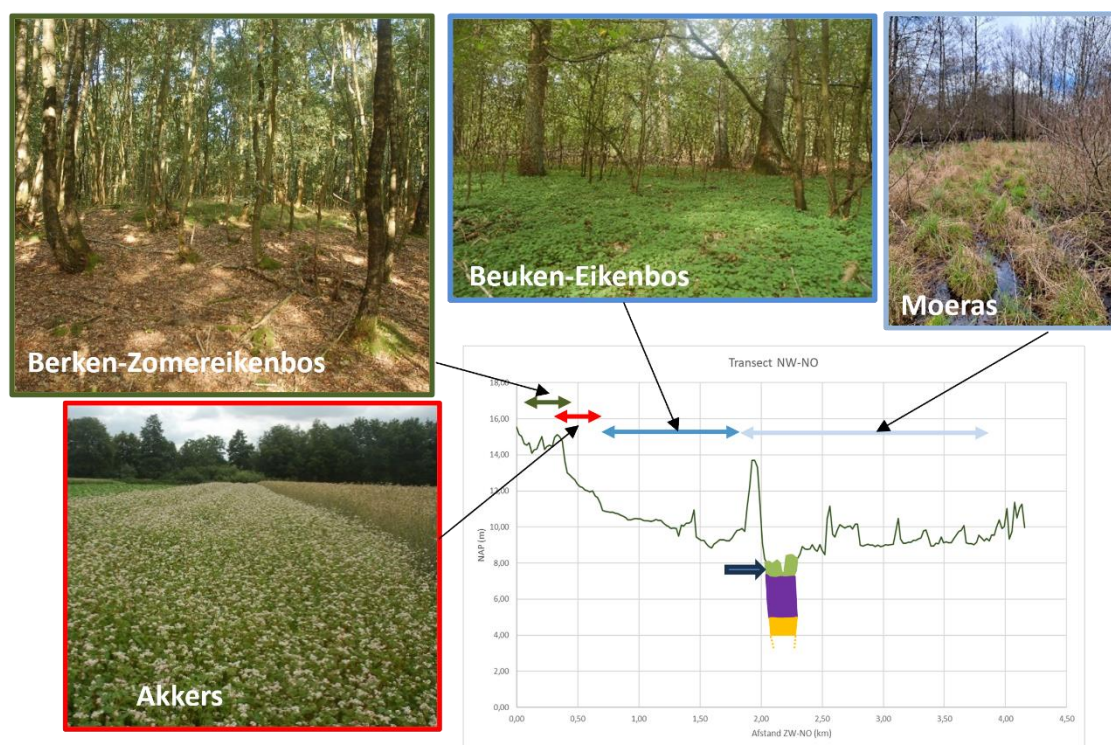
De bosontwikkeling vanaf de vroeg Romeinse tijd tot in de late Middeleeuwen is moeilijk te reconstrueren. In de Romeinse tijd nam de rivierdynamiek van de Maas toe als gevolg van ontbossing in de bovenstrooms gelegen gebieden. Voor veengroei werd het systeem te dynamisch; er vond sedimentatie plaats van klei en zavel. Dit is zichtbaar in de toplaag van het profiel. Vanaf de middeleeuwen neemt de cultuurbeïnvloeding sterk toe. Het Beuken-Eikenbos ontwikkelt zich verder gezien het voorkomen van hulst (*Ilex aquifolium*). Het rijke loofbos is nog niet van het toneel verdwenen en heeft kenmerken van het Eiken-Haagbeukenbos (subcentreupe floradistrict; zie vorige periode). Soorten zoals boekweit (*Fagopyrum esculentum*), korenbloem (*Centaurea cyanus*) zijn kenmerkend voor deze periode. Het meer open landschap komt vooral in de natte terreindelen tot uiting door opnieuw verschijnen van soorten van open water: aar- of kransvederkruid (*Myriophyllum*), witte waterlelie (*Nymphaea*) en gele plomp. Het elzenbroekbos is vermoedelijk gekapt en er hebben zich mesotrofe tot eutrofe moerassen en hooilanden ontwikkeld met oa. basterdwederik (*Epilobium*), kattestaart (*Lythrum*), veenmos (*Sphagnum*), munt (*Mentha*), waterdrieblad, moerasspirea

Tijdens de Romeinse tijd was Brabant vrij dicht bevolkt en mede daardoor verregaand ontbost. Door de ineenstorting van het Romeinse rijk verliet ca. 80% van de bevolking Noord-Brabant en



ontwikkelde zich een secundair bos in dunbevolkte gebieden (Anoniem 2024). In het uitgebreide beschrijving over Nistelrode aan de oostzijde van de Maashorst (hemelsbreed zo'n 12,5 km verwijderd van de locatie waar het Langenboomprofiel werd gestoken), vermeld Richard Jansen (Jansen 2007) dat ook hier de vroege Middeleeuwen (ca. 250 na Chr. en 600 na Chr.) een afname in de bevolkingsgroei in de omgeving plaatsvond, die gepaard ging met regeneratie van bos. Dit bos bedekte zeer waarschijnlijk ook (een deel van) de Maashorst. Vanaf het einde van de 6^e eeuw wordt dit bos weer gekapt en verdween het bos uiteindelijk vrijwel geheel om plaats te maken voor akkers en uitgestrekte heidevelden. Plaatsnamen zijn vaak ontstaan in de vroege Middeleeuwen en geven informatie over de aanwezigheid aan bos in die tijd. Opvallend is dat er aan de oostzijde van de Maashorst geen plaatsnamen zijn die duiden op de aanwezigheid van bos ((Anoniem 2024)(Eijgenraam et al., 2022). Rond 1450 zijn vrijwel alle bossen uit Brabant verdwenen (Nyssen & Van den Berg 2017, Anoniem 2024).

In het profiel van Langenboom is pollen te vinden van grove den, eik, berk en beuk, duidend op bostypen van droge zandige standplaatsen. Dit past in een bosbeheer dat werd gevoerd vanaf de Middeleeuwen, waarin de mens sterk stuurde op eik en beuk. Deze eiken-beuken bossen waren te vinden op de horst en de flank (Figuur 12, Figuur 21 en bijlage 3); richting de Maas was het landschap te nat en dynamisch geworden voor deze bostypen.



Figuur 21 Voorkomen van verschillende bostypen in het landschap rond Langenboom tot ca. 600 na Chr. Foto's: H. Smeenge

De bodemkaart geeft inzicht in waar de akkers en heidevelden gelegen hebben, aangezien de akkers werden bemest met plaggen die werden gestoken op de heidevelden (zie o.a. (Jansen 2007), (Spek 2004). Dit leidde tot vorming van enkeerdbodems ter plekke van de akkers en podzolbodems en stuifzanden in de heidegebieden. Dit landschap van akkers en heide bleef tot ongeveer 1850 bestaan; bossen waren destijds zeer kleinschalig en schaars. Vanaf 1860 wordt er weer bos aangeplant rond Langenboom (Figuur 22).



Figuur 22 Het landschap rondom Langenboom in ca. 1815 (links) en 1900 (rechts). Monsterpunten voor palynologie in Langenboom zijn in geel aangegeven. (Bron: (Anoniem, Topotijdreis.nl, 2019)

3.4.2 De Kempen: Klein Hasselsven (mesolithicum en vroeg neolithicum)

De aardkundige context

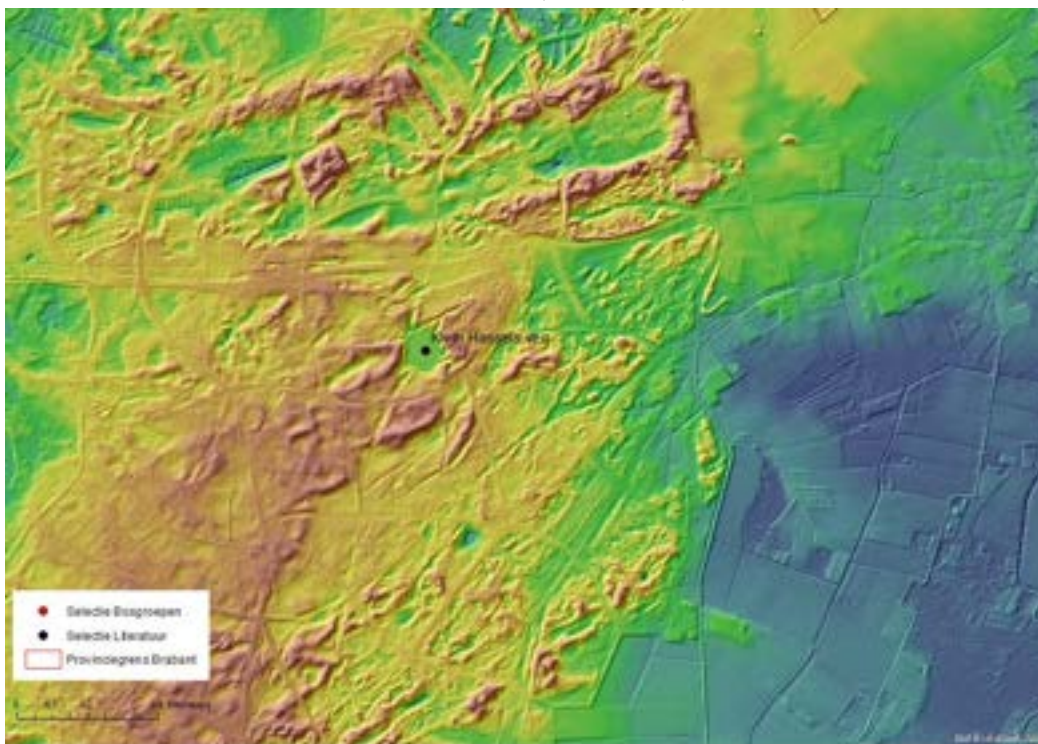
Het Klein Hasselsven ligt in het hart van de Kempen in het Leenderbos. Het Klein Hasselsven is een pingoruïne (Woolderink 2014). In het midden ligt een eiland van levend hoogveen, omgeven door een smalle ring van water (Figuur 22). Het ven ligt hoog in het landschap; ca. 800 m naar het oosten begint het beekdal van de Strijper Aa. Het ven wordt omgeven door landduinen (geomorfologische kaart). De bodemkaart geeft aan dat de directe omgeving van het ven bestaat uit haarpodzolgronden, bestaande uit leemarm en zwak lemig fijn zand. Oostelijker, maar nog hooggelegen, zijn stuifzanden aangetroffen. In het beekdal worden lage enkeerdgronden en gooreerdgronden aangetroffen, met rond de Strijper Aa vlierveenbodem (Figuur 23).

Ruimtelijke en temporele variatie in bostypen

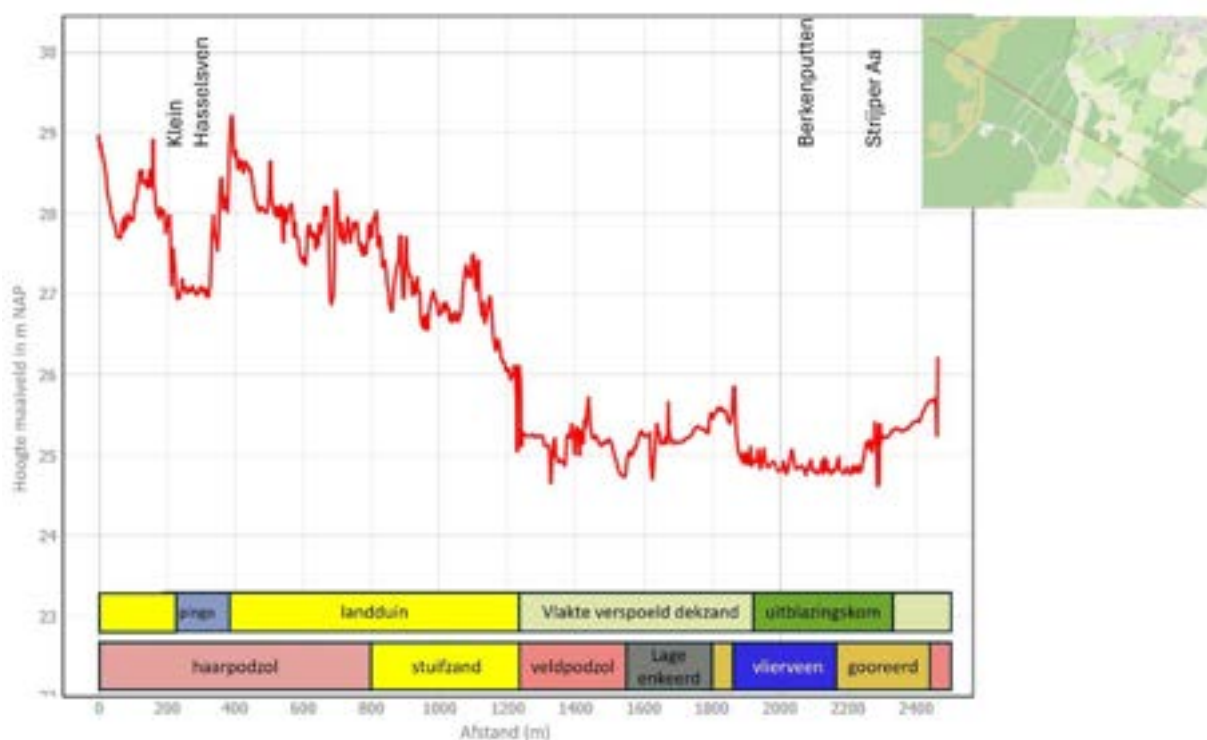
Van Leeuwarden (Van Leeuwarden 1982) voerde een pollenanalyse uit op een veenprofiel uit het Klein Hasselsven; het dateert uit de periode 12.000 – 7.000 BP, een periode die het mesolithicum en vroeg Neolithicum bestrijkt. In het veenprofiel werd zowel pollen aangetroffen van soorten van rijkere bossen (o.a. maretak, iep, gewone es, linde en hazelaar, zie bijlage 4), als van bos van voedselarmere bodem (berk, den en eik). Tevens werden eenarig wollegras en veenmossen aangetroffen, soorten die kenmerkend zijn voor hoogveen. Daarnaast vond van Leeuwarden pollen van wilg, els en moerasspirea, planten die hun biotoop vinden in moerasbos en moeras. De aardkundige context en de palynologie leveren tezamen de volgende landschapsreconstructie op: centraal in de pingoruïne lag net als nu een hoogveenkern, die zich mogelijk uitstreckte over een groter oppervlak (Figuur 24). Aan beide zijden van het dit hoogveen kwam bos voor: omdat de mens in die tijd nog geen noemenswaardige invloed op het landschap had, zijn dit waarschijnlijk uitgestrekte bossen. Zij vormden een mozaïek van rijkere linden-eikenbossen, met



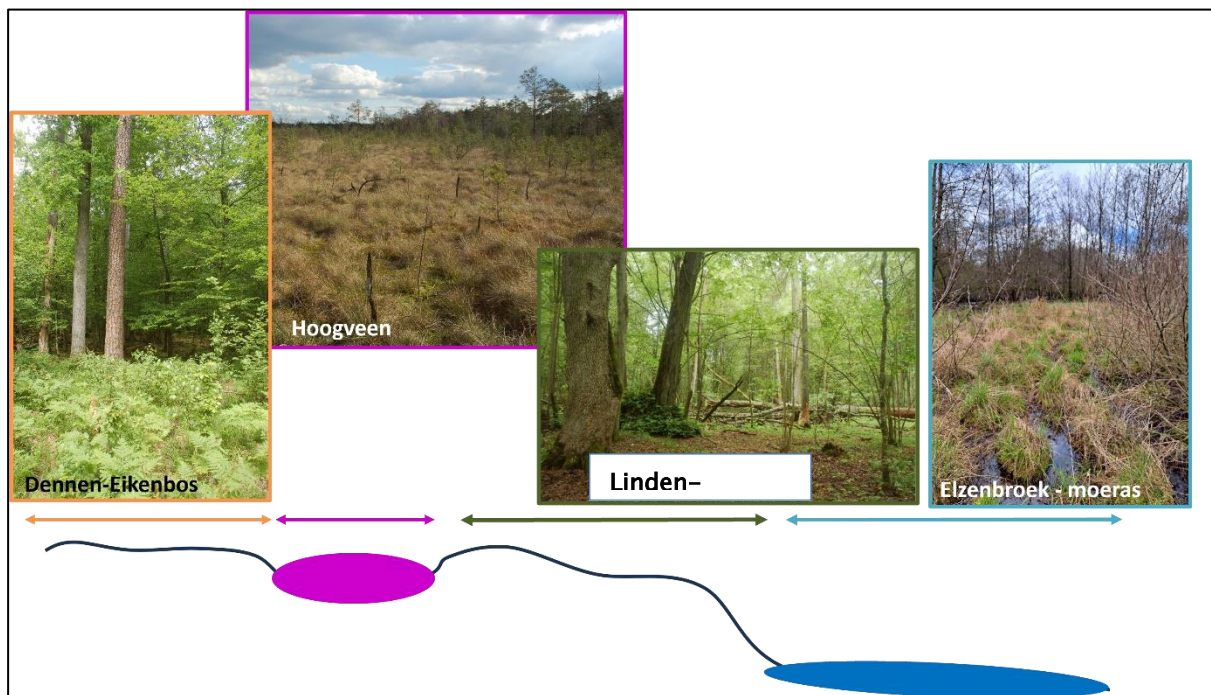
op de armere bodems (bijvoorbeeld op de stuifzanden), eiken-berkenbossen. In het beekdal bevonden zich moerassen en broekbossen (elzenbroek).



Figuur 22 Ligging van het Klein Hasselsven, geprojecteerd op de hoogtekarte (AHN4).



Figuur 23 Landschappelijke doorsnede van het Klein Hasselsven naar het beekdal (zie inzet). De rode lijn toont het maaiveld, de bovenste balk de geomorfologische indeling en de onderste balk de bodemtypen.



Figuur 24 Voorkomen van verschillende bostypen in het landschap rond het Klein Hasselsven in de steentijd en vroege ijzertijd (12.000 – 7.000 BP.)

3.4.3 De Kempen: Hoenderboom (Bronstijd en Romeinse tijd)

De aardkundige context

Aan de zuidzijde van de Strabrechtse heide (gemeente Someren), ligt het raatakkercomplex De Hoenderboom (Arnoldussen & Scheele 2018). Raatakkers (ook wel Celtic Fields genoemd) zijn de restanten van laat-prehistorische akkersystemen, die met aarden wallen werden omzoomd. Deze zijn zichtbaar binnen het AHN (Figuur 25). In het kader van onderzoek naar de aard, ouderdom en gebruikswijzen van de raatakkers, is het pollenspectrum bepaald op verschillende plaatsen in de aarden wallen die de akkers omringden. Het pollen geeft informatie over de vegetatie in de Bronstijd en Romeinse tijd (ca. 1700 BC – 165 AD).

Het raatakkercomplex ligt in een dekzandlandschap, dat op de geomorfologische kaart wordt omschreven als 'dekzandwelvingen' en 'laagten zonder randwal'. De bodem bestaat ter plaatse van de raatakkers uit haar- en veldpodzolbodems. Op enige afstand worden rond de vennen in het gebied ook gooreerdgronden en moerige eerdgronden aangetroffen.

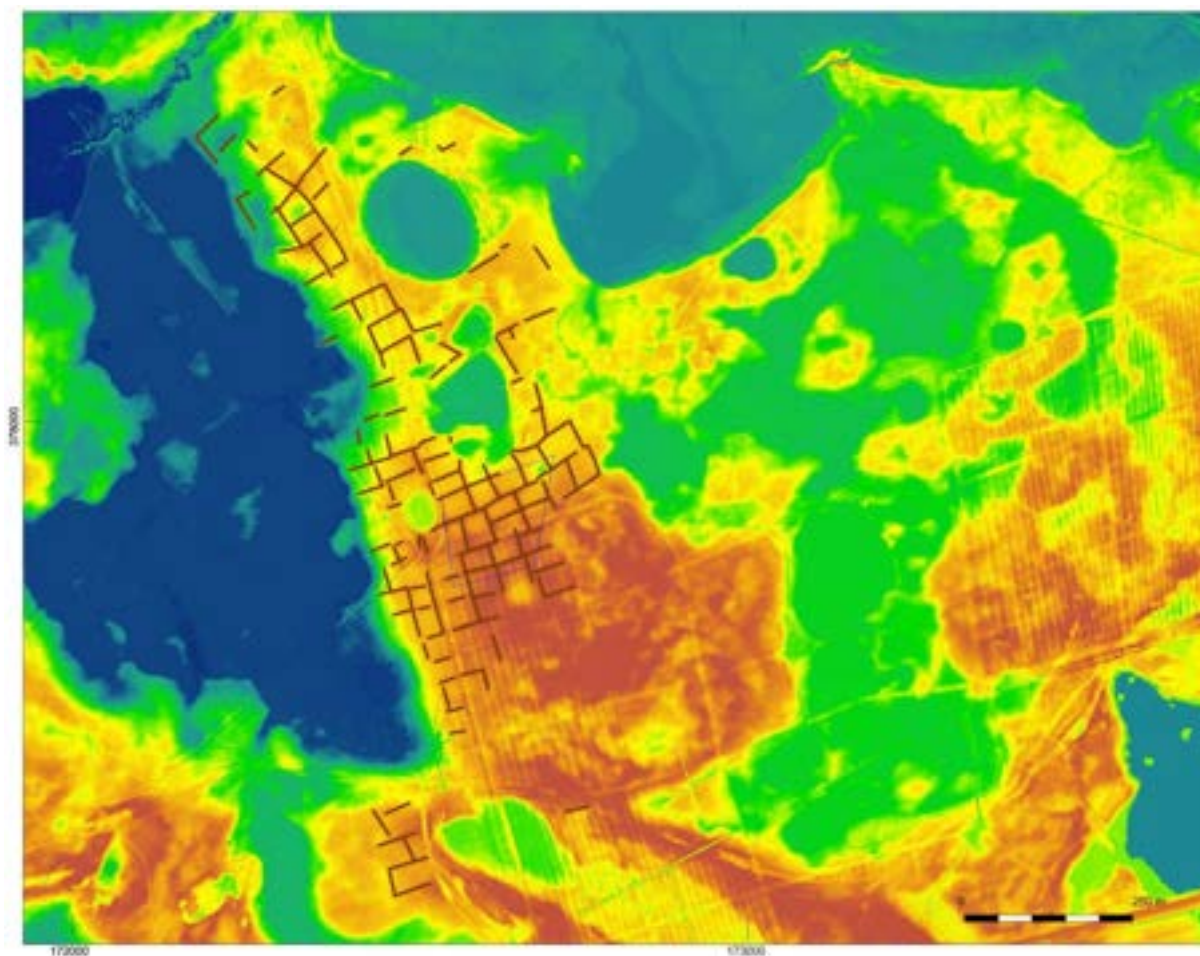
Ruimtelijke en temporele variatie in bostypen

Het pollenonderzoek toont de aanwezigheid van verschillende boomsoorten in de omgeving aan (zie bijlage 5). Zowel soorten van rijkere bossen, zoals Gewone es, Haagbeuk, linde en iep, als soorten van voedselarmere bossen (beuk, berk, den en eik). Soorten van natte moerasbossen (els, wilg en diverse zeggensoorten) werden eveneens gevonden in de pollenextracten. Daarnaast werd ook pollen aangetroffen van heide, akkers en graslanden.

Landschapsecologisch wordt het landschap als volgt geïnterpreteerd: er was sprake van een half-open landschap (Arnoldussen & Scheele 2018). In dit voedselarme gebied waren tijdens de bronstijd en Romeinse tijd rijkere bossen aanwezig, waarschijnlijk op de zandgronden, op enige afstand van de raatakkers. Daarnaast zullen op de voedselarmste plaatsen eikenbossen met berk en den hebben gestaan. Op de venige en moerige gronden langs de vennen en Witte loop kwamen moerasvegetaties voor. Het agrarische complex bestond uit akkers met onder andere



rogge, tarwe en gerst afgewisseld matig voedselrijke graslanden waarin ratelaar, blauwe knoop en smalle weegbree groeiden. In de omgeving kwam ook heide voor met o.a. struikheide.



Figuur 25 Raatakkercomplexen bij de Hoenderboom geprojecteerd op de AHN2 (blauw 22 m +NAP, rood 26 m +NAP). De walpatronen zijn met bruine lijnen aangegeven (Arnoldussen & Scheele 2018).

4 Conclusies onderdeel historische bossen

Op basis van bestaande en nieuwe gegevens kan worden gesteld dat de ecologische ontwikkelingen een samenspel was tussen factoren uit de aarde, de mens. De paleoecologische gegevens passen in het landelijke beeld over landschapontwikkeling, wanneer alleen wordt gekeken naar de boomsoortensamenstelling. Dit levert louter een bovenregionaal beeld waar lastig ruimtelijke grenzen aan zijn te geven. In deze studie is met een nieuwe aanpak een koppeling gemaakt tussen palynologische (stuifmeel) en plantensociologische (clustering van taxa naar gemeenschappen), waarbij lokale (taxa van natte) en regionale (taxa van droge) groeiplaatsen zijn samengevoegd naar landschapsecologische patroonkenmerken. Hierbij is aangenomen dat het kijkbeeld een radius van maximaal 2 km bevat en daarmee vooral een lokale vegetatiereconstructie vormt. Er zijn duidelijk verschillen tussen locaties door een groter of kleiner aandeel aan natte milieus of bijvoorbeeld akker- of graslandgemeenschappen door een verschillende cultuurdruk.

Omdat vooral voor arme zandgronden de vraag is gesteld in hoeverre rijke loofbossen kenmerkend zijn voor Brabant is er ingezoomd op drie locaties, waarvan Langeboom uitgebreid is beschreven. De Langeboomlocatie is namelijk de enige met een doorlopend bodemarchief vanaf de laatste ijstijd tot heden en daarmee een unieke onderzoekslocatie gebleken.

De bosontwikkeling sinds begin holoceen laat zien dat er op de zandgronden grote verschuivingen zijn in het bostype: van toendrabossen, via linden-eikenbossen naar eikenbos en sinds ca. 1850 het dennen-eikenbos. De grote motoren in de bosontwikkeling zijn veranderingen in klimaat en de manier waarop de mens gebruikt maakt van zijn omgeving. De bosontwikkeling in Brabant is op hoofdlijnen vergelijkbaar met de ontwikkeling die elders in Nederland heeft plaatsgevonden, maar er zijn lokale verschillen. De pollenprofielen in Veldhoven en Volkel suggereren dat het rijkere linden-eikenbos later is gevormd en langer heeft standgehouden dan elders.

In het Vroeg Holoceen waren slechts een handvol boomsoorten aanwezig. Het boslandschap op droge terreindelen bestond uit den, berk en wat later eik. Vanaf de midden steentijd waren er tal van nieuwkomers die meer schaduwverdragend waren en bovendien rijk strooisel bevatten: linde, iep, hazelaar. Ondanks dat beuk al in de bronstijd aanwezig was zien we deze in de pollensamenstelling pas tegen de jaartelling kenmerkend worden en wijst deze samen met vuilboom op een armere bosgroeiplaats (Beuken-Eikenbos). Haagbeuk arriveerde pas in de ijzertijd en toont samen met maretak, hazelaar en linde aan dat er nog wel sprake was van rijke loofbossen. Pas in de Romeinstijd en middeleeuwen neemt het aandeel cultuursoorten toe en krijgt het Beuken-Eikenbos verder gestalte. Ontbossing en dalopvullingsprocessen door cultuurinvloed leidde zelfs tot vernattingsprocessen.

Hoewel het linden-eikenbos als bostype uit Brabant is verdwenen, blijken kenmerkende soorten als linde en hazelaar constant in lage abundantie in de pollenprofielen aanwezig. We kunnen vaststellen dat het landschap oneindig gevarieerd was en het erg afhangt van het schaalniveau en tijdsperiode waarop je naar landschap kijkt en welke conclusies je aan principes als veerkracht, bodemdegradatie en bodemkwaliteit kijkt. Soorten van rijke landschappen (rijk strooiselsoorten) hebben zich waarschijnlijk gehandhaafd op plekken waar leem in de bodem aanwezig is of grondwatervoeding plaatsvond. In arme milieus kwamen rijkere soorten voor langs wegen, houtwallen en op erven.



Er zijn hiaten in de kennis over de bosontwikkeling in Brabant, zowel in de ruimte als in de tijd. Mede door het ontbreken van gedateerde palynografische data. De Laat-Romeinse tijd en de (vroeg) Middeleeuwen vormen een groot hiaat in kennis.

Voor een aantal locaties waarvoor gedateerde palynografische data beschikbaar was, is deze gebundeld met de kennis van landschapsecologie en vegetatiekunde. Dit levert een veel genuanceerder beeld van het Brabantse boslandschap op. Boslandschappen veranderen en variëren in diversiteit in tijd.



5 Literatuur

- Anoniem. (2019). Opgehaald van Topotijdreis.nl.
- Anoniem. (2024, december). *Bosplaatsnamen Brabant*. Opgehaald van <https://noord-brabant.maps.arcgis.com/>: <https://noord-brabant.maps.arcgis.com/apps/instant/sidebar/index.html?appid=ca3150aa0ca04639b0320752ec59baf6>
- Arnoldussen, S., & Scheele, E. E. (2018). Someren – De Hoenderboom: archeologisch onderzoek aan een Brabantse raatakker. (S. Arnoldussen, & E. E. Scheele, Red.) *Grondsporen*.
- Aukes, T. (2023). *A high-resolution reconstruction of past human influence and climatic change during the last 3600 years at Langenboom, the Netherlands*. Amsterdam: Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam.
- Beukenkamp, P., & Sevink, J. (2005). Natuur en Landschap. In *De Hoge Veluwe* (pp. 40 – 96). Zwolle: Wandersuitgeverij.
- Brandenburg, C., & Kooistra, L. (2004). Landschap en vegetatieontwikkeling. In Koot C.W., & R. Berkvens, *Bredase akkers eeuwenoud. Erfgoedstudies Breda 1* (pp. 37–45).
- Buis, J. (1985). *Historia Forestris. Nederlandse bosgeschiedenis*. Utrecht: HES Uitgevers.
- Doorenbosch, M. (2013). *Ancestral heaths; reconstructing the barrow landscape in the central and southern Netherlands*. Leiden: Sidestone press.
- Eijgenraam, G., Groenewoudt, B., & Kosian, M. (2022, maart). Verdwenen bos opnieuw op de kaart. Aanzet tot een landelijke kartering van bos in het laatmiddeleeuwse landschap aan de hand van bos-gerelateerde plaatsnamen. *Tijdschrift voor historische geografie*, pp. 44 – 64. doi:<https://doi.org/10.5117/THG2022.1.003.EIJG>
- Engels, S., Bakker, M., Bohncke, S., Cerli, C., Hoek, C., Jansen, B., . . . Wolma, M. (2016). Centennial-scale lake-level lowstand at Lake Uddelermeer (The Netherlands) indicates changes in moisture source region prior to the 2.8-kyr event. *The Holocene*, pp. 1075 – 1091.
- Hennekens, S.M., N.A.C. Smits & J.H.J. Schaminee, 2010. SynBioSys Nederland, versie 2. Alterra, Wageningen UR.
- Jansen, R. (2007). *Bewoningsdynamiek op de Maashorst: de bewoningsgeschiedenis van Nistelrode van laat-neolithicum tot volle middeleeuwen*. Leiden: Archol Rapport.
- Janssen, C. (1974). *Verkenningen in de palynologie*. Oosthoek: Scheltema & Holkema.
- Janssen, C., & ten Hove, H. (1971). Some Late-Holocene pollen diagrams from the Peel raised bogs (Southern Netherlands). *Review of Paleobotany and Palynology*, pp. 7–53.
- Kemmers, R.H, S.P.J. Van Delft, M.C. Van Riel, P.W.F.M. Hommel, A.J.M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar & H. Smeenge, 2011. De Landschapssleutel, een leidraad voor landschapsanalyse. Alterra-rapport, 2140. Wageningen.
- Koop, H.G.J.M. & H. Smeenge, 2016. Het 3- Markenboek De Lutte, Berghuizen, Beuningen. Transcriptie en omzetting naar het hedendaags Nederlands vanuit de eeuwenoude markeboeken die zich bevinden in het archief Historisch Centrum Overijssel. 1402–1856. Historische Vereniging De Dree Marken. De Lutte.
- Koop H.G.J.M. & H. Smeenge, 2019. Markeboek Drieschicht 1498–1786 Mander, Vasse, Geesteren. Transcriptie, hertaling met uitleg en beelden uit een boeiend verleden. Historische kring Vasse, Mander Hezingen, Stichting Heemkunde Geesteren, Stichting Heemkunde Manderveen, Stichting Heemkunde Langeveen. Geesteren



- Liu, Q. (2023). *Reconstruction of vegetation dynamics of Holocene in North-Brabant, the Netherlands: a regional and a detailed pollen-based review*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- Moonen, K. (2022). *NPP-based reconstruction of the pre- and post-farming landscape from a soil core from Langenboom, the Netherlands*. Amsterdam: Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam.
- Nyssen, B., & Van den Berg, L. (2017). Bosontwikkeling op droge zandgronden. In J. v. Straaten, W. v. Kruijsbergen, E.-J. v. Haaften, & J. Hendriks, *Natuurgebieden in Noord-Brabant. Ontstaan, ontginning en natuurontwikkeling* (pp. 398 – 413). Woudrichem: Pictures Publishers en Ecologische Kring Midden-Brabant.
- Raap, E., & Janse, J. (2021). *Historische schets van bossen en bosaanplant in Nederland*. Amersfoort: Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed en Staatsbosbeheer.
- Schaminée, J. H., Hommel, P., Stortelder, A., Weeda, E., & Westhoff, V. (1995–1999). *De vegetatie van Nederland 1–5*. Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Schouten, A. (2023). *A reconstruction of landscape development of Langenboom, Brabant over the past 12000 years*. Amsterdam: Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam.
- Smeenge, H. (2020). De lange-termijn ontwikkeling van de vegetatie van Noordoost-Twente: integratie van paleo- en ecologisch onderzoek. In H. Smeenge, *Historische landschapsecologie van Noordoost-Twente. Acht interdisciplinaire studies op het snijvlak van aardkunde, ecologie en cultuurhistorie (ca. 13.000 BP – heden)*. Ede: Rijksuniversiteit Groningen.
- Spek, T. (2004). *Het Drentse esdorpenlandschap*. Utrecht: Stichting Matrijs.
- Sugita, S., M.J. Gaillard & A. Brostrom, 1999. Landscape openness and pollen records: a simulation approach. The Holocene, 9–4.
- Thews, F., & Van der Heiden, M. (2011). *De archeologie van de Brabantse akkers*. Amsterdam: Diachron / Universiteit van Amsterdam.
- Thill, G. (1977). *Vor- und Frühgeschichte Luxemburgs*. Luxembourg: Editions Bourg-Bourger.
- Van Delft, J. (2022). *A reconstruction of Holocene vegetation to inform biodiversity restoration efforts in the sandy soils of Brabant*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- Van Geel, B., Bohncke, S., & Dee, H. (1980). A palaeoecological study of an upper Late Glacial and Holocene sequence from “De Borchert” the Netherlands. *Review of Paleobotany and palynology*, pp. 367 – 448.
- Van Leeuwarden, W. (1982). *Palynological and macropaleobotanical studies in the development of the vegetation mosaic in eastern Noord-Brabant (the Netherlands) during lateglacial and early holocen times*. Utrechts: Universiteit Utrecht.
- Van Mourik, J. (1999). *Paleogeografische aspecten van het landschap van Breda*. Amsterdam: FGBL, Universiteit van Amsterdam.
- Van Mourik, J. (2017). *Natural versus anthropogenic genesis of mardels on the Gutland plateau*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing.
- Van Mourik, J., & Slotboom, R. (2018). Palynological reconstruction of the effects of Holocene climatic oscillations and agricultural history on soils and landforms in Luxembourg. In A. Kooijman, L. Cammeraat, & A. Seijmonsbergen, *The Luxemburger Gutland Landscape*. Springer.
- Van Mourik, J., Seijmonsbergen, A., & Jansen, B. (2012). Geochronology of Soils and Landforms in Cultural Landscapes on Aeolian Sandy Substrates, Based on Radiocarbon and Optically



- Stimulated Luminescence Dating (Weert, SE-Netherlands). *InTech, Radiometric Dating*, pp. 75 – 114.
- Van Mourik, J., Seijmonsbergen, A., Slotboom, R., & Wallinga, J. (2012). The impact of human land use on soils and landforms in cultural landscapes on aeolian sandy substrates (Maashorst, SE Netherlands). *Quaternary International*, pp. 74 – 89.
- Vera, H. (2011). *Dat men het goed van den ongeboornen niet mag verkoopen, Gemene gronden in de Meierij van Den Bosch tussen hertog en hertgang 1000–2000*. Oisterwijk: Uitgeverij BOXpress.
- Weeda, E., Westra, R., Westra, C., & Westra, T. (1987). *Nederlandse ecologische flora. Wilde planten en hun relaties* (Vol. 2). Hilversum: IVN.
- Woolderink, H. (2014). *Late Weichselian permafrost distribution and degradation. A pingo based reconstruction for the Netherlands*. Utrecht: Universiteit Utrecht.



Bijlage 1 overzicht tijdvakken

Geologie		Fase	BP-jaren ¹	Jaren v.C./AD ²	Archeologie ³	Fases	Aarde ⁴	Mens ⁵	Processen ⁴	Natuur ⁶		
Holocene	Subatlantikum		3.000-0	1.000 v.C. - heden	nieuwe tijd	1850-heden 1650-1850 AD 1500-1650 AD	C B A	koeler	staats-samenlevingen 900 AD	verstuivingen aanleg esdekken 800 AD	veel cultuurplanten (rogge, later ook korenbloem en boekweit)	
					middel-eeuwen	1250-1500 AD 1050-1250 AD 450-1050 AD	laat B laat A vroeg					
					romeinse tijd	270-450 AD 70-270 AD	laat midden					warmer
					vroeg	12 v.C. - 70 AD 250-12 v.C.	vroeg					warmer
						ijzertijd	500-250 v.C. 800-500 v.C.					midden vroeg
	Subboreaal		5.000-3.000	3.700-1.000 v.C.	brons-tijd	1.100-800 v.C. 1.800-1.100 v.C.	laat midden	1.500 v.C.			beuk > 5%, haagbeuk < 1%	
					vroeg	2.000-1.800 v.C.	vroeg					
					neolithicum	2.850-2.000 v.C.	laat					vroeg
	Atlantikum		8.100-5.000	7.000-3.700 v.C.	neolithicum	4.200-2.850 v.C. 5.300-4.200 v.C.	midden vroeg	3.400 v.C.	3.400 v.C.	3.700 v.C.	els en eik overheersen; den neemt af; iep > 5%	
					mesolithicum	6.450-4.900 v.C. 7.100-6.450 v.C.	laat midden					
	Boreaal		9.150-7.900	8.200-7.000 v.C.				8.2-event, kouder	jagers-verzamelaars	bebost landschap	berk, den overheersend	
	Pre boreaal	Laat Rammelbeekfase	9.700-9.150 9.850-9.750	mesolithicum	9.200-8.200 v.C. 9.300-9.200 v.C.							
		Frieslandfase	10.150-9.850		9.700-9.300 v.C.	vroeg						
Pleistocene	Laat Glaciaal	Jonge dryas B	10.550-10.150	10.700-9.700 v.C.	neolithicum	< 9.700 v.C.	laat B	koud			veel kruiden;	
		Jonge dryas A	10.950-10.550	11.000-10.700 v.C.	paleolith			koud		half bebost	open landschap	
		Allerød	11.900-10.950	12.000-11.000 v.C.				koel				

Bronnen

- 1) Ongekalibreerde koolstofjaren: Van der Hammen & Wijnstra, 1971, p. 64; Hoek, 1997, p.115-123; Hoek & Bohncke, 2001; p. 128-131.
- 2) 2-sigma gekalibreerde en omgerekende afgeronde kalenderjaren: OxCal 4.2. Curve, Intcal09.
- 3) Archisindeling RCE.
- 4) Jansen *et al.*, 2007; Ljungqvist, 2010; Groenewoudt & Smit, 2014; Stouthamer *et al.*, 2015, p.293-294, waarbij de processen gelden voor Hoog-Nederland.
- 5) Naar Louwe Kooijmans *et al.*, 2009; Groenewoudt & Smit, 2014.
- 6) Naar Zagwijn, 1986; Stouthamer *et al.*, 2015, p. 230.



Bijlage 2 Gedateerde paleo-ecologische data

In onderstaande tabel zijn de paleo-ecologische data opgenomen die zijn gescreend voor een gedetailleerde landschapsbeschrijving (paragraaf 2.3).

Nr	X	Y	Gebiedsnaam	Begin	Eind	Periode	Auteur
1	172520	377810	Hoenderboom, raatakkers	4955 BC	165 AD	Subatlantium	Arnoldussen 2018
2	156900	397480	Olland	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
3	167825	399985	Keldonk	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
4	162734	397084	Everse Moerkuilen	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
5	164.130	371120	Klein Hassels ven	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
6	172520	377810	Strabrechts Rond Veen (=Hoenderboomven)	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
7	152912	405297	Gemonde	12000 BP	7000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Van Leeuwarden 1982
8	164.130	371120	Klein Hassels Ven	12100 BP	11900 BP	Laat Glaciaal	H.A.G.Woolderink, 2014
9	173775	367725	Klein ven (Weerterbos)	12600 BP	9000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	H.A.G.Woolderink, 2014
10	173875	367675	Groot ven (Weerterbos)	12600 BP	9000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	H.A.G.Woolderink, 2014
11	172520	377860	Mierlo Ven Hoenderboom	13000 BP	9000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	H.A.G.Woolderink, 2014
12	184075	372710	Maartensdobbbe	12450 BP	11900 BP	Laat Glaciaal	H.A.G.Woolderink, 2014
13	164500	377600	Groote heide (depression 3)				H.A.G.Woolderink, 2014
14	165180	377526	Groote heide (depression 4)				H.A.G.Woolderink, 2014
15	165240	377120	Groote heide (depression 5)				H.A.G.Woolderink, 2014
16	147677	371163	Kempen (Klokvennetje)	12000 BP	9000 BP	Laat Glaciaal-Atlanticum	Qui Liu, 2023
17	112191	395852	Notsel	15072 BP	10874 BP	Laat Glaciaal	Qui Liu, 2023
18	165605	392345	Mariahout	14648 BP	13679 BP	Laat Glaciaal	Qui Liu, 2023
19	203713	399244	Bosscherheide	14411 BP	12406 BP	Laat Glaciaal	Qui Liu, 2023
20	204153	353632	Moerbeke (B)	14168 BP	12675 BP	Laat Glaciaal	Qui Liu, 2023
21	184164	423569	Duckenburg XXXV	9004 BP	11 BP	Atlanticum-Subboreaal-Subatlantium	Qui Liu, 2023
22	196017	408076	Kleefse Beek	8261 BP	heden	Atlanticum-Subboreaal-Subatlantium	Qui Liu, 2023
23	166232	422384	OSS 45E/346	6041 BP	3274 BP	Subboreaal-Subatlantium	Qui Liu, 2023
24	170348	430183	Horssen-Laagveld	4619 BP	143 BP	Subatlantium	Qui Liu, 2023
25	140679	413492	Haarsteegse Wiel	347 BP	heden	Subatlantium	Qui Liu, 2023



Bijlage 3 Langenboom: indeling taxa in ecologische groepen op basis vegetatiekunde

Indeling van gedateerde taxa in ecologische groepen per diepte volgens de Vegetatie van Nederland (1995). Achter elke soort is de mate van trouw aan een vegetatieklasse weergegeven in drie categorieën: rood: hoogste trouwgraad, zwart: trouwgraad > 5%, en grijs: trouwgraad < 5% (Smeenge 2020)

Langeboom (Raam) site Stratigrafie, diepte				Hoofdgroep	Open Water	Moerassen en moerasbossen	Hoogvenen Natte heide	Graslanden, heide en zomen	Pioniermilieus en ruderales ruigten	Arme bos- en zoommilieus	Rijke bos- en zoommilieus																										
Clay	Peat top	Peat	Peat base	Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	1	4	5	6	7	8	9	32	36	38	39	40	10	11	12	14	16	17	18	19	20	28	29	30	31	34	35	41	42	33	37	43
45 cm	95 cm	1,91 cm	2,85 cm	Groep 1																																	
x				aar-kransvederkruid	Myriophyllum spic./vert.																																
x				witte waterlelie	Nymphaea*.																																
x		x	x	gele plomp	Nuphar lutea																																
			x	egelskop	Sparanium spp.																																
				Groep 2																																	
x				basterdwederik-type	Epilobium-type*																																
x				kattestaart	Lythrum spp.																																
x				veenmos	Sphagnum spp.																																
x	x	x		els	Alnus glutinosa*																																
x		x		munt	Mentha spp.																																
x	x	x	x	wilg	Salix spp.																																
		x		cypergrassenfamilie	Cyperaceae																																
x	x		x	waterdrieblad	Menyanthes trifoliata																																
				Groep 3																																	
x	x			anjerfamilie	Caryophyllaceae																																
x	x		x	compositietenfamilie	Asteraceae liguliflorae																																
		x		smalle weegbree	Plantago lanceolata (type= P. lanceolata)																																
		x		walstrofamilie	Rubiaceae																																
x	x	x	x	grassenfamilie	Poaceae																																
x	x	x	x	moerasspirea	Filipendula ulmaria																																
x	x		x	schermbloemenfamilie	Apiaceae																																
	x	x	x	rozenfamilie	Rosaceae																																
				Groep 4																																	
x				boekweit	Fagopyrum esculentum																																
x	x			korenbloem	Centaurea cyanus																																
x	x			compositietenfamilie	Asteraceae tubuliflorae																																
		x		zuring	Rumex spp.																																
x	x	x		ganzevoetfamilie	Chenopodiaceae*																																
x	x		x	alsem	Artemisia spp.																																
x	x		x	gecultiveerde grassen	Cerealia spp.																																
				Groep 5																																	
x				zilverspar	Abies																																
x				hulst	Ilex aquifolium																																
x	x			beuk	Fagus sylvatica																																
		x		vuilboom	Rhamnus frangula																																
x	x	x	x	heidefamilie	Ericaceae																																
x	x	x	x	berk	Betula spp.																																
x	x	x	x	den	Pinus sylvestris																																
x	x	x	x	eik	Quercus spp.																																
x	x	x	x	wolfsklauw	Lycopodium spp.																																
				Groep 6																																	
x	x			haagbeuk	Carpinus betulus																																
	x			maretak	Viscum album																																
x	x	x		hazelaar	Corylus avellana																																
x		x		iep	Ulmus spp.																																
x	x	x	x	linde	Tilia spp.																																
x	x	x	x	varens ²	Monoete psilate sporen																																
		x	x	gewone es	Fraxinus excelsior																																

Referentiebeelden brabantse bossen op zand



Bijlage 4 Klein Hasselsven: indeling taxa in ecologische groepen op basis vegetatiekunde

Indeling van gedateerde taxa in ecologische groepen per diepte volgens de Vegetatie van Nederland (1995). Achter elke soort is de mate van trouw aan een vegetatieklasse weergegeven in drie categorieën: rood: hoogste trouwgraad, zwart: trouwgraad > 5%, en grijs: trouwgraad < 5%(Smeenge 2020).

	Klein Hasselsven/Klokven (Data: Van Leeuwarden, 1982; Woolderink, 2014).	Hoofdgroep	Open Water	Moerassen en moerasbossen								Hoogvenen Natte heide			Graslanden, heide en zomen								Pioniermilieus en ruderales ruigten				Arme bos- en zoommilieus				Rijke bos- en zoommilieus				
	Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Klasse	1	4	5	6	7	8	9	32	36	38	39	40	10	11	12	14	16	17	18	19	20	28	29	30	31	34	35	41	42	33	37	43
ATL	Groep 1																																		
	Groep 2																																		
x	Cypergrassenfamilie	Cyperaceae																																	
x	Wilg	Salix spp.																																	
x	Moerasspirea	Filipendula ulmaria																																	
x	Els*	Alnus glutinosa																																	
	Groep 3																																		
x	Heidefamilie	Ericaceae																																	
x	Eenarig wollegras	Eriophorum vaginatum																																	
x	Veenmos	Sphagnum spp.																																	
x	Struikhei	Calluna vulgaris																																	
	Groep 4																																		
x	Grassenfamilie	Poaceae																																	
	Groep 5																																		
	Groep 6																																		
x	Berk	Betula spp.																																	
x	Den	Pinus sylvestris																																	
x	Eik	Quercus spp.																																	
	Groep 7																																		
x	Maretak	Viscum album																																	
x	Iep	Ulmus spp.																																	
x	Klimop	Hedera helix																																	
x	Gewone es	Fraxinus excelsior																																	
x	Linde	Tilia spp.																																	
x	Hazelaar	Corylus avellana																																	

[illegible]



bosgroepen.nl



Reconstruction of vegetation dynamic of Holocene in North-Brabant, the Netherlands: a regional and a detailed pollen-based review

Qi Liu (13573519)

Submission Date: 10/01/2023

Supervisors: Dr W. Gosling and Iris de Wolf MSc

Abstract

The landscape of the Netherlands has constantly been changing under natural and anthropogenic influences. In this review, I aim to reconstruct the temporal and geographical variations of vegetation change in North-Brabant (The Netherlands) from Late Glacial (from c. 13,000 to c. 10,000 BP) to Holocene (from c. 11,700 BP to present). To achieve this, I chose nine key sites, following criteria with constraint on proxies, location, chronological range, recalibrated radiocarbon dating. Eleven other reference sites were also analyzed and discussed to supplement the vegetation dynamic of research area. Recalibrated radiocarbon dating information by age-depth model (Bacon) were retrieved from Neotoma Paleoecology Database (neotomadb.org) for a valid direct comparison among sites. A site-to-site comparison was conducted first, and regional vegetation development trend was analyzed and discussed.

Through this review, I identified a geographical gap, i.e., a lack of palynological data between the west and middle part of North-Brabant, and a chronological gap in palynological data from around 10,000 to c. 9,000 cal yr BP (i.e., Younger Dryas and Pre-boreal). This suggests that vegetation dynamics are inconsistent between previous literature and palynological records, which emphasizes the importance of independent radiocarbon dating. Furthermore, I found that the location and timing of human activities (i.e., agricultural practices) influenced vegetation development and landscape change in North-Brabant. In general, the degradation from forests to open landscapes after the introduction of crops was evident in most research sites.

In conclusion, the geographical and chronological gaps in North-Brabant (The Netherlands) can be filled with additional palynological data on regional (province) scales, and supplemented by radiocarbon dating. Furthermore, based on the pre-farming and post-farming landscape and vegetation changes in the research area, I provide guidance for the Bosgroep (<https://bosgroepen.nl/>) to manage and rewilding of the forest and nature areas in North-Brabant.

Contents

Abstract	3
1. Introduction	5
2. Methodology	8
3. Vegetation reconstruction in North-Brabant during Holocene	9
3.1 Key sites with radiocarbon dating	9
3.2 Reference sites without radiocarbon dating	17
4. Discussion	21
4.1 Geographical gap	21
4.2 Chronological gap	21
4.3 Vegetation dynamic before Younger Dryas: Pre-farming landscape	22
4.4 Impact on landscape by agriculture and the post-farming landscape	23
5. Conclusion	25
References	26
Appendix	30
1. List of Reference sites	30
2. Glossary of pollens	32

1. Introduction

The landscape of the Netherlands has constantly been changing over the last c. 11,700 years due to both natural and anthropogenic influences. Sea level rise, tides and waves, river dynamics, and peat formation are the four main factors driving Dutch landscape formation and development (Vos & Bazelmans, 2011). However, human impact on the Dutch landscape is not thought to have been widespread until the Roman period (from c. 1938 to c. 1450 before present (BP)) (Vos & Bazelmans, 2011), when the population grew more than 100 times compared to Mesolithic (from c. 11,100 to c. 6850 BP) (Groenewoudt & Van Lanen, 2018; Vos & Bazelmans, 2011). Since the Roman period, human activity is thought to have been the main driver of landscape change in the Netherlands due to population growth (from around 100,000 in the Roman period to more than 17 million at present) (Groenewoudt & Van Lanen, 2018; *World Development Indicators*, 2021), development of landscape and water management design (such as the construction of dams and canals), and the expansion of human activity (including the inhabitation and cultivation of peatlands) (Vos & Bazelmans, 2011).

During the Late Glacial (from c. 13,000 to c. 10,000 BP), climate ameliorated from the colder Late Pleistocene (from c. 15,000 to c. 11,700 BP) to warmer Holocene (from c. 11,700 BP to present) (Cohen et al., 2013), due to a global rise in temperature (from average 11 °C to 17 °C in summer, and from -16 °C to 0 °C in winter) (Atkinson et al., 1987). This temperature change paralleled by landscape shift (Cohen et al., 2013; Hoek, 1997b; Mangerud et al., 1974; Vos & Bazelmans, 2011). The sea level rose quickly between c. 10,950 and c. 6950 BP, causing the Netherlands to shrink (Vos & Bazelmans, 2011). This period of sea level rise and shrinking of the Netherlands ended around 5800 BP, with the increase of fluvial sand and clay deposition. Peatland started to form at around 8950 BP and expanded afterwards in the Netherlands, resulting in natural succession at c. 5800 BP (Vos & Bazelmans, 2011). From c. 5450 BP, low dunes and beach walls had formed along the entire west coast and closed the open coastline. The large fluvial sediment volume eventually moved the coastline seaward. Peatland had been expanding between beach walls and the high-lying Pleistocene land. Around 2450 BP, this ended due to human activity. From the Middle Ages (from c. 1450 to c. 450 BP) (Vos & Bazelmans, 2011), anthropogenic factors (e.g., peat cultivation, dike and dam building, and agriculture practices) dominated landscape change.

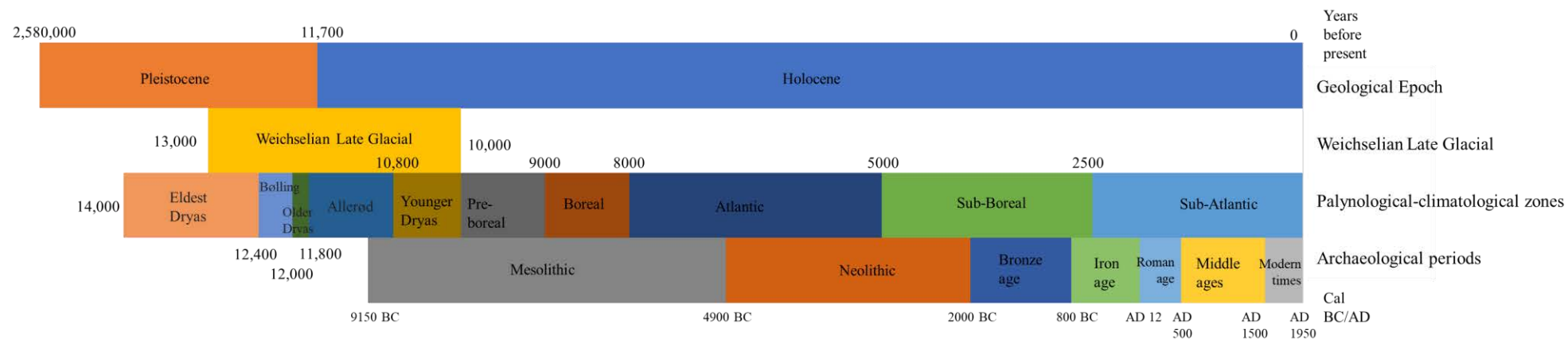


Figure 1. Chronologic and geographic overview from Late Pleistocene to Holocene. Modified from (Cappers, 2012; Hoek, 1997b; Vos & Bazelmans, 2011); The palynological-climatological zones are named following Cappers (2012); therefore, Older Dryas and Younger Dryas are used instead of Early Dryas and Late Dryas.

The vegetation of the Netherlands has undergone pronounced changes since the Late Glacial (Hoek, 1997b; Mangerud et al., 1974). Major changes in vegetation patterns were the combined result of climate amelioration (warming), local abiotic landscape formation and change (lithology, geomorphology and geohydrological), and the competition between taxa. These changes occurred primarily during the earlier Holocene, while in the late Holocene, there was a significant influence by anthropogenic activities (Fyfe et al., 2013; Hoek, 1997b). Ten climate zones have been established from Late Glacial to Holocene based on pollen analysis (Figure 1).

From about 14,000 BP until the Younger Dryas (from c. 10,800 to c. 10,000 BP), shrubs and trees entered the Netherlands, e.g., *Betula* (birch), *Pinus* (pine), and *Juniperus* (juniper) (Vos & Bazelmans, 2011). Generally, the tundra landscape in the Netherlands gradually changed into herbaceous vegetation in the Late Glacial, with *Betula* present in the Bølling (from c. 12,400 to c. 12,000 BP) (Hoek et al., 2017). The vegetation development in the Holocene is more complicated (Cappers, 2012). During the Pre-boreal (from c. 10,000 to c. 9000 BP), arboreal pollen (tree pollen; AP) largely increased due to the growth of *Pinus* and *Betula*. The Boreal (from c. 9000 to c. 8000 BP) is characterized by high *Pinus* and high *Corylus* (Hazel) values, indicating mixed forest with open spaces. The Atlantic (from c. 8000 to c. 5000 BP) has characteristics of high *Alnus* (alder), *Ulmus* (elm), *Quercus* (oak) and *Tilia* (lime). The average pollen records suggested dense forests during the Atlantic due to the low value of *Corylus* and optimum climate. The values of AP decreased, and non-arboreal pollen (NAP) correspondingly increased during the Sub-boreal (from c. 5000 to c. 2800 BP) and continuing until the Sub-Atlantic (from c. 2800 BP to present). The changes were possibly due to the exploitation and land-use change of the peatland into agricultural use (e.g., increase in cultivation of *Cerealia*) from late Middle Ages (from c. 1450 to c. 450 BP) (Cappers, 2012).

Archaeological evidence indicates human alteration of the environment in a few steps (Figure 1), which can be extended back to Pleistocene when Neanderthals first inhabited the Netherlands and were replaced by modern humans later (Vos & Bazelmans, 2011). From c. 7250 BP (late Mesolithic), people who lived in the Netherlands at present started to do agriculture and raise livestock, which was first found in South Limburg (Vos & Bazelmans, 2011). From around 5450 BP (middle Neolithic), farmers intensively used natural resources, resulting in the landscape retrogressive from forests into fields and meadows. Human activities had increasing impacts on the Netherlands from around 2450 BP (middle of Iron Age). For example, the exploitation of peat as fuel and salt extraction led to the reduction in the peatland. Human impact on the landscape also increased with residents recutting the forest and constructing hydrological constructions.

Pollen analysis is a commonly used method in paleoecology, especially for studying past ecology and climate changes by reconstructing vegetation history. Much research focused on local (site-specific) vegetation reconstruction by pollen analysis (Bakels, 1999; Bohncke et al., 1987, 1993). Additionally, at the more extensive, sub-continental scale (north-western Europe), some reviews of pollen research have been conducted (de Jong, 1988; Donders et al., 2007; Hoek, 1997b, 1997a). However, reviews that emphasize regional (province) scales are missing. In this review, I aim to answer the question: How do temporal and geographical variations of vegetation change during the Holocene, and what was the pre-farming landscape in North-Brabant? This review can also be used as a guideline for the Bosgroep (<https://bosgroepen.nl/>) to improve forest and natural areas' management and rewilding practices in North-Brabant.

2. Methodology

In this literature review, I summarized and categorized the existing literature on vegetation changes in North-Brabant (The Netherlands) from Late Glacial to Holocene. The literature was gathered mainly from Neotoma Paleoecology Database (neotomadb.org), an online database with sampling core information and relevant publications. Other literature databases (e.g., Web of Science, Scopus) also supplemented the literature for this review.

The selection procedures for the literature from Neotoma Paleoecology Database followed the criteria listed below:

1. Proxies: I mainly focused on sites with pollen analysis to comprehensively understand the vegetation history.
2. Geographical range: I focused on the province of North-Brabant (The Netherlands). However, several sites close to North-Brabant are included to give a broader context about the vegetation dynamics in the sandy soil in the surrounding area.
3. Chronological range: I emphasized sites with evidence and date back to Late Glacial to provide vegetation history from Late Glacial (from c. 13,000 to c. 10,000 BP) to Holocene (from c. 11,700 BP to present).
4. Recalibrated time frame: I categorized sites into key and reference sites depending on whether the sites have radiocarbon dating information. Key sites are sites with radiocarbon dating. Furthermore, key site time and zone boundary ages were determined using the given age-depth model (Bacon) in Neotoma Paleoecology Database. The standardized chronologies calibrated by Bacon model make it possible to compare directly among sites (Blaauw & Christen, 2011). Due to the limited number of sites with chronological information, the number of radiocarbon dating does not matter in this review. In this review, I also chose several sites without radiocarbon dating as reference sites to supplement local vegetation history. A generalized chronostratigraphic framework can estimate reference sites' ages and vegetation development. However, interpreting these additional sites must be treated with caution as the timing of events lacks independent verification.

This review mapped out nine key sites with chronological information, including one site from Brabant in Belgium and eleven reference sites without chronological information. The vegetation reconstruction followed the processes listed below:

1. Basic information (e.g., site name, site ID, coordinates, altitude, collective device, surrounding vegetation, dataset ID, references) were obtained from Neotoma Paleoecology Database.
2. After reading the literature, more detailed information was gathered (e.g., time frame, number of radiocarbon dating, proxies, sampling resolution, sampling frequency, and agricultural indicators).
3. Stratigraphy information and pollen analysis were collected. A site-to-site comparison was first conducted, and then, regional vegetation development trend was analyzed and discussed.

3. Vegetation reconstruction in North-Brabant during Holocene



Figure 2. Overview of chosen sites in North-Brabant, the Netherlands. Sites are divided in groups based on the presence of radiocarbon dating: key sites (marked with red stars) have radiocarbon dating, while reference sites (marked with points) do not have radiocarbon dating. The corresponding names for key sites and reference sites are listed in Table 1 and Appendix 1. I used simplified geomorphology map as a base map here to indicate each point's geomorphology feature (i.e., aeolian, fluvial and other).

3.1 Key sites with radiocarbon dating

Four sites (Notsel, Mariahout, Bosscherheide and Moerbeke (Belgium)) provide information

covering the end of the last glacial period and Late Glacial. Only one site (Notsel) includes dates of the beginning of Holocene (from c. 11,700 to c. 10,800 BP; Allerød). Five sites (Duckenburg XXXV, Kleefse beek, Oss 45E/346, Horssen-Laagveld and Haarsteegse Wiel) have chronological data during Holocene in which Duckenburg XXXV, Kleefse beek and Oss 45E/346 covers Boreal and Atlantic while Oss 45E/346, Horssen-Laagveld and Haarsteegse Wiel covers Sub-boreal and Sub-Atlantic (Table 1, Figure 2).

Table 1. Key sites description. This table contains information on the key sites used in this review. Given are the codes (corresponding to Figure 2), the Site ID from Neotoma, the site name, the location (longitude, latitude, and altitude), the type of proxy (C = Charcoal, P = Pollen, M = macrofossils, I = insects, ^{14}C = radiocarbon dating), the time frame (calibrated years before present (cal yr BP)), the number of radiocarbon dating, sampling resolution (year/sample number), samples frequency (depth(m)/sample number), agricultural indicators, geomorphology features and references. 1. Calibrated years before the present (cal yr BP), which were extracted from Neotoma Paleoecology Database, are used in this review to allow direct comparison between key sites. 2. All sites have radiocarbon dating except Haarsteegse Wiel which used multiple proxies to determine dating including magnetic susceptibility (MS).

Cod es	Site ID	Site Name	Longi tude	Latitu de	Altitu de	Proxy	Time Frame (cal yr BP)	Numbe r of radioca rbon dating	Sampling resolution (year/sam ple number)	Samples frequency (depth(m)/sa mple number)	Agricultura l indicators	Geomor phology features	Reference
K1	13444	Notsel	4.77	51.55	5	^{14}C P M I C	1,5072 to 1,0874	4	1049.5	0.2	NA	Aeolian	(Bohncke et al., 1987)
K2	13445	Mariahout	5.54	51.52	14	^{14}C P	1,4648 to 1,3679	2	484.5	0.2	NA	Aeolian	(Bohncke, 1993)
K3	13446	Bosscherh eide	6.09	51.58	18	^{14}C P M thin section analyses	1,4411 to 1,2406	4	501.3	0.1	NA	Aeolian	(Bohncke et al., 1993)
K4	3291	Moerbeke (Belgium)	4.95	51.17	4	^{14}C P	1,4168 to 1,2675	2	746.5	0.8	NA	NA	(Verbruggen, 1979; Verbruggen et al., 1996)
K5	29094	Duckenbur g XXXV	5.81	51.80	8	^{14}C P	9004 to 11	3	2997.7	0.8	<i>Cerealia</i>	Fluvial	(Karg et al., 2008; Teunissen, 1990)

K6	28904	Kleefse beek	5.98	51.66	16	¹⁴ C P	8261 to - 43	8	1038.0	0.2	<i>Cerealia</i> <i>Hordeum</i> (barley) <i>Secale</i> (rye)	Fluvial	(Teunissen, 1990)
K7	28534	Oss 45E/346	5.55	51.79	5	¹⁴ C P	6041 to 3274	6	461.2	0.9	<i>Hordeum</i> <i>Triticum</i> (w heat) <i>Linum</i> <i>usitatissim</i> <i>um</i> (flax) <i>Vicia faba</i> (broad bean)	Fluvial	(Bakels, 1999)
K8	28515	Horssen- Laagveld	5.61	51.86	5	¹⁴ C P	143 to 4619	7	639.4	0.3	<i>Hordeum</i> <i>Secale</i>	Other	(Karg et al., 2008; Teunissen, 1990)
K9	27309	Haarsteegs e Wiel	5.18	51.71	NA	MS P ¹³⁷ Cesium diatom Geochemical (carbon, nitrogen sulfur, TOC, Cr and other elements (As, Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Zn,Ti)) fly-ash (Spheroidal Carbonaceous Particles, SCP)	347 to - 56	8 (MS)	50.4	0.7	<i>Avena</i> (oat) <i>Triticum</i> <i>Secale</i> <i>Fagopyru</i> <i>m</i> (buckwh eat) <i>Cannabis</i> / <i>Humulus</i> (h emp) <i>Zea</i> (corn)	Fluvial	(Cremer et al., 2010)

1. Notsel

Notsel locates in the Mark Valley, south of Breda. Samples were collected by metal boxes from arable land and grass land. From bottom to top, the lithology of Notsel occurred as Pleniglacial terrace, peat, and dunes of Younger Dryas age. The time frame of Notsel is from c. 15,072 to c. 10,874 cal yr BP (from Late Pleistocene to Allerød, including Late Glacial). S. Bohncke et al. (1987) analyzed the biostratigraphical succession by radiocarbon dating, pollen analyses, macroscopic plant remains, coleoptera and charcoal.

Bohncke et al. (1987) divided the pollen diagram into eight zones. The lowest zone is from c. 15,072 to c. 14,658 cal yr BP with *Alnus*, *Carpinus* (hornbeam), *Picea* (spruce), *Abies* (fir) and *Quercetum mixtum* (mixed oak forests, included the taxa of *Tilia*, *Quercus*, *Ulmus* and *Fraxinus*) pollen presented and a relatively high *Pinus* pollen value. The sequent zone is from c. 14,658 to c. 13,919 cal yr BP. The pollen diagram from this zone suggested shifting vegetation belts, in which shrub vegetation consisting of dwarf willow (*Salix*) and dwarf *Betula* subsequently transferred to *Juniperus* amongst the dwarf shrubs. Afterwards, the forest development continued with the appearance of *Betula*. *Artemisia* (mugworts) reached a maximum at the beginning of this zone, while Poaceae (grass) presented. From c. 13,919 to c. 13,807 cal yr BP, relatively large quantities of charcoal first appeared while *Urtica* (common nettle) also appeared. In sequent zone 4, i.e., from c. 13,807 to c. 13,718 cal yr BP, *Pinus* largely increased due to the lowering of the water table, which created more space for *Pinus* to expand. From c. 13,718 to c. 13,176 cal yr BP, *Pinus* declined strongly and then fluctuated while *Salix* rose during this time. *Pinus* values dropped to a minimum, and *Betula* relatively increased from c. 13,176 to c. 12,760 cal yr BP. In the following spectrum (from c. 12,760 to c. 12,506 cal yr BP), *Pinus* rose and maintained values between 60 and 70% while *Betula* stabled in a constant low value. During the youngest zone from c. 12,506 to c. 10,874 cal yr BP, *Alnus*, *Picea*, and *Quercus* presented relatively high values.

2. Mariahout

Mariahout locates in the south Netherlands. Samples were taken from a natural lake by metal sample box. The area is characterized by aeolian sand. The vegetation at present is grassland with *Pinus* forest plantation. The time frame of Mariahout dates from c. 14,648 to c. 13,679 cal yr BP which covers part of Eldest Dryas (from c. 14,000 to c. 12,400 BP). Bohncke (1993) researched the Late Glacial environmental changes in the Netherlands by pollen and radiocarbon dating on Mariahout.

Based on pollen analysis by recalibrated radiocarbon year, Cyperaceae (sedges) increased from around 14628 cal yr BP and were at its first peak at around 14,508 cal yr BP and gradually decreased afterwards. At around 14,364 cal yr BP, Cyperaceae were at their lowest amount in the pollen diagram. The amount of Cyperaceae kept fluctuating and increased in the general trend afterwards. Pollen from trees (e.g., *Betula*, *Juniperus*, *Pinus*, *Populus* (cottonwood) and *Salix*) decreased significantly at between c. 14,628 and c. 14,508 cal yr BP and slowly increased afterwards until around 14,162 cal yr BP.

3. Bosscherheide I

Bosscherheide I locates on the east bank of the Maas (= Meuse) in the southern Netherlands. The samples were collected from peat between coarse sand and fluvial sand on the east bank of the Maas by metal boxes. The surrounding vegetation is *Pinus* plantation with some *Betula*. The time frame dates to around 14,411 to 12,406 cal yr BP (from Late Pleistocene to the end of Eldest Dryas). S. J. P. Bohncke et al. (1993) analyzed the samples by radiocarbon dating, pollen analyses, macro-botanical, and thin section analyses.

S. J. P. Bohncke et al. (1993) divided the pollen diagram into seven zones. At around 14,411 to 14,255 cal yr BP, the area is covered by open heliophilous shrubs (e.g., *Juniperus*, *Betula*, and *Salix*), in which *Juniperus* forms the dominant shrub. At the same time, herbs are dominated by Poaceae and *Artemisia*. This zone is followed by a gradual spread of *Betula* at around 14,255

to 14,134 cal yr BP, indicating a succession towards open *Betula* forests. At around 14,134 to 13,839 cal yr BP, the pollen diagram showed a distinct *Betula* peak suggesting that the area had a high *Betula* amount. Subsequently, a herb-rich zone occurs at around 13,839 to 13,414 cal yr BP. Wetter conditions returned at the beginning of this zone, and it supported the spread of *Salix* at the expense of *Betula*. Afterwards, a second *Betula* maximum was reached at around 13,414 to 13,228 cal yr BP. *Pinus* forest developed at around 13,228 to 12,801 cal yr BP, which suggested vegetational succession. Afterwards, herbaceous-rich vegetation increased, reflecting a retrogressive vegetational development at around 12,801 to 12,406 cal yr BP.

4. Moerbeke (Belgium)

Moerbeke locates at North Belgium. The samples were collected from grassland with trees and bush rows presented by a Gouge corer 2.5 cm diameter. The sampling points were mainly Late Glacial deposits underlying glacial sediments. The time frame of Moerbeke dates from around 14,168 to 12,675 cal yr BP (from Late Pleistocene to Eldest Dryas). Verbruggen et al. (1996) analyzed the samples with pollen analysis and one radiocarbon dating.

Verbruggen et al. (1996) divided the pollen diagram into three zones. Cyperaceae was the primary plant type from c. 13,888 to c. 13,661 cal yr BP. Subsequently, *Betula* and *Artemisia* characterized the following time from around 13,661 to 12,878 cal yr BP while the landscape evolved from open vegetation to a relatively dense *Betula* forest. At the beginning of this stage, *Juniperus* played an important role. *Pinus* and *Betula* were widely presented from c. 12,878 to c. 12,675 cal yr BP.

5. Duckenburg XXXV

Duckenburg XXXV locates on the low terrace southeast of Nijmegen. The samples were taken from a channel of the glacial branched river system of the Rhine-Maas-Niederterrasse in Nijmegen with an unknown collective device. The sampling profile included fluvial sand, peat, sand, and clay from bottom to top. The Maas valley, which has poor nutrient sandy soil, is now dominated by heather and heather-rich grasslands due to livestock farming. Meanwhile, the area suitable for *Quercus* and *Carpinus* forests is substituted by high-yield grassland (Karg et al., 2008). The time frame of Duckenburg XXXV dates from c. 9004 to c. 11 cal yr BP (from Boreal to present). Teunissen (1990) analyzed the samples with radiocarbon dating and pollen analysis. Karg et al. (2008) provided a detailed pollen analysis.

Teunissen (1990) divided the pollen diagram into four time periods, i.e., Late Glacial (between c. 9004 and c. 8034 cal yr BP), Atlantic (between c. 8034 and c. 5750 cal yr BP), Early Sub-Atlantic (between c. 5750 and c. 663 cal yr BP) and Late Sub-Atlantic (between c. 663 and c. 11 cal yr BP). *Betula*, *Pinus* and *Salix* presented during Late Glacial and vastly reduced afterwards. From Late Glacial to Atlantic, Poaceae (excl. *Cerealia*) decreased while *Alnus* and *Quercetum mixtum* appeared. Poaceae (excl. *Cerealia*) increased in the latter half of Early Sub-Atlantic. *Cerealia* first appeared between Early Sub-Atlantic and Atlantic, at around 5750 cal yr BP. During Late Sub-Atlantic, Poaceae (excl. *Cerealia*) and *Alnus* decreased while *Cerealia* increased during this time.

Karg et al. (2008) assumed a continuity of grassland farming with meadows and pastures which characterized by constantly presented pollen from grain and grasses from c. 2550 to c. 1650 cal yr BP. During this time, the pollen values of *Fagus* (beech) decreased because *Fagus* required good quality soil, which was replaced by agricultural land use. The peak of this agricultural system was around 2350 cal yr BP. Agriculture was replaced by a different type of land use characterized by pioneer trees and shrubs (e.g., *Betula*, *Corylus*, and *Alnus*) at around 1650 cal yr BP. This bush encroachment period is followed by the spread of *Ulmus* and *Fraxinus* (ash) in the humid areas and *Tilia* and *Fagus* trees in the drier regions.

6. Kleefse beek

Kleefse beek locates near Heijen in northern Limburg. The samples were taken from peat sediment in a deserted meander of the river Maas with unknown collective devices. The sampling profile was described as sand, gyttja, peat, and drifting sand from bottom to surface. The vegetation at present is unknown. The time frame of Kleefse beek dates from c. 8261 to c. -43 cal yr BP (from Boreal to present). Teunissen (1990) analyzed the samples with radiocarbon dating and pollen analysis.

From c. 8261 to c. 6269 cal yr BP, the number of NAP fluctuated while *Betula* decreased from its peak and stayed at a low level during this period. From c. 6269 to c. 4090 cal yr BP, NAP decreased and remained at its bottom for the whole period. *Alnus* increased and consisted of a large proportion in the pollen diagram. At the end of this period, *Hordeum* first appeared. NAP fluctuated, and *Alnus* decreased in the sequent zone, i.e., from c. 4090 to c. 1889 cal yr BP. Subsequently, NAP increased and decreased again while *Hordeum* fluctuated between around 1889 and 1488 cal yr BP. From c. 1488 to c. 89 cal yr BP, NAP largely increased while AP decreased. At the beginning of this time, *Secale* appeared.

7. Oss 45E/346

Oss 45E/346 locates in the Maas valley to the northeast of Oss. The samples were taken from a cover sand area at the northern edge of the Brabant near Oss with an unknown collective device. The lithology of Oss 45E/346 is humic clay, sandy clay, and sand from the bottom to the top layer. The vegetation at present is unknown. The time frame of Oss 45E/346 dates from c. 6041 to c. 3274 cal yr BP (from Atlantic to Sub-boreal). Bakels (1999) analyzed the drill core by radiocarbon dating and pollen analysis.

Bakels (1999) divided the pollen analysis into three zones (i.e., from c. 4697 to c. 4094 cal yr BP, from c. 4094 to c. 3631 cal yr BP, and from c. 3631 to c. 3274 cal yr BP). Samples from 600 to 340 cm belowground were identical to the upper part, which dated around 6041 to 4697 cal yr BP. AP comprised most of the pollen with *Alnus*, *Corylus*, *Quercus*, *Salix*, and *Tilia*. Poaceae had the most share in NAP pollen.

Around 4697 and 4094 cal yr BP, *Quercus-Corylus* forest expanded with other AP presented, e.g., *Tilia*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Acer* (maple), *Betula*, *Taxus* (yew) and *Ilex* (holly). Additionally, agricultural indicators stood out in the herbaceous pollen and indicated open terrain, e.g., *Hordeum*, *Triticum* and *Linum usitatissimum*. Overall, the pollen diagram showed that agriculture appeared and had a limited deforestation effect on natural vegetation.

During the subsequent zone, which dated between c. 4094 and c. 3631 cal yr BP, the area became increasingly deforested and open spaces expanded due to anthropic influences, e.g., arable farming. Some AP decreased, e.g., *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus* and *Fraxinus*, while *Quercus*, *Betula* and *Fagus* increased contrarily. Heathland plants also increased due to the acidification of sandy soil, e.g., *Ericales* and *Calluna* (common heather). The growth of pollen values from culture companions indicates human influence, e.g., *Chenopodiaceae* (goose feet), *Artemisia*, *Rumex acetosella* (sheep sorrel) and *Polygonum aviculare* (pig grass). During this time. *Triticum*, *Hordeum* and *Vicia faba* increased because of arable farming.

The area became increasingly deforested from c. 3631 to c. 3274 cal yr BP. Agricultural indicators (e.g., *Triticum*, *Hordeum*, *Secale*, *Linum usitatissimum*, and *Fagopyrum*) indicated arable farming during this time. *Ericales* increased and was related to the expansion of the heathland while the large amount of *Polygonum avicular* showed that the terrain is intensively used. In general, heathlands expanded further while the landscape became more deforested during the last two time zones.

8. Horssen-Laagveld

Horssen-Laagveld is a basin area between the sand deposits of Horssen and Molenhoek in the south Netherlands. The collection device was Krefeldguts and Dachnowskysonde. The

sampling profile can be summarized as sand, clay, peat, and clay from the bottom to the top. The highest area is characterized by alluvial forests (hardwood and softwood floodplains). The extensive low-lying floodplain was occupied by *Alnus* swamp forests (Karg et al., 2008). The time frame of Horssen-Laagveld dates from c. 4619 to c. 143 cal yr BP (from Sub-boreal to present). Teunissen (1990) analyzed the samples with radiocarbon dating and pollen analysis. Karg et al. (2008) provided a detailed pollen analysis.

Teunissen (1990) divided the pollen diagram into five time periods, i.e., Atlantic (from c. 4619 to c. 4071 cal yr BP), Early Sub-boreal (from c. 4071 to c. 2675 cal yr BP), Late Sub-boreal (from c. 2675 to c. 1650 cal yr BP), Early Sub-Atlantic (from c. 1650 to c. 953 cal yr BP) and Late Sub-Atlantic (from c. 953 to c. 143 cal yr BP). Karg et al. (2008) pointed out that the hardwood floodplain at Horssen-Laagveld is constantly present with the steady presence of *Quercus*, *Ulmus*, and *Fraxinus* pollen.

From c. 4619 to c. 4071 cal yr BP, *Alnus* decreased while *Quercetum mixtum* increased. The pattern reversed while *Hordeum* first appeared during the sequent time, i.e., around 4071 to 2675 cal yr BP. NAP only consisted of a small part of the pollen during these two periods. From around 2675 to 1650 cal yr BP, Poaceae (excl. *Cerealia*) largely increased while *Alnus* declined significantly. The decline of *Tilia* and the simultaneous evidence of grain can be linked to agricultural practices during this time. During this period, NAP value increased noticeably, after which high percentages already reached around 2001 cal yr BP. At the end of this stage, the value of *Ulmus* pollen declined, while NAP increased on the former *Ulmus* sites indicating the transformation to grassland farming on site. After some fluctuations, NAP peaked at around 1317 cal yr BP. NAP continued to decrease to its nadir at around 1029 cal yr BP while *Secale* appeared for the first time. Afterwards, NAP extended, which largely consisted of pollen of the Poaceae.

Karg et al. (2008) pointed out that the landscape in Horssen-Laagveld fundamentally changed between around 1650 and 953 cal yr BP. During this period, forest areas partly changed into arable land characterized by grassland with meadows and pastures. Poaceae (excl. *Cerealia*) and *Hordeum* grew to their peak during this time, while *Secale* appeared at the end of this time. Poaceae (excl. *Cerealia*) decreased around 953 cal yr BP. Afterwards, Poaceae (excl. *Cerealia*) increased to its second peak and started to decline after, i.e., from around 953 to 143 cal yr BP.

9. Haarsteegse Wiel

Haarsteegse Wiel is a scour lake with two basins and it locates in the lowland of Rhine-Maas delta. The Collection device is the UWITEC piston corer and Gravity corer. The lithology of Haarsteegse Wiel from bottom to top is coarse sand to sand or sandy gyttja, then to gyttja. The vegetation around the basins is reed and open woodland (predominantly *Populus*, *Alnus*, *Salix* and *Quercus*). The surrounding areas include arable land, orchards with regional corn cultivation and pastureland. The calibrated date frame of the north basin is around 212 to -56 cal yr BP (Late Sub-Atlantic). South basin represents the time from c. 347 to c. 210 cal yr BP. Cremer et al. (2010) analyzed water quality, flooding frequency and landscape change in the past with a variety of proxies, e.g., ¹³⁷Cesium, magnetic susceptibility (MS), diatom, geochemical, pollen, Spheroidal Carbonaceous Particles (SCP).

The vegetation composition from Haarsteegse Wiel represents a landscape strongly altered by human activities since the Late Holocene with characteristics of *Cerealia* cultivation and allochthonous *Pinus* woodland. From pollen analysis, the broadleaved woodland vegetation number (e.g., *Alnus*, *Salix*, *Quercus*, *Betula* and *Corylus*) kept stable through time except for *Pinus*, which was influenced by local flooding events and *Pinus* planting activities which happened in adjacent cover sand district close to the basins. *Populus* first appeared around 118 cal yr BP and then increased to 10% at around 38 cal yr BP.

Crop plants as agricultural indicators dominated the pollen categories of herbs. *Avena*, *Triticum*,

Secale, *Fagopyrum*, and *Cannabis/Humulus* dominated since around 80 BP. Afterwards, *Fagopyrum* and *Cannabis/Humulus* decreased, and *Poaceae* increased at around 75 BP. Crop cultivation decreased strongly and transferred to grasslands around this time. *Urtica* first appeared at around 30 cal yr BP. *Secale* and *Triticum* were reduced from around 30 BP and replaced by *Zea* from around -20 BP.

3.2 Reference sites without radiocarbon dating

Eleven reference sites within North-Brabant were also chosen to provide a broader context on the vegetation history of North-Brabant. Unfortunately, radiocarbon dates are not available for the reference sites. Therefore, the generalized chronostratigraphic framework for the Netherlands was used to estimate the regional vegetation development (Figure 3). The detailed information for reference sites is listed in Appendix 1.

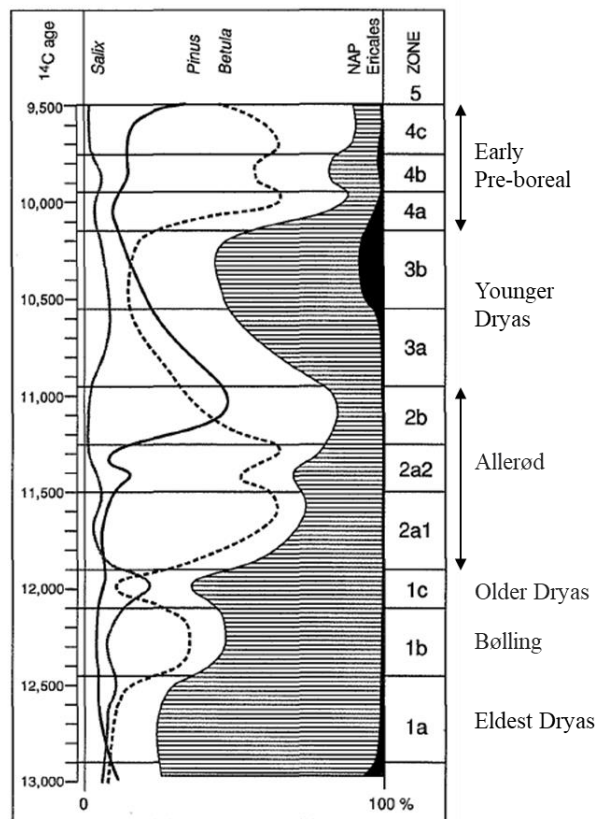


Figure 3. Generalized Late Glacial and Early Holocene pollen diagram and corresponding biostratigraphical sub-division for the Netherlands. Modified from (Hoek, 1997a)

Seven sites were categorized into time zone from around Late Glacial, i.e., Berghem, Nieuwkuijk Riolsleuf, Bavel Kleigroeve D, Eindhoven TH, Gestel, Mierlo-Ven Hoenderboom and Peelven B. However, Eindhoven TH does not have detailed pollen information. Four sites (Herpen-Wilgendaal, Borkel en Schaft, Son en Breugel, and Oss-Ijselstraat) were categorized into time zones closer to the present and focused on human influence, i.e., agricultural practices, on the landscape change. Those sites were mainly taken from plaggen soil, which is manmade arable soil. The pollen spectrums from plaggen soil are hard to interpret because plaggen soil has a high degree of disturbance, and manure is commonly used on the fields with the same input of pollen from local and regional (Bakels, 1988).

1. Berghem

Berghem locates near Oss in the southern Netherlands. The lithology of Berghem from the

bottom to the top layer is summarized as coarse sand, gyttja and clay. The vegetation at present is unknown. De Jong & Zagwijn (1962) analyzed the samples with pollen analysis.

Based on pollen analysis, the lowest samples from Berghem are estimated to be from Older Dryas (from c. 12,000 to c. 11,800 years ago) to Late Pre-boreal (from c. 9500 to c. 9150 years ago). During Older Dryas, the area transitioned from tundra towards shrub-tundra. During Boreal (from c. 9000 to c. 8000 years ago), *Ulmus* presented with a relatively low amount while *Tilia* presented with high value. *Fagus* appeared around the middle of Early Pre-boreal (from c. 9950 to c. 9750 years ago). Agriculture indicators, e.g., *Cerealia*, and *Chenopodiaceae*, represented strong human influences in the range of 90 to 130 cm below ground. However, De Jong & Zagwijn (1962) did not estimate the time zone for this zone. On top of the bore around 950 years ago and younger, *Fagus* had low occurrence, and *Carpinus* was absent.

2. Nieuwkuijk rioolsleuf

Nieuwkuijk rioolsleuf locates near Nieuwkuijk in southern Netherlands. The sampling profile of Nieuwkuijk rioolsleuf is sand humus, gyttja and sand humus from bottom to top. The vegetation at present is unknown. De Jong (1981) analyzed the samples with pollen analysis.

De Jong (1981) assumed the samples were from Late Glacial with possibilities from Bølling to Younger Dryas. During this time, herbs consisted of more than half of the pollen spectrum while *Betula* dominated AP. In addition, *Juniperus* and *Artemisia* were relatively high, while *Salix* and *Pinus* were low.

3. Bavel Kleigroeve D

Bavel Kleigroeve D locates in the southern Netherlands. The lithology for the up layer of the site is cover sand. The current vegetation is unknown. De Jong & Zagwijn (1973b) did the pollen analysis, and Hoek (1997a) revised the pollen diagram.

The lowest part of the samples belonged to Eldest Dryas to Bølling and Older Dryas. Within this zone, AP/NAP is relatively low, while Poaceae consists of most of the NAP and Cyperaceae largely presented. In the subsequent zone, which belonged to Allerød, NAP increased early in this stage and decreased afterwards. *Juniperus* largely presented at the beginning of this period. *Betula* dropped first and rose again during this time. *Pinus* increased at the end of this period. Poaceae and Cyperaceae fell during this time but still largely presented. Equisetum increased to its peak at early of Allerød and decreased afterwards. The youngest part of the samples belonged to Younger Dryas, with Poaceae and Cyperaceae largely presented.

4. Eindhoven TH

Eindhoven TH locates near Eindhoven in southern Netherlands. The lithology for the up layer of the site is cover sand. The vegetation at present is unknown. Bisschops (1973) did the pollen analysis. However, a detailed pollen analysis is not available.

5. Gestel

Gestel locates an outcrop in a fishpond in the southern Netherlands. The lithology of the site from bottom to top is humic loam and peat, respectively. The current vegetation is unknown. De Jong & Zagwijn (1973a) did the pollen analysis.

De Jong & Zagwijn (1973a) estimated the samples from the late Pleistocene to Late Glacial until Younger Dryas. In general, NAP largely presented while *Betula* and *Pinus* dominated AP. The pollen diagram showed an open landscape at the beginning stage.

6. Mierlo-Ven Hoenderboom

Samples from Mierlo-Ven Hoenderboom were taken from the middle of the pond. The lithology of Mierlo-Ven Hoenderboom is peat and gyttja from bottom to top layer. The vegetation at present is unknown. Zagwijn (1971) did the pollen analysis.

Zagwijn (1971) estimated the samples from Bølling to Sub-Atlantic. During the whole pollen diagram, AP/NAP is relatively high, meaning herbal pollen kept in a steady low amount, and this area had dense forest during the Late Glacial. During Allerød, *Pinus* kept a constant amount. *Ericales* appears in Younger Dryas which indicates the development of heathland.

7. Peelven B

Peelven B is a fen located in a blowout landform. The lithology of the site from bottom to top is loam, gyttja, and peat. The vegetation at present is unknown. Zagwijn (1971) did the pollen analysis.

Zagwijn (1971) estimated the samples from Allerød to Boreal. During Allerød, samples were rich in herbs. *Salix* presented with a low occurrence, while *Juniperus* continuously presented. The proportion of AP increased during this period. At around early Allerød, *Pinus* consisted a low amount in AP, while in the sequent zone, i.e., middle of Allerød, *Pinus* increased clearly. The proportion of NAP increased to a relatively high value around Younger Dryas. Pollen of *Ericales* also presented, which suggested the presence of heathland.

8. Herpen-Wilgendaal

Samples from Herpen-Wilgendaal were taken at an archaeological site. The lithology of Herpen-Wilgendaal is sand, peat, sandy peat, and drifting sand from bottom to top layer. The vegetation at present is unknown. Bakels (2002) did the pollen analysis.

Bakels (2002) divided the samples into four zones. During the beginning of Pre-boreal, the lowest zone, the overall landscape, was *Betula* forest, gradually replaced by a forest dominated by poplar. During this time, *Betula*, *Populus* and *Salix* presented while NAP, such as *Artemisia*, also occurred. The second zone also fell in Pre-boreal, characterized by *Pinus* dominance. Herbs were absent in the meantime. The landscape was mainly covered with dense *Pinus* forest with a low presence of *Salix*. Also, deciduous trees and shrubs of temperate climates first occurred during this zone, e.g., *Corylus*, *Quercus* and *Ulmus*. Finally, the sequent zone fell in Boreal. The overall landscape was a deciduous forest with open spaces. The deciduous forest is dominated by *Corylus*, *Betula*, *Ulmus* and, increasingly *Quercus*. *Pinus* dropped significantly during this zone while *Tilia* and *Fraxinus* first appeared. Furthermore, heathland plants, such as *Calluna* appeared. The last zone belonged to the end of the Sub-boreal or the beginning of the Sub-Atlantic. This zone showed human influence on the landscape with the presence of *Triticum*, *Hordeum* and *Linum usitatissimum*. Most types of AP decreased, except *Quercus* remained at a stable amount. *Fagus* first appeared in this zone.

9. Borkel en Schaft

Borkel en Schaft is located in the south Netherlands. The sampling points are located on agricultural land with Xero-podzol developed in coversand. Bakels (1988) did the pollen analysis.

Bakels (1988) assumed an open landscape on site. The pollen diagram contained high values of *Ericales* (mainly *Calluna*), Poaceae, and *Rumex acetosella*. Cultivated species are also presented in the pollen diagram, e.g., *Secale*, *Hordeum*, *Avena*, *Fagopyrum*, *Spergula* (spurrey), *Zea*, and *Cannabis/Humulus*. There was an apparent increase in *Fagopyrum*.

10. Son en Breugel

Samples from Son en Breugel were taken from plaggen soil. The samples were taken from agricultural land, which the original soil is a moder podzol developed on coversand. Bakels (1988) did the pollen analysis.

Due to the plaggen practices, most layers did not show many differences. *Ericales* and Brassicaceae (Cruciferae) had the most apparent changes from deep to shallow. *Ericales* (e.g., *Calluna*) rose initially and fell in the pollen diagram. Brassicaceae increased in the middle and

decreased later, possibly due to the planting practices. Other crop plants included the dominant *Secale* and the presence of *Spergula*, *Fagopyrum*, *Hordeum* and *Avena*. Compared to *Secale*, *Fagopyrum* and *Spergula* had a relatively short cultivation history. Afterwards, the pollen showed that *Fagopyrum* and Chenopodiaceae presented largely. *Zea* first appeared at the same layer, indicating the introduction of new crops. Based on measuring the dates of sherds, the lowest layer can be dated to around 2950 years ago.

11. Oss-IJsselstraat

Samples of Oss-IJsselstraat were taken from plaggen soil on IJsselstraat in the town of Oss. The soil profile is a hydro-podzol which developed in coversand. Bakels (1988) did the pollen analysis.

In the lower part of the samples, Poaceae presented, which represented the former local grassland. *Rumex acetosella* was also presented in this layer which suggested the reclamation of the land. *Fagopyrum*, *Spergula* and Brassicaceae showed in the upper layer, which occurred later than Borkel en Schaft and Son en Breugel. Bakels (1988) suggested that the wet condition of the soil made this site less suitable for agricultural practices in the Early Middle Ages (from around 1450 to 450 years ago). The pollen diagram from this site had a low value of *Ericales*.

4. Discussion

The geographical and chronological gaps of past vegetation dynamics in North-Brabant were identified based on the pollen information from key sites and reference sites. Furthermore, the emergence of agriculture in North-Brabant was recognized in terms of timing and location based on chosen agricultural indicators and cultural companions. Once the site-specific date of the advent of farming was defined, the nature of the pre-farming and post-farming landscape was also reviewed. The similarity and inconsistency of pollen records were also discussed regarding geographical and chronological gaps and pre- and post-farming landscapes.

4.1 Geographical gap

Nine key sites and eleven reference sites only involved limited parts of North-Brabant. For example, only one key site (Notsel) and one reference site (Kleigroeve D) represent the west side of North-Brabant. The west and middle part of North-Brabant is underrepresented. The absence of study sites around Notsel means there is no past environmental change data within 30 km of Notsel (Figure 2). A similar geographical gap also exists among Mariahout, Kleefse beek and Haarsteegse Wiel, which suggested no past environmental change data from an area of c. 665 km² (Figure 2). The key sites and reference sites have similar represent areas due to the limited sampling sites and poor preservation rate of pollen in sediments except for peat (Havinga, 1967, 1971).

4.2 Chronological gap

The most apparent chronological gap is during Younger Dryas and Pre-boreal, lasting around 1800 years (Figure 4). From Bølling to Allerød, the past environmental change data is less representative for around 2400 years because only one key site (Notsel) has pollen information (Figure 4). All radiocarbon dates were recalibrated by Bacon with the IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) (Reimer et al., 2020) and retrieved from Neotoma Paleocology Database allowing direct comparison among sites.

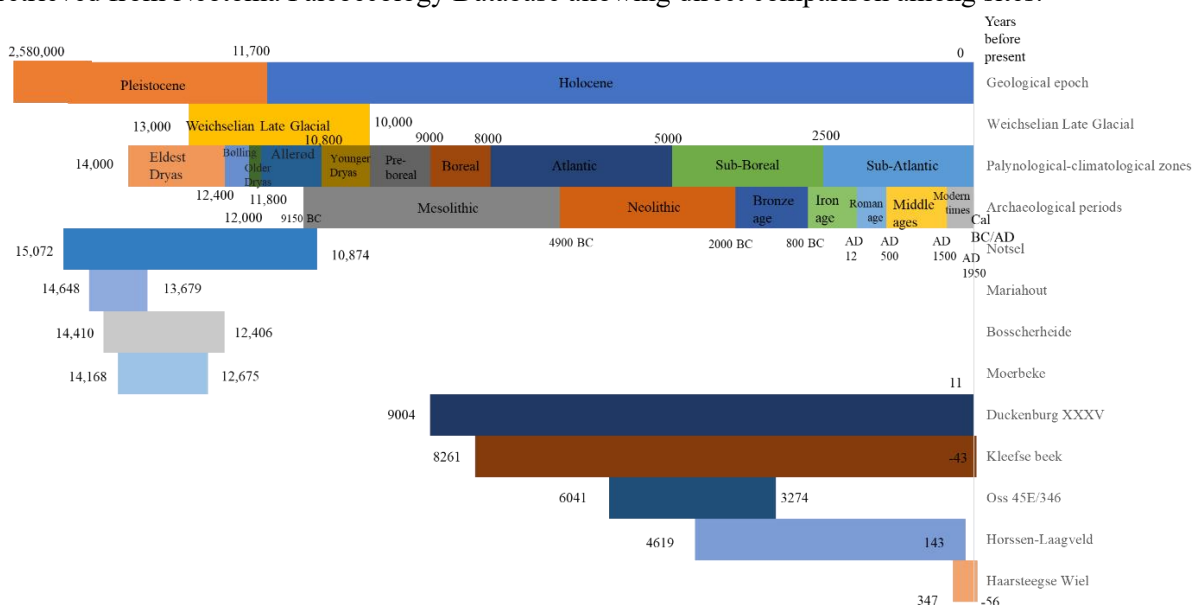


Figure 4. Overview of chronological information from key sites. Chronological data was retrieved from Neotoma Paleocology Database.

During around 10,000 to 9,000 cal yr BP, i.e., Younger Dryas and Pre-boreal, there is a pollen data gap among key sites in North-Brabant, which could be due to high sediment accumulation rates (Hoek, 1997b). However, seven reference sites supplemented pollen information during Younger Dryas (i.e., Berghem, Nieuwkuijk Riolsleuf, Bavel Kleigroeve D, Gestel, Mierlo-Ven Hoenderboom, Peelven B and Herpen-Wilgendaal) and four reference sites provided pollen information during Pre-boreal (i.e., Berghem, Mierlo-Ven Hoenderboom, Peelven B and Herpen-Wilgendaal). The inconsistency of chronological information between key sites and reference sites implied the unreliability of identifying chronostratigraphic zone with only regional vegetation development. Pollen data from Bavel Kleigroeve D and Peelven B indicated increasing NAP (e.g., Poaceae and Cyperaceae) during Younger Dryas, while Mierlo-Ven Hoenderboom had expanded heathland at the same time. Pollen diagrams from Berghem and Herpen-Wilgendaal suggested the presence of *Fagus* forests and *Betula* forests during Pre-boreal, respectively. During around 12,400 to 10,000 cal yr BP, i.e., Bølling, Older Dryas and Allerød, the vegetation dynamic is not comprehensive due to limited site information at this period (only site Notsel). From 9,000 cal yr BP to present, i.e., from Boreal to Sub-Atlantic, the pollen data are relatively representative, with three or four samples covering each biostratigraphic zone.

4.3 Vegetation dynamic before Younger Dryas: Pre-farming landscape

Four sites (i.e., Notsel, Mariahout, Bosscherheide and Moerbeke) represented the vegetation dynamics before the Younger Dryas, which I identified as the pre-farming landscape in North-Brabant (Figure 4). All four sampling sites suggested an open landscape with heliophilous shrubs and a low amount of trees (e.g., Cyperaceae, *Artemisia*, *Juniperus*, *Betula*, and *Salix*) before the Late Glacial (from 13,000 cal yr BP backwards). Three reference sites (Nieuwkuijk Riolsleuf, Bavel Kleigroeve D, and Gestel) indicated a herbaceous-rich open landscape around Eldest Dryas. Notsel and Moerbeke showed a similar vegetation succession trend, with *Betula* forest appearing first and replaced by *Pinus* forest at around 13,000 cal yr BP. The pollen data from Notsel showed a longer time frame after the succession with a high presence of *Alnus*, *Picea*, and *Quercus* (from c. 12,506 to 10,874 cal yr BP). The chronological data from Mariahout showed a short time frame ranging from c. 14,648 to c. 13,679 BP, which dates before Late Glacial. The pollen diagram from Mariahout indicated a mixed landscape of Cyperaceae-dominated NAP and *Betula*-dominated AP. The pollen diagram from Bosscherheide showed a succession and retrocession comparable with Notsel and Moerbeke. With *Betula* forests replaced by *Pinus* forests, the first succession started from around 13,228 to 12,801 cal yr BP. The retrogressive vegetational development happened around 12,801 to 12,406 cal yr BP with *Pinus* forests changed into a herbaceous-rich open landscape.

In general, I found differences between previous literature and pollen information from key sites regarding the vegetation dynamics in North-Brabant. For example, Hoek et al. (2017) suggested that the transition of landscape in the Netherlands from tundra to an open landscape with herbaceous vegetation and *Betula* occurred around the Bølling due to a temperature increase (i.e., from c. 12,400 to c. 12,000 cal yr BP). However, here I found that the vegetation changes happened earlier. For example, many types of AP presented at site Notsel (e.g., *Pinus*, *Alnus*, *Carpinus*, *Picea*, *Abies* and *Quercetum mixtum* (mixed oak forests, including the taxa of *Tilia*, *Quercus*, *Ulmus* and *Fraxinus*)), Mariahout (e.g., *Betula*, *Juniperus*, *Pinus*, *Populus* and *Salix*) and Bosscherheide (e.g., *Juniperus*, *Betula*, and *Salix*) during late Pleistocene (from around 15,000 to 14,000 cal yr BP). Only one reference site, Berghem, showed the succession from tundra towards shrub-tundra during Older Dryas which happened later than the observation from Hoek et al. (2017).

The pollen diagrams also indicated all sites had succession stages at different times. The earliest belongs to site Bosscherheide, which *Betula* forests succeeded open shrubland at around 14,000 cal yr BP. The subsequent succession stage for Bosscherheide was around 13,230 to 12,800 cal yr BP, i.e., from *Betula* forests to *Pinus* forests. Notsel had a similar succession stage but at around 12,760 to 12,500 cal yr BP. After *Pinus* forests' expansion, only Bosscherheide had a retrogression from *Pinus* forests into a herbaceous-rich open landscape. *Pinus* and *Betula* occupied the sites of Notsel and Moerbeke at the same time. The vegetation succession was not evident in reference sites. Only pollen diagrams from Mierlo-Ven Hoenderboom and Peelven B indicated possible succession characterized by increasing *Pinus* forests during Allerød.

4.4 Impact on landscape by agriculture and the post-farming landscape

Cappers (2012) summarized the landscape in the Netherlands during Pre-boreal and Boreal were dominated by trees, e.g., *Pinus*, *Betula*, and *Corylus*. More diverse and denser forests characterize the subsequent landscape during Atlantic, with *Alnus*, *Ulmus*, *Quercus*, and *Tilia* highly presented. The landscape underwent retrocession during Sub-boreal and Sub-Atlantic, in which NAP increased while AP decreased due to agricultural practice.

Five sites (Duckenburg XXXV, Kleefse beek, Oss 45E/346, Horssen-Laagveld and Haarsteegse Wiel) have chronological data ranges from Boreal to Sub-Atlantic, i.e., from around 9000 cal yr BP to present. All five sites are close to the northeast edge of North-Brabant with Duckenburg XXXV, Kleefse beek and Horssen-Laagveld located in Limburg, while Oss 45E/346 and Haarsteegse Wiel locates in North-Brabant. Duckenburg XXXV and Kleefse beek have more comprehensive chronological data from Boreal to Sub-Atlantic. Oss 45E/346 supplemented pollen data from late Atlantic to Sub-boreal while Horssen-Laagveld completed pollen information from early Sub-boreal to the present. Haarsteegse Wiel gave detailed pollen information at the near present.

To determine the time and location in which human activities impacted, we used agricultural indicators (i.e., *Cerealia*, *Hordeum*, *Triticum*, *Secale*, *Linum usitatissimum*, and *Fagopyrum*) and cultural companions (i.e., *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Rumex acetosella* and *Polygonum avicular*) to identify human activities. *Cerealia* appeared first at around 5750 cal yr BP in Duckenburg XXXV. *Hordeum* appeared in Kleefse beek, Oss 45E/346 and Horssen-Laagveld at a similar period, i.e., from c. 4000 to c. 2750 cal yr BP (Sub-boreal). *Triticum* and *Linum usitatissimum* also presented in Oss 45E/346 at around Sub-boreal. *Secale* only appeared in Horssen-Laagveld at around 953 cal yr BP and Kleefse beek at around 89 cal yr BP, which all belonged to Sub-Atlantic. Pollen diagrams from Haarsteegse Wiel indicated presences of various agricultural indicators, e.g., *Avena*, *Triticum*, *Secale*, *Fagopyrum*, and *Cannabis/Humulus*. The agricultural indicators at Haarsteegse Wiel started to dominate since around 80 cal yr BP. Pollens from *Zea* only presented at Haarsteegse Wiel at around -20 cal yr BP. Some reference sites also found agricultural indicators, i.e., Herpen-Wilgendaal, Borkel en Schaft and Oss-IJselstraat. However, the exact dates were unclear because most samples were from highly-disturbed plaggen soil, making it almost impossible to determine the chronostratigraphic zone with regional vegetation. Bakels (2002) found pollens of *Triticum*, *Hordeum* and *Linum usitatissimum* at Herpen-Wilgendaal, which were around Sub-boreal and Sub-Atlantic. Bakels (1988) observed *Secale*, *Spergula* and *Fagopyrum* pollens without available chronostratigraphic zone.

Four key sites (Duckenburg XXXV, Kleefse beek, Oss 45E/346, and Horssen-Laagveld) showed the degradation from forests to open landscapes with NAP presented mainly after the

appearance of agricultural plants (e.g., *Cerealia* and *Hordeum*). *Alnus* dominated three in four sites with the presence of other trees (e.g., *Betula*, *Pinus*, *Salix*, *Quercetum mixtum* (mixed oak forests, including the taxa of *Tilia*, *Quercus*, *Ulmus* and *Fraxinus*)) before the appearance of agriculture. However, Oss 45E/346 was dominated by *Quercus* and *Corylus* with other AP presented, e.g., *Tilia*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Acer*, *Betula*, *Taxus* and *Ilex*, before agriculture.

In general, the appearance of agricultural indicators is consistent with the summarization from Cappers (2012), except *Cerealia* appeared at Duckenburg XXXV before Sub-boreal. After the appearance of agricultural practices, the general trend was that NAP increased while AP decreased and an opener landscape developed. Evidence from Oss 45E/346 also suggested the development of heathland (e.g., *Ericales* and *Calluna*), indicating the possible acidification of sandy soil (Bakels, 1999). The presence of *Secale* did not show any significant change in the pollen diagram from Kleefse beek and Horssen-Laagveld.

5. Conclusion

In this literature review, I comprehensively overview vegetation dynamics from Late Glacial to Holocene in North-Brabant, the Netherlands. Geographical and chronological gaps of past vegetation dynamics in the research area were identified with evidence from radiocarbon-dated key sites and chronostratigraphic identified reference sites. Moreover, I also reviewed the pre-farming and post-farming landscape in North-Brabant with a discussion of the consistency and differences of pollen records among sites.

The western and middle parts of North-Brabant are less represented because of limited sampling sites and poor pollen preservation rates in cover sand area. I identified the chronological gap of pollen records at North-Brabant from Younger Dryas to Pre-boreal (from c. 10,000 to c. 9,000 cal yr BP) based on pollen records from key sites. However, reference sites showed no chronological gap during Early Holocene, indicating limited credibility of sites with no independent radiocarbon dating.

The vegetation development before Younger Dryas (before c. 10,800 cal yr BP) happened earlier in North-Brabant than the literature indicated. AP was widely presented during late Pleistocene (from c. 15,000 to c. 14,000 cal yr BP) in most sites. Additionally, pollen records from different sites suggested that vegetation succession and retrogression happened at different times.

I also summarized and discussed human activities (i.e., agricultural practices) and their impact on vegetation development and landscape change. Crops were introduced to North-Brabant at different times, with *Cerealia* appearing first, followed by *Hordeum*, *Triticum*, *Linum usitatissimum* and *Secale*. Almost all sites showed the degradation from forests to open landscapes after crops' introduction, but the timing and scale of this change varied between the crop types and vegetation types across four key sites.

The results of this review influence and serve as a guide for Bosgroep for the nature conservation and rewilding practices of the forest and nature areas in North-Brabant.

References

- Atkinson, T. C., Briffa, K. R., & Coope, G. R. (1987). Seasonal temperatures in Britain during the past 22,000 years, reconstructed using beetle remains. *Nature (London)*, 325(6105), 587–592. <https://doi.org/10.1038/325587a0>
- Bakels, C. C. (1988). *Pollen from plaggen soils in the province of North Brabant, The Netherlands*. 35–54.
- Bakels, C. C. (1999). Het pollendiagram Oss 45E/346. In *2000 jaar bewoningsdynamiek. Brons- en ijzertijdbewoning in het Maas-Demer-Scheldegebied. The Netherlands*. (pp. 259–270). Leiden: Faculteit der archeologie, Universiteit Leiden.
- Bakels, C. C. (2002). De venige en humeus-zandige afzettingen in de voormalige geul. *Pollen En Zaden, ARCHOL 11*.
- Bisschops, J. H. (1973). *Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50 000, Eindhoven Oost (51 O). Rijks Geologische Dienst*.
- Blaauw, M., & Christen, J. A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6(3), 457–474. <https://doi.org/10.1214/ba/1339616472>
- Bohncke, S. (1993). Lateglacial environmental changes in the Netherlands: Spatial and temporal patterns: A contribution to the ‘North Atlantic seaboard programme’ of IGCP-253, ‘Termination of the Pleistocene’. *Quaternary Science Reviews*, 12(8), 707–717.
- Bohncke, S., Vandenberghe, J., Coope, R., & Reiling, R. (1987). Geomorphology and Paleoecology of the Mark Valley (southern Netherlands)—Paleoecology, Palaeohydrology and Climate During the Weichselian Late Glacial. *Boreas*, 16(1), 69–85. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1987.tb00756.x>
- Bohncke, S., Vandenberghe, J., & Huijzer, A. S. (1993). Periglacial environments during the Weichselian late glacial in the Maas valley, the Netherlands. *Geologie En Mijnbouw*, 72, 193–210.

- Cappers, R. T. J. (2012). *Handbook of plant palaeoecology*. Barkhuis, University of Groningen Library.
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., & Fan, J.-X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36(3), 199–204. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2013/v36i3/002>
- Cremer, H., Bunnik, F., Donders, T., Hoek, W. Z., Koolmees, H., Lavooi, E., Coastal dynamics, F. systems and G. change, Dep Biologie, & FG Kusten, R. (2010). River flooding and landscape changes impact ecological conditions of a scour hole in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. *Journal of Palaeolimnology*, 44(3), 789-.
- De Jong, J. (1981). Pollenanalytisch onderzoek van een veenlaag uit een ontsluiting bij Nieuwkuijk. *Rapport 902, Rijks Geologische Dienst*.
- de Jong, J. (1988). Climatic Variability During the Past Three Million Years, as Indicated by Vegetational Evolution in Northwest Europe and with Emphasis on Data from The Netherlands. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 318(1191), 603–617. <https://doi.org/10.1098/rstb.1988.0025>
- De Jong, J., & Zagwijn, W. H. (1962). Palynologisch onderzoek van een ± 4 m. Diepe boring te Berghem bij Oss. *Rapport 322, Rijks Geologische Dienst P 322*.
- De Jong, J., & Zagwijn, W. H. (1973a). Pollenanalytisch onderzoek dan een aantal monsters uit een ontsluiting in het Dommeldal te Gestel. *Rapport 694, Rijks Geologische Dienst*.
- De Jong, J., & Zagwijn, W. H. (1973b). *Pollenanalytisch onderzoek van een aantal monsters uit een kleigroeve te Bavel (Noord-Brabant)*. *Rapport 691*(Rijks Geologische Dienst).
- Donders, T. H., Kloosterboer-van Hoeve, M. L., Westerhoff, W., Verreussel, R. M., & Lotter, A. F. (2007). Late Neogene continental stages in NW Europe revisited. *Earth-Science Reviews*, 85(3), 161–186. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.06.004>
- Fyfe, R. M., Twiddle, C., Sugita, S., Gaillard, M.-J., Barratt, P., Caseldine, C. J., Dodson, J., Edwards, K. J., Farrell, M., Froyd, C., Grant, M. J., Huckerby, E., Innes, J. B., Shaw, H., & Waller, M. (2013). The Holocene vegetation cover of Britain and Ireland: Overcoming problems of scale and discerning patterns of openness. *Quaternary*

Science Reviews, 73, 132–148. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.05.014>

Groenewoudt, B. J., & Van Lanen, R. J. (2018). Diverging decline. Reconstructing and validating (post-) Roman population trends (AD 0–1000) in the Rhine-Meuse delta (the Netherlands). *European Journal of Postclassical Archaeologies*, 8, 189–218.

Havinga, A. J. (1967). Palynology and pollen preservation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2(1–4), 81–98.

Havinga, A. J. (1971). An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types. In *Sporopollenin* (pp. 446–479). Elsevier.

Hoek, W. Z. (1997a). *Atlas to Palaeogeography of Lateglacial Vegetations* [Doctoral dissertation]. Vrije Universiteit.

Hoek, W. Z. (1997b). *Palaeogeography of Lateglacial Vegetations* [Vrije Universiteit Amsterdam].

<https://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:research.vu.nl:publications%2Fa5b4fe04-231f-4d75-a843-5e6da9bc8fd3>

Hoek, W. Z., Lammertsma, E. I., Bohncke, S. J. P., Bos, J. A. A., Bunnik, F., Kasse, C., Schokker, J., & Westerhoff, W. (2017). Lateglacial and early Holocene vegetation development and fluvial system changes in the northern Meuse valley, the Netherlands: A review of palynological data. *Geologie En Mijnbouw*, 96(2), 93–114. <https://doi.org/10.1017/njg.2017.4>

Karg, S., Joop, K. A., Meurers-Balke, J., Teunissen-van Oorschot, H., & Müller, M. (2008). Mensch und Vegetation am unteren Niederrhein während der Eisen-und Römerzeit. In *Colonia Ulpia Traiana: Xanten und sein Umland in römischer Zeit* (pp. 31–48). Philipp von Zabern.

Mangerud, J. A. N., Andersen, S. T., Berglund, B. E., & Donner, J. J. (1974). Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3(3), 109–126.

Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas,

- I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., ... Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Teunissen, D. (1990). *Palynologisch onderzoek in het oostelijk rivierengebied: Een overzicht*. Afdeling Biogeologie Sectie Biologie Katholieke Univ. Nijmegen.
- Verbruggen, C. (1979). Vegetational and palaeoecological history of the Late-Glacial period in Sandy Flanders (Belgium). *Acta Universitatis Ouluensis*, 82(3), 133–142.
- Verbruggen, C., Denys, L., & Kiden, P. (1996). Paleoeological events in Belgium during the last 13,000 years with special reference to sandy Flanders. In *Palaeoecological Events During the Last 15,000 Years: Regional Syntheses of Palaeoecological Studies of Lakes and Mires Europe*. (pp. 553–574).
- Vos, P. C., & Bazelmans, J. (2011). *Atlas van Nederland in het Holoceen: Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu*. Bakker.
- World Development Indicators*. (2021). World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=NL>
- Zagwijn, W. H. (1971). Pollenanalytisch onderzoek van drie laatglaciale secties uit het gebied Den Bosch-Helmond. *Rapport 607, Rijks Geologische Dienst*.

Appendix

1. List of Reference sites

This table contains information on the reference sites used in this review. Given are the codes (corresponding to Figure 2), the Site ID from Neotoma, the site name, the location (longitude, latitude, and altitude), the type of proxy (P = Pollen), agricultural indicators, geomorphology features and references.

Codes	Site ID	Site Name	Longitude	Latitude	Altitude	Proxy	Agricultural indicators	Geomorphology features	Reference
R1	28372	Bergheim	5.57	51.79	5	P	<i>Cerealia</i> <i>Chenopodiaceae</i>	Fluvial	(De Jong & Zagwijn, 1962) (Hoek, 1997a)
R2	28486	Nieuwkuijk rioolsleuf	5.16	51.69	3	P	NA	Aeolian	(De Jong, 1981) (Hoek, 1997a)
R3	28370	Bavel Kleigroeven D	4.83	51.58	4	P	NA	Fluvial	(De Jong & Zagwijn, 1973b) (Hoek, 1997a)
R4	28564	Eindhoven TH	5.48	51.44	17	P	NA	NA	(Bisschops, 1973) (Hoek, 1997a)
R5	28438	Gestel	5.44	51.41	17	P	NA	Fluvial	(De Jong & Zagwijn, 1973a) (Hoek, 1997a)
R6	28485	Mierlo-Ven Hoenderboom	5.63	51.38	25	P	NA	Aeolian	(Zagwijn, 1971) (Hoek, 1997a)
R7	28498	Peelven B	5.63	51.36	24	P	NA	Aeolian	(Zagwijn, 1971) (Hoek, 1997b) (Hoek, 1997a)
R8	28530	Herpen-Wilgendaal	5.64	51.77	-7	P	<i>Triticum</i> <i>Hordeum</i> <i>Linum usitatissimum</i>	Other	(Bakels, 2002)

R9	28741	Borkel en Schaft	5.43	51.29	29	P	<i>Secale</i> <i>Hordeum</i> <i>Avena</i> <i>Fagopyrum</i> <i>Spergula</i> <i>Zea</i> <i>Cannabis/Hu</i> <i>mulus</i>	Aeolian	(Bakels, 1988)
R10	28743	Son en Breugel	5.51	51.50	15	P	<i>Secale</i> <i>Spergula</i> <i>Fagopyrum</i> <i>Hordeum</i> <i>Avena</i> <i>Fagopyrum</i> <i>Chenopodia</i> <i>ceae</i> <i>Zea</i>	Aeolian	(Bakels, 1988)
R11	28742	Oss- ljselstraa t	5.54	51.77	6	P	<i>Rumex</i> <i>acetosella</i> <i>Fagopyrum</i> <i>Spergula</i> Brassicaceae	NA	(Bakels, 1988)

2. Glossary of pollens

Scientific name	Common Name	Type	Notes
<i>Abies</i>	fir	tree	
<i>Acer</i>	maple	tree	
<i>Alnus</i>	alder	tree	
<i>Betula</i>	birch	tree	
<i>Carpinus</i>	hornbeam	tree	
<i>Corylus</i>	hazel	tree	
<i>Fagus</i>	beech	tree	
<i>Fraxinus</i>	ash	tree	
<i>Ilex</i>	holly	tree	
<i>Juniperus</i>	juniper	tree	
<i>Picea</i>	spruce	tree	
<i>Pinus</i>	pine	tree	
<i>Populus</i>	cottonwood	tree	
<i>Quercetum mixtum</i>	mixed oak forests	tree	including the taxa of <i>Tilia</i> , <i>Quercus</i> , <i>Ulmus</i> and <i>Fraxinus</i>
<i>Quercus</i>	oak	tree	
<i>Salix</i>	willow	tree	
<i>Taxus</i>	yew	tree	
<i>Tilia</i>	lime	tree	
<i>Ulmus</i>	elm	tree	
<i>Artemisia</i>	mugworts	herbs	
<i>Avena</i>	oat	herbs	agricultural indicator
Brassicaceae	Cruciferae	herbs	agricultural indicator
<i>Calluna</i>	common heather	herbs	heather plants
<i>Cannabis/Humulus</i>	hemp	herbs	agricultural indicator
<i>Cerealía</i>		herbs	agricultural indicator
Chenopodiaceae	goose feet	herbs	agricultural indicator, culture companions
Cyperaceae	sedges	herbs	
<i>Ericales</i>			heather plants
<i>Fagopyrum esculentum Moench</i>	buckwheat	herbs	agricultural indicator
<i>Hordeum</i>	barley	herbs	agricultural indicator
<i>Linum usitatissimum</i>	flax	herbs	agricultural indicator
Poaceae	grass	herbs	
<i>Polygonum aviculare</i>	pig grass	herbs	agricultural indicator, culture companions
<i>Rumex acetosella</i>	sheep sorrel	herbs	agricultural indicator, culture companions
<i>Secale</i>	rye	herbs	agricultural indicator
<i>Triticum</i>	wheat	herbs	agricultural indicator
<i>Urtica</i>	common nettle	herbs	
<i>Vicia faba</i>	broad bean	herbs	agricultural indicator
<i>Zea</i>	corn	herbs	agricultural indicator