

# Reconstructies van de vegetatie en het dieet van mammoeten uit mestmonsters

door Bas van Geel\*  
b.vangeel@uva.nl

Met de betrokkenheid van de paleontoloog Dick Mol bij het onderzoek aan goed in de permafrost bewaard gebleven mammoeten in Siberië kreeg ik - via Dick - de kans om, met een team van onderzoekers, de darminhoud van verschillende mammoeten te bestuderen. In mammoetmest zijn nog veel plantenresten herkenbaar. Ik heb een team samengesteld zodat we gezamenlijk, met onze verschillende expertises, tot een beeld kunnen komen van de samenstelling van de vegetatie en van het dieet van deze uitgestorven diersoort. We hebben zelfs een aspect van het gedrag van mammoeten boven water kunnen halen, namelijk coprofagie, oftewel het eten van mest. Met het onderzoek hebben we met ons team een beter beeld gekregen van de leefomgeving van grote herbivoren tijdens de laatste ijstijd.

## De Jarkov Mammoet

Het onderzoek begon met de Jarkov Mammoet. Dick Mol (2000) maakte destijds een uitgebreid verslag van deze vondst, die werd gedaan op het Siberische schiereiland Taymyr. Er werd ook een film gemaakt, die uitgezonden werd door Discovery Channel. Dick Mol gaf mij een flinke kluit haren van de Jarkov Mammoet (afb. 1) en die haren waren nog behoorlijk 'vies'. Dat was heel gunstig, want ik kon ze hierdoor goed bemonsteren voor stuifmeelonderzoek. Vervolgens heb ik de haren gewassen. Het 'waswater' bevatte zaden, mossen en diverse andere plantenresten.



Afb. 1. Haar van de Jarkov Mammoet.

Opmerkelijk was de dominantie van de resten van steppe-soorten: grassen (Poaceae) en *Artemisia*-soorten (afb. 2, 3 en 4). Tegenwoordig bestaat de begroeiing in het hoge noorden uit een typische toendravegetatie, maar de soorten die wij vinden wijzen op de aanwezigheid, destijds, van een koele steppe en dus relatief droge omstandigheden. Dit in tegenstelling tot de huidige situatie: toendra's zijn relatief nat, met 's winters een dik sneeuwdek.

Tot een wetenschappelijke publicatie over de botanische resten uit de haren van de Jarkov Mammoet is het niet gekomen, omdat we er niet zeker van waren of de monsters even oud waren als de mammoet zelf. We wisten namelijk niet wat werkelijk door het dier, ongewild, in zijn vacht was verzameld,

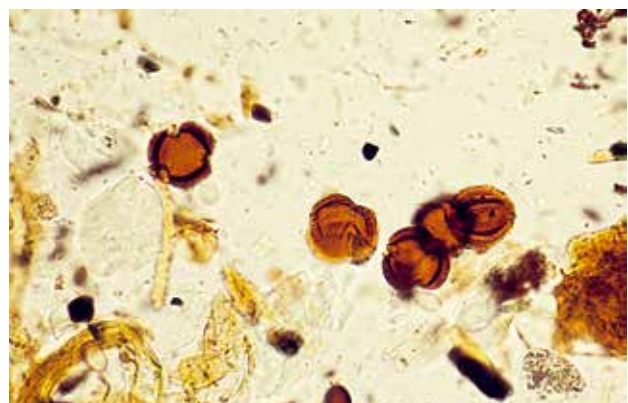
en wat er na de dood, door verplaatsing van sediment, nog tussen de haren terecht kon zijn gekomen. Mest die direct uit darmen van een mammoet kan worden bemonsterd is uiteraard veel betrouwbaarder voor onderzoek. En de kans om materiaal uit ingewanden te bestuderen - die kregen we ook.



Afb. 2. Resten van de bloeiwijze van grassen uit de vacht van de Jarkov Mammoet.



Afb. 3. Bloemen van *Artemisia*.



Afb. 4. Stuifmeel van *Artemisia*.

## De Yukagir Mammoet

Bij de opgraving van de zogenoemde Yukagir Mammoet (afb. 5) in Yakutia, op ca. 72 graden noorderbreedte, kon de darminhoud bemonsterd worden (afb. 6). Dat leverde een schat aan informatie op (van Geel et al. 2008). Het dier werd met de C14-methode gedateerd op een ouderdom van ruim 22.000 jaar; dat betekent dat deze mammoet leefde tijdens de koudste fase van de laatste ijstijd. De foto's van afb. 7 geven een beeld van de uitstekende conserveringstoestand van stuifmeel, zaden en andere plantaardige etensresten.



Afb. 5. Opgraving van de Yukagir Mammoet met Dr. Alexei Tikhonov. Op de voorgrond zijn de darmen van de mammoet zichtbaar. Foto: Dick Mol.

Terwijl de meeste Kwartair-palynologen zich beperken tot de analyse van stuifmeelkorrels, heb ik gedurende mijn loopbaan steeds ook de sporen van schimmels bij het onderzoek betrokken. Bij het onderzoek aan mammoetmest heeft dat tot extra resultaten geleid, met name waar het gaat om een aspect van het foerageergedrag. Sporen van mestschimmels zijn als zodanig microscopisch herkenbaar en kunnen daarom goed gedetermineerd worden. Ze hebben een dikke celwand en die is functioneel. De sporen worden gevormd in kleine, flesvormige 'vruchtlichamen' op de buitenste korst van gedeponeerde mest. De rijpe sporen komen meestal op korte afstand van het vruchtlichaam terecht. Herbivoren krijgen die sporen zowel bij het grazen als bij het inademen naar binnen, waarbij via het speeksel de sporen in het maag-darmkanaal terecht komen. De stevige celwand van de schimmelsporen is heel nuttig om de zure omstandigheden (verteringssappen) levend te kunnen doorstaan. De sporen zijn dus al aanwezig in de vers gedeponeerde mest. Daar kiemen ze en na enige tijd vormt het mycelium vruchtli-



Afb. 6. Darminhoud van de Yukagir Mammoet.

chamen op het mestoppervlak en in die vruchtlichamen worden weer sporen gevormd.

## Gedragsaspect

De vondst van vruchtlichamen van mestschimmels in de darmen van de Yukagir Mammoet leidde tot het vermoeden dat het dier mest gegeten heeft. Het eten van mest (coprofagie) komt bij diverse zoogdiersoorten voor, zoals bij olifanten. Het is dus niet verbazingwekkend dat we bij de aan olifanten sterk verwante mammoeten ook aanwijzingen hebben gevonden voor het eten van mest.

Coprofagie is functioneel omdat de door micro-organismen in de darmen geproduceerde vitaminen (B7, B12, K) direct worden geconsumeerd. In mestmonsters afkomstig van andere mammoeten vonden we ook aanwijzingen voor coprofagie; zelfs bij babymammoet Lyuba (van Geel et al., 2011). Daarmee kunnen we coprofagie bij mammoeten als bewezen beschouwen. Ook wilden we weten wat voor mest (van welke diersoort) onze mammoeten aten. Het antwoord daarop kwam uit het chemische onderzoek van de mestmonsters. Galzuren bleken afwezig, terwijl de mest van vrijwel alle zoogdieren galzuren bevat, met uitzondering van olifanten en de daaraan verwante zeekoeien en klipdassen. Mammoeten waren uiteraard sterk verwant aan olifanten, terwijl klipdassen en zeekoeien niet voorkwamen in Noord-Siberië. Dus we kunnen met zekerheid zeggen dat mammoeten alleen mammoetmest aten. We hebben daarmee door botanisch spuurwerk een gedragsaspect van mammoeten ontdekt.

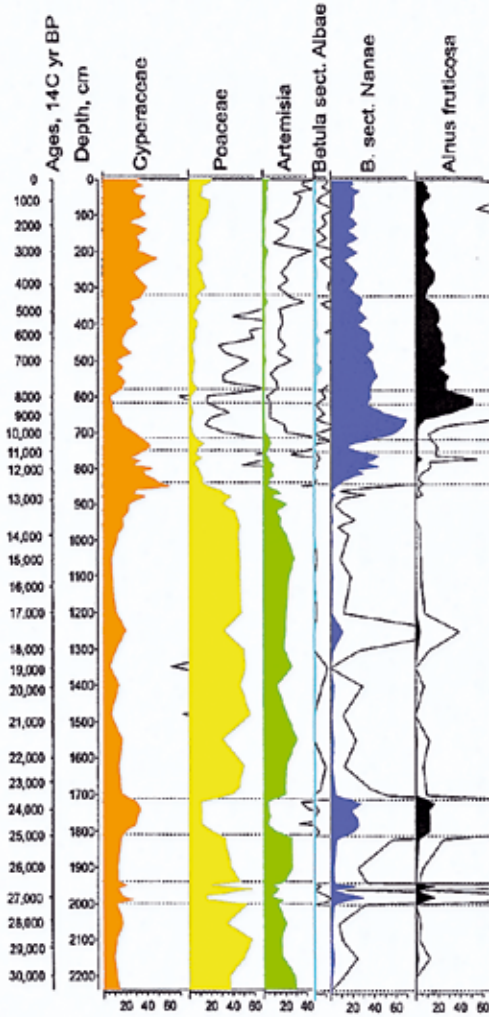
## Zelfmedicatie

We waren ook geïnteresseerd in het jaargetijde waarin de Yukagir Mammoet was gestorven. De resten van kleine wilgen gaven daar uitsluitsel over. De gevonden wilgenblaadjes waren allemaal vrij sterk vergaan: vrijwel alleen de bladnervatuur was



Afb. 7. 1: kop van de Yukagir Mammoet; 2: mest uit de darmen met zichtbare wilgentakjes; 3-11: stuifmeelkorrels van diverse soorten; 12: uitgeprepareerde wilgentakjes; 13: dunne wilgentakjes met okselknoppen; 14: wilgenvruchtjes; 15: bladresten van wilg. Foto's: Jan van Arkel.

Levinson-Lessing Lake  
Northern Taymyr



J. Hahne and M. Melles, 1999. In: Kassens et al. (eds). Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Springer-Verlag, Berlin, p. 407-423.

Percentages of pollen and spores from intestinal samples

cf. Androsace	0.2
Apiaceae	0.3
Artemisia	16.0
Asteraceae liguliflorae	0.2
Asteraceae tubuliflorae	0.2
Brassicaceae	0.7
Caryophyllaceae	4.7
Chenopodiaceae	0.1
Cyperaceae	0.1
Tricolpate with appendages	1.9
Epipactis	+
Ericales	0.1
Fabaceae	1.4
Liliaceae	+
Lotus	0.2
Papaver	0.1
Periporate with spinules	+
Plantago spec.	0.8
Plumbaginaceae Armeria type	+
Poaceae	70.6
Polemonium	0.2
Polygonum persicaria type	0.3
Potentilla type	0.9
Ranunculaceae	0.7
Rosaceae undiff.	0.2
Rumex acetosa type	0.8
Salix	0.2
Sanguisorba officinalis	0.1
Σ-pollen	1914
<b>Coprophilous fungi:</b>	
Sporormiella type	4.7
Podospora type	+
Sordaria type	0.8
Cercophora type	+
<b>Algae:</b>	
Spirogyra	+
Pediastrum	0.1

Afb. 8. Pollendiagram (gedeelte, naar Hahne en Melles, 1999) van meersedimenten in Taymyr (Noord-Siberië). De belangrijkste vegetatieveranderingen rond 12.500 jaar geleden, tijdens de overgang van het Pleistoceen naar het Holoceen, komen hierin duidelijk tot uiting. De typische steppevegetatie (Poaceae en Artemisia) neemt af terwijl toendrasoorten juist toenemen. De polleninhoud van de darmen van de Yukagir Mammoet wordt ook door grassen en Artemisia gedomineerd.

Oud DNA

Toen Dr. Barbara Gravendeel in 2005 in Leiden begon met een speciaal laboratorium voor oud DNA (aDNA = ancient DNA) heb ik direct contact met haar gezocht omdat onderzoek aan DNA uit bevroren materiaal goede perspectieven biedt voor determinatie van planten en dieren. Soms kunnen we via aDNA zelfs tot soortniveau determineren, terwijl we met het pollen niet verder komen dan familieniveau. Bovendien kunnen geconsumeerde plantendelen flink beschadigd zijn geraakt door het kauwen en hierdoor onherkenbaar worden, terwijl het DNA daar geen schade door oploopt. Samenwerking met Barbara Gravendeel leidde inderdaad tot extra determinaties, waardoor we een veel betere indruk kregen van de vegetatie ten tijde van de mammoetsteppe.

Gemiddelde juli-temperatuur

Uitgaande van de huidige situatie in Europa (vergelijking tussen temperatuur en boomgrens) gaan palynologen er vaak van uit dat boomloosheid van vroegere landschappen betekent dat de gemiddelde juli-temperatuur lager was dan 10 graden Celsius. In de situatie van de mammoetsteppe is het maar de

overgebleven (afb. 7) en geen enkele bladsteel was bevestigd aan een takje. De jaarringen van de wilgentakjes gaven verdere duidelijkheid: de eerste cellen van een nieuwe jaarring waren aanwezig, dus de Yukagir Mammoet moet in het vroege voorjaar zijn gestorven. Het aandeel van wilgenresten in de mest was erg groot en we vroegen ons af of er sprake kan zijn geweest van zelfmedicatie. Wilgen (*Salix* soorten) bevatten namelijk acetylsalicylzuur, de grondstof voor Aspirine, een pijnstillend, koortswerkend en ontstekingsremmend medicijn. Het dier was oud en het had zijn laatste kiezen versleten. Onderzoek wees uit dat onze mammoet onmiskenbaar last moet hebben gehad van ontstekingen. Zelfmedicatie komt in het dierenrijk regelmatig voor, maar in het geval van de Yukagir Mammoet vonden we dat idee toch wel zo speculatief dat we het maar niet genoemd hebben in de publicatie (van Geel et al., 2008).

<p><b>Toendra</b></p> <p><b>Vochtig klimaat: dikke sneeuwlaag in de winter. Venige laag op de bodem.</b></p> <p><b>Late start van het voorjaar. Smelten van de sneeuw kost tijd.</b></p> <p><b>Langzame recycling van nutriënten.</b></p> <p><b>Dunne ontdooide laag gedurende de zomer: weinig nutriënten voor de planten beschikbaar.</b></p> <p><b>Veel toendraplant zijn niet eetbaar. Hun groeipunten zitten aan het einde van de stengels en takjes (kwetsbaar bij begrazing).</b></p>	<p><b>Steppe</b></p> <p><b>Droog klimaat: 's winters voedsel gemakkelijk te vergaren.</b></p> <p><b>Vroege start van het groeiseizoen: weinig of geen sneeuw.</b></p> <p><b>Snelle recycling van nutriënten (veel herbivorenresten).</b></p> <p><b>Dikke ontdooide bodemlaag 's zomers: veel nutriënten beschikbaar voor de planten.</b></p> <p><b>Dominantie van grassen (uitstekend voedsel voor grazende dieren). De groeipunten van de grassen direct boven de grond, dus begrazing doet grassen geen kwaad: begrazing stimuleert de groei.</b></p>
--	---

Afb. 9. De belangrijkste verschillen tussen Holocene toendra en steppe tijdens de laatste ijstijd.

vraag of die aanname correct is. De rol van grote grazers in de mammoetsteppe moet ook medebepalend zijn geweest voor de soortensamenstelling van de vegetatie. De Amerikaanse onderzoeker Dale Guthrie heeft de grote verschillen betreffende het klimaat en de vegetatie tussen het Weichselien en het Holoceen belicht en hij heeft ook de rol van grote grazers beschreven (Guthrie, 2001). Essentieel is het verschil in de hoeveelheid neerslag. Tijdens de laatste ijstijd lag heel veel water opgeslagen in de ijskappen van Noord-Amerika en Noordwest-Europa. De Europese ijskap was opgebouwd uit neerslag die vanaf de noordelijke Atlantische Oceaan was binnengekomen. Meer naar het oosten was de lucht 'uitgerend' en heersten er droge omstandigheden. Daar hoorde een steppevegetatie bij. De geringe neerslag was juist gunstig voor grote herbivoren. Bij weinig sneeuw stond 's winters het voedsel gevriesdroogd klaar voor consumptie. De klimaatomslag bij het begin van het Holoceen komt duidelijk tot uiting in het stuifmeeldiagram (afb. 8). Na een lange periode met dominantie van grassen en *Artemisia* (steppebegroeiing tijdens het Boven-Pleniglaciaal) zien we dat die steppe-soorten aan het begin van het Holoceen sterk afnemen terwijl toendrasoorten, met name dwergstruiken en Cypergrassen, juist toenemen

### Factoren die hebben geleid tot het uitsterven van mammoeten bij het begin van het Holoceen:

- Van steppe naar tundra: een grote milieuverandering.
- Problemen voor ecologisch gespecialiseerde soorten.
- Afname van de 'draagkracht' van landschap; afname van het voedsel, met name 's winters vanwege de sneeuw.
- De Cro-Magnon mensen waren vindingrijke jagers.
- Habitatverlies en fragmentatie
  - Isolatie van kleine populaties
  - Inteelt; afgenomen genetische uitwisseling en dus minder genetische variatie en minder mogelijkheden voor selectie en aanpassing.
- Lage reproductiviteit: lange draagtijd en weinig kalveren.

Afb. 10.

### De laatste mammoeten

De omslag van klimaat en vegetatie aan het begin van het Holoceen was ongunstig voor grote grazers: meer neerslag in de winters maakte het moeilijker om aan voedsel te komen. In de kaerteksten (afb. 9 en 10) zijn respectievelijk de verschillen tussen toendra en steppe naast elkaar gezet en zijn de diverse factoren aangegeven die tot uitsterven hebben geleid. De overgang naar het Holoceen leidde tot kleine populaties, die gemakkelijk van elkaar geïsoleerd konden geraken. Dat heeft waarschijnlijk tot inteelt geleid, met alle problemen van dien. De inmiddels aanwezige Cro-Magnonmensen, met hun geavanceerde jachtmethoden, hebben mogelijk aan het uitsterven verder bijgedragen. Onderzoek toont aan dat aan het begin van het Holoceen de mammoeten vrijwel overal zijn uitgestorven, met uitzondering van enkele geïsoleerde gebieden, zoals de destijds niet door mensen bewoonde eilanden Wrangel in de Noordelijke IJszee en St. Paul in de Beringzee. Daar hebben mammoeten nog enkele duizenden jaren doorgeleefd, maar ook daar zijn de laatste populaties uiteindelijk ten onder gegaan.

Volgens Graham et al. (2016) was de oorzaak van het uitsterven op St. Paul de stijgende zeespiegel. Hierdoor werd het eiland steeds kleiner en was er tijdens een droge periode sprake van schaarste aan zoet water. Omdat veel dieren gebruik moesten maken van een beperkt aantal drinkplaatsen vervuilde het water sterk. Die omstandigheden zouden rond 5600 jaar geleden hebben bijgedragen aan het uitsterven van mammoeten op St. Paul.

### Dankwoord

Dick Mol, Jan van Arkel (fotografie), Guido van Reenen, Barbara Gravendeel, Ian Bull, Fiona Gill, Daniel Fisher, André Aptroot en vele anderen (zie de medeauteurs van de diverse artikelen waarvan ik eerste auteur was) worden bedankt voor hun inzet bij het mammoet-onderzoek.

*Afbeeldingen van de auteur en van het Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica, UvA*

\*)Adresgegevens van de auteur:

Universiteit van Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam.

Website: <http://home.medewerker.uva.nl/b.vangeel/>

### Literatuur

- Graham, R.W., Belmecheri, S., Choy, K., Culleton, B.J., Davies, L.J., Froese, D., Heintzman, P.D., Hritz, C., Kapp, J.D., Newsom, L.A., Rawcliffe, R., Saulnier-Talbot, E., Shapiro, B., Wang, Y., Williams, J.W. and Wooller, M.J., 2016. Timing and causes of mid-Holocene mammoth extinction on St. Paul Island, Alaska. *PNAS* 113: 9310-9314.
- Guthrie, R.D., 2001. Origin and causes of the mammoth steppe: a story of cloud cover, woolly mammal tooth pits, buckles, and inside-out Beringia. *Quaternary Science Reviews* 29: 549-574.
- Hahne, J. and Melles, M., 1999. Climate and vegetation history of the Taymyr Peninsula since middle Weichselian time – Palynological evidence from lake sediments. In: H. Kassens et al., *Land-Ocean systems in the Siberian Arctic*. Springer, Berlin, p. 407-423.
- Mol, D., 2000. Op expeditie naar de Jarkov Mammoet, Taymyr Schiereiland, Siberië. *Straatgras* 2000, nr 1: 2-9. Op internet beschikbaar: [http://www.hetnatuurhistorisch.nl/fileadmin/user\\_upload/documents-nmr/Straatgras/Straatgras\\_2000/Straatgras\\_2000\\_nr\\_1/Straatgras\\_2000\\_nr\\_1\\_Jarkov\\_mammoet.pdf](http://www.hetnatuurhistorisch.nl/fileadmin/user_upload/documents-nmr/Straatgras/Straatgras_2000/Straatgras_2000_nr_1/Straatgras_2000_nr_1_Jarkov_mammoet.pdf)
- van Geel, B., Fisher, D.C., Rountrey, A.N., van Arkel, J., Duivenvoorden, J.F., Nieman, A.M., van Reenen, G.B.A., Tikhonov, A.N., Buigues, B. and Gravendeel, B., 2011. Palaeo-environmental and dietary analysis of intestinal contents of a mammoth calf (Yamal Peninsula, northwest Siberia). *Quaternary Science Reviews* 30: 3935-3946.
- van Geel, B., Guthrie, R.D., Altmann, J.G., Broekens, P., Bull, I.D., Gill, F.L., Jansen, B., Nieman, A.M. and Gravendeel, B., 2011. Mycological evidence for coprophagy from the feces of an Alaskan Late Glacial mammoth. *Quaternary Science Reviews* 30: 2289-2303.
- van Geel, B., Aptroot, A., Baittinger, C., Birks, H.H., Bull, I.D., Cross, H.B., Evershed, R.P., Gravendeel, B., Kompanje, E.J.O., Kuperus, P., Mol, D., Nierop, K.G.J., Pals, J.P., Tikhonov, A.N., van Reenen, G. and van Tienbergen, P.H., 2008. The ecological implications of a Yakutian mammoth's last meal. *Quaternary Research* 69: 361-376.