

Innvandring og spredning av vanlige skogstrær på Sør-Østlandet

Helge I. Høeg, Kari E. Henningsmoen og Rolf Sørensen

Høeg, H.I., Henningsmoen, K.E. & Sørensen, R. 2018. Innvandring og spredning av vanlige skogs-trær på Sør-Østlandet. *Blyttia* 76: xx-xx.
Immigration and expansion of common forest trees in southeastern Norway.

Based on pollen-analyses from 50 sites in southeastern Norway, supplied with 59 calibrated radiocarbon dates, we have dated the expansion of hazel *Corylus avellana*, to $10\,515 \pm 315$ cal. yrs BP (n=6), alder *Alnus* spp. to $9\,175 \pm 315$ cal. yrs BP (n=11), and lime *Tilia cordata*, to $7\,655 \pm 205$ cal. yrs BP (n=15). Norway spruce *Picea abies* expanded on the east side of the Oslofjord $1\,340 \pm 225$ cal. yrs BP (n=6), and on the west side of the fjord $1\,215 \pm 225$ cal. yrs BP (n=21). Possible earlier appearance of spruce are discussed. In addition, we comment on the spread of birch *Betula tortuosa/pubescens* (ca. 11 400 cal. yrs BP), and aspen *Populus tremula* that appeared simultaneous with birch or a little later. Scots pine *Pinus sylvestris* expanded ca. 10 400 cal. yrs BP. Elm *Ulmus glabra* and oak *Quercus robur* appeared ca. 11 000 cal. yrs BP, and together with lime they comprise the thermophilous broadleaved forests which reached a maximum between 8000 and 6000 cal. yrs BP. Beech *Fagus sylvatica* expanded between 1 000 and 1 300 cal. yrs BP, but may have been present in Vestfold several thousand years earlier. The spread of the trees may have started from *expansion foci* and after a while expanded as a *moving front*. Nearly all the tree-species had an early appearance, but this cannot be dated accurately by pollen-analysis. The expansion took place when the climatic and edaphic conditions became favorable for the respective species. Instead of the traditional meaning of the term *the Holocene thermal maximum*, we propose an alternative term; *the Holocene ecological optimum*, between approximately 9000 and 5000 cal yr BP.

Helge I. Høeg, Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, NO-0130, Oslo
helge@hoeg.no

Kari E. Henningsmoen, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, NO-0318, Oslo
k.e.henningsmoen@geo.uio.no

Rolf Sørensen, Institutt for miljøvitenskap, Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, NO-1432 Ås
rolf.sorensen@nmbu.no (korresponderende forfatter)

Siden introduksjonen av pollenanalyse i Skandinavia for omtrent hundre år siden (von Post 1918) har innvandring og spredning av høyere planter vært et viktig tema i kvartærbotanikk. Vi gir her en oversikt over innvandring og spredning av hassel *Corylus avellana*, or *Alnus* spp. lind *Tilia cordata* og gran *Picea abies*, basert på tilgjengelige ¹⁴C-dateringer (59 – publiserte og upubliserte) fra 50 lokaliteter på Sør-Østlandet (figur 1, tabell 1). I tillegg har vi noen få dateringer for etableringen av skogsdannende bjerk *Betula pubescens* s.l., osp *Populus tremula* og furu *Pinus sylvestris*. Spredningen av alm *Ulmus glabra*, eik *Quercus robur* og bøk *Fagus sylvatica* blir kort omtalt. På samtlige lokaliteter har vi datert det nivået hvor pollendiagrammene viser en sammenhengende kurve med markert økning.

Det treslaget som er best undersøkt og diskutert når det gjelder innvandring og spredning, er gran, se f. eks. Hafsten et al. (1979), Henningsmoen (1979),

Høeg (1979) og Kullman (1996, 2000). Regional og lokal spredningsdynamikk for gran er diskutert av blant andre Giesecke (2005a) og Bjune et al. (2009). En teori hevder at gran har spredd seg som en front (*moving front*) fra øst mot vest i Skandinavia. En annen hevder at spredningen kan ha skjedd fra små bestand (forposter–*expansion foci*, Kullman 1996) isolert fra et sammenhengende område av gran (figur 2). Han mener at pollenanalysen ikke kan brukes til å datere *expansion foci*, men når det forekommer sammenhengende og forholdsvis høye pollenverdier, vil «pollen data fairly accurately describe the establishment and distribution of continuous spruce forest or forest with substantial admixture of spruce» (op. cit. side 97). Begge spredningsmekanismer (*moving front* og *expansion foci*) har sannsynligvis vært virksomme, og de vil kunne gjøre seg gjeldene for innvandringen av andre trær og busker. Alle årstall i denne artikkelen blir oppgitt i

Tabell 1. Liste over ¹⁴C-daterte lokaliteter. Siste kolonne viser innvandring/spredning av treslag, A₀ or, C₀ hassel, P₀ gran, T₀ lind. YD: Yngre Dryas.

Radiocarbon dated localities. Last column designates the arrival /dispersal of tree species: A₀ Alnus, C₀ Corylus, P₀ Picea, T₀ Tilia. YD: Younger Dryas.

Nr	Fylke: Kommune	Lokalitet	H.o.h., m	EUREF89 sone 32 (E N)	Datert hendelse
No	County: Municipality	Locality	m a.s.l.		Dated event
1	Ak Bærum	Breimosan	403	579261 6641879	P ₀
2	Te Tinn	Grovstjern	396,2	502185 6634895	A ₀
3	Te Kvitseid	Heggveit	337	475588 6589434	A ₀
4	Bu Øvre Eiker	Høgåsmyr	295	542896 6625778	P ₀
5	Ak Bærum	Gupu	268	579451 6639041	A ₀ - P ₀
6	Te Notodden	Solbergjern	245,4	510131 6607542	T ₀
7	Øf Halden	Store Svantjern	198,1	649489 6533381	YD-vegetasjon
8	Øf Halden	Kløvtjern	185,1	641724 6534624	A ₀
9	Øf Halden	Stutøye	179,6	642209 6535860	C ₀
10	Øf Halden	Røssetjern	176	642828 6534919	C ₀
11	Øf Halden	Søndre Svartkolltjern	172,1	643665 6555175	C ₀
12	Ak Ski	Hebekkmåsan	171	601954 6622808	P ₀
13	Ak Bærum	Fløytnyr	167	589846 6650287	C ₀
14	Bu Hurum	Svartvannsmyr	159	582857 6611706	A ₀ - T ₀ - P ₀
15	Vf Larvik	Solbot-tjern	157	550292 6551703	YD-vegetasjon
16	Te Bø	Harpetjønn	147,8	504212 6589611	T ₀
17	Te Siljan	Elgtjern	142,4	548657 6569090	T ₀
18	Vf Larvik	Stegakløvtjern	128,5	554466 6548767	C ₀
19	Vf Larvik	Malerødtjern	124,4	554343 6549128	C ₀
20	Ak Ås	Rustadmåsan	105	603218 6615511	T ₀ - P ₀
21	Vf Sandefjord	Fevang skole	98	570578 6562205	P ₀
22	Vf Sandefjord	Nordre Fevang	97,6	570350 6563096	A ₀ - T ₀ - P ₀
23	Ak Ås/Ski	Østensjøvann	90	602977 6618099	P ₀
24	Vf Sandefjord	Kjeldemyr	87,7	568376 6562596	A ₀ - T ₀
25	Ak Ås	Korsegårdsmyra	85	598088 6614795	T ₀ - P ₀
26	Vf Stokke	Holtemyr	78	572890 6565696	P ₀
27	Vf Larvik	Tjønnemyr	75	551363 6548354	A ₀
28	Vf Horten	Adaltjern	71,2	581636 6582158	A ₀ - T ₀ - P ₀
29	Te Porsgrunn	Rognlien (Abrahamsmyr)	68	546435 6547995	P ₀
30	Vf Larvik	Solumdammen	62,5	550287 6549400	T ₀
31	Øf Halden	Møllermosen	61,4	629776 6554533	T ₀ - P ₀
32	Te Bamble	Skogtjern	57,2	536670 6541011	T ₀
33	Vf Holmestrand	Dalsrudmåsan	55	566398 6601715	P ₀
34	Vf Larvik	Bøkeskogen	55	558718 6546873	P ₀
35	Vf Larvik	Ringdal	52,	563936 6553577	A ₀
36	Te Kragerø	Pøddetjønn	51,	513373 6519975	A ₀ - T ₀
37	Vf Larvik	Fossanetjern	50,1	559418 6550019	T ₀
38	Vf Larvik	Nordbytjern	49,	560407 6549796	T ₀ - P ₀
39	Vf Horten	Solheimtjern	47,7	579164 6581517	P ₀
40	Te Porsgrunn	Stamland myr	47,	543195 6549478	T ₀
41	Øf Sarpsborg	Haraldastadmyr, Tune	43,	617238 6574799	P ₀
42	Te Gvarv	Sagavoll	35,6	509134 6583447	P ₀
43	Vf Larvik	Berganmyr	33,	565458 6551386	P ₀
44	Vf Sandefjord	Napperødtjern	30,	567130 6560931	P ₀
45	Vf Larvik	Vittersøtjern	27,5	565013 6547548	P ₀
46	Vf Tønsberg	Bekketjernmyr	27,3	583863 6572848	P ₀
47	Øf Sarpsborg	Gunnhildsmyr, Skjeberg	26	619896 6565350	P ₀
48	Te Skien	Storemyr	19,5	537818 6561838	P ₀
49	Vf Tjøme	Kynna-Sundene	12,6	579595 6558445	P ₀
50	Vf Larvik/Te Porsgrunn	Mørjetjern	3,5	548165 6545636	P ₀



Figur 1. Undersøkte lokaliteter på Sør-Østlandet. Tallene refererer til lokalitetsbeskrivelse i tabell 1.
Investigated sites in south-eastern Norway. Numbers refer to locality descriptions in Table 1.

dendrokalkibrerte ^{14}C -år = kalenderår før nåtid (f.n.). Nåtid er her definert som år 2000 (Wolff 2007).

Metoder

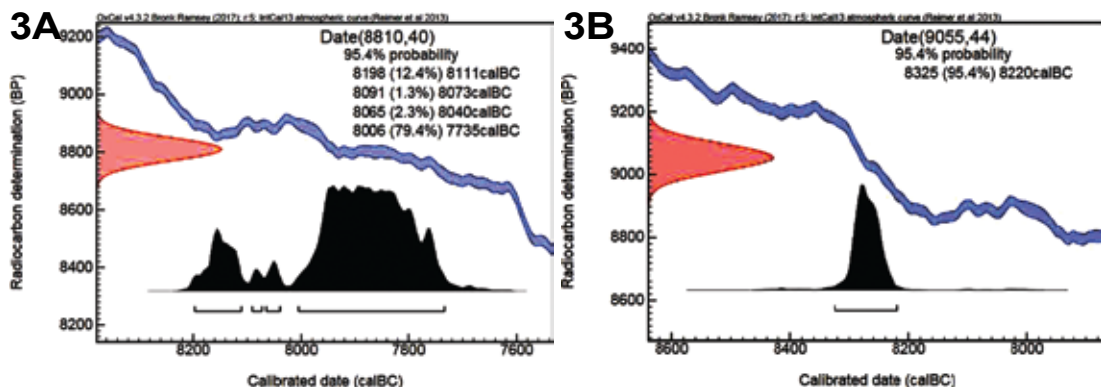
Prøvetaking: De eldre pollenanalysene er utført på prøver innsamlet med *hillerbor*. Problemene med denne prøvetakingen diskuteres andre steder i teksten. Nyere pollenanalyser og de fleste ^{14}C -dateringer er utført på prøver innsamlet med *russerbor* med forskjellige lengder 75 og 100 cm og diameter 7,5 og 10 cm (Jowsey 1966).

Pollenanalyse: Denne studien er basert på pollenanalyse (studie av blomsterstøv, sporer og andre mikroorganismer som er oppbevart i myr-torv og innsjø-avsetninger). Det er tatt ut prøver med nøyaktig volum (1 cm^3) av torv eller gytje med varierende avstand nedover i sedimentkjernene. Under prepareringen av prøvene blir det tilsatt et kjent antall eksotiske pollen eller sporer. I vårt tilfelle er det brukt sporer av myk kråkefot *Lycopodium clavatum*. Forholdet mellom pollenkorn og



Figur 2. Figuren viser nåtidens utbredelse av gran *Picea abies* i Sør-Norge (modifisert fra Hafsten 1985). Sammenhengende granskog er vist med raster. Prikkene representerer isolerte bestand. Moderne skogplantinger i Vest-Norge er ikke markert. Vårt undersøkelsesområde er markert med grønn ramme. En lokalitet i søndre Setesdal (Eide et al. 2006), og en fra Nannestad (Høeg 1997) er markert med grønne punkter.

The present distribution of Norway spruce Picea abies in southern Norway (modified from Hafsten 1985). Continuous spruce forest areas are shown with gray shade. The black dots represent isolated stands. Modern spruce-plantations in western Norway are not included. Our area of investigation is marked with a green frame. One site in southern Setesdal, southern Norway (Eide et al. 2006), and one from Nannestad, eastern Norway (Høeg 1997), are marked with green dots.



Figur 3. To forskjellige tilfeller av kalibrering av ^{14}C -dateringer. Two different cases of calibration of ^{14}C -dates.

Er det mulig å kort forklare figurene, slik at de blir noenlunde forståelige?

Lycopodium-sporer vil da gi antall pollen pr 1 cm^3 sedimentprøve. I tillegg må vi ha flere ^{14}C -dateringer fra kjernen, slik at vi kan beregne tilveksten i myra / sedimentasjons-hastigheten i innsjøen. På figur 4 viser vi to 'influx pollendiagram'. De viser nedfallet (influx) av pollen per areal (1 cm^2) per år, og er mål for vegetasjonstetthet. Alle pollendiagram er laget med dataprogrammene Tilia og Tilia Graph (Grimm 2000). I de fleste analyserte nivåene er det talt 600–700 pollenkorner av høyere planter. De forskjellige trærne vi har med i undersøkelsen har betydelige forskjeller i pollenproduksjon og spredning (med insekter eller vind). Furu produserer svært store mengder pollen når det klimatiske grunnlaget for blomstring er optimalt. I varme somre, som under *det tidlig holocene termale maksimum* (9 500 – 8 500 år f.n.), produserte furutrærne mer pollen enn i senere kjøligere somre fra samme bestandstørrelse (Paus & Haugland 2017). Generelt er etableringen av blomsteranlegg (og pollenproduksjon) hos våre treslag avhengig av sommertemperaturen eller av varmesummen for måneder med temperatur over 5° C, vinterkulde og tilgang på fuktighet (Huntley 2012). Lind etablerer blomsteranlegg på sensommeren og høsten, og høye og stabile temperaturer på denne tiden vil være gunstig for pollenproduksjon det følgende år (Atle Håbjørg, pers. medd., juni 2007).

Bjerk, hassel, eik, alm og or produserer også mye pollen, og har pollenkorner som spres med vinden. Gran og bøk produserer færre pollen som også spres med vind. Pollenkornerne deres er store og litt tyngre, og de spres sannsynligvis ikke så langt som de før nevnte pollentypene. Lind produserer langt mindre med pollen, som spres med insekter.

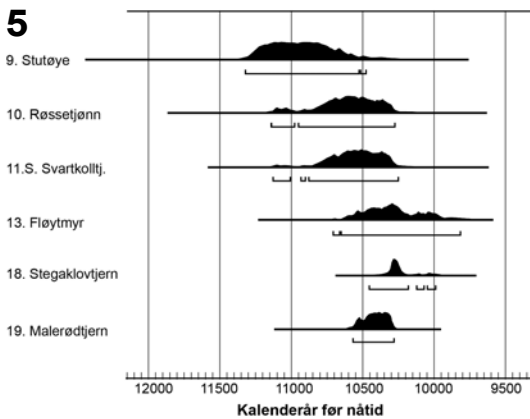
I tillegg er pollenkornerne store og tunge. Når det forekommer pollen av lind i våre prøver, har treet sannsynligvis vokst i området. Det henvises også til mega- og makro-rester av enkelte treslag i teksten. Det kan dreie seg om trestokker, trerester, trekull, frø, nåler eller blad.

Radiokarbondateringene er utført ved flere forskjellige laboratorier. Noen av dateringene er konvensjonelle og utført på tykke sediment-prøver. De har store standardavvik på datering og tildels store usikkerheter på grunn av prøvetakingen med hullerbor. De fleste dateringene er utført på tynne sediment-prøver med akselerator-massespektrograf (AMS), og de har derfor en mindre samlet usikkerhet. I høyre kolonne i tabellene 2–6 er det aritmetiske middelet av kalibrert alder med standardavvik oppført. Dette kan i noen tilfeller være misvisende. Hvis ^{14}C -alderen faller på eller nær et kalibreringsplata, vil 'kalibrerings-grafen' være usymmetrisk og middelverdien kan ligge mellom to eller flere topper. Hvis ^{14}C -alderen faller på en lineær del av kalibreringskurven, blir kalibrert alder symmetrisk og middelverdien gir et korrekt tall (se figur 3).

Kalibreringen er gjort med OxCal v4.2 (Bronk-Ramsey 2009, Reimer et al. 2013). Beskrivelse av dateringsmetoden og kalibrering finnes på: <http://no.wikipedia.org/wiki/Karbondatering> og <http://no.wikipedia.org/wiki/Dendrokronologi>.

De første skogstrærne

Over hele Norge finner en at bjerk var det første treet som innvandret (Birks 2015). Bjerk er en lyskrevende pioner som produserer store mengder frø som spres med vinden. Derfor kunne den



Figur 5. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av spredningen av hassel *Corylus avellana* (C_0) på Sør-Østlandet. De enkelte kurvene viser kalibrert alder med en usikkerhet på to standardavvik. Data om lokalisering i figur 1 og tabell 1. Det samme gjelder figurene 6, 7 og 8.

Calibrated ¹⁴C-dates of the expansion of hazel Corylus avellana (C_0) in southeastern Norway. The separate diagrams show calibrated age with two standard deviations. Data on localisation, see Fig. 1 and Table 1. The same applies to the figures 6, 7 and 8.

ha vært en åpen bjerk-tundra-fase. På vestsiden av fjorden (figur 4B) spredde bjerk seg litt senere. Omtrent samtidig med bjerk, eller kort tid etter, innvandret osp *Populus tremula*. Osp har pollenkorn med tynne vegger, og de blir lett ødelagt. Derfor er forekomsten av osp basert på pollenanalyse noe usikker. Det neste treslaget som etablerte seg på Sør-Østlandet var furu. I Store Svantjern (figur 4A) økte pollen-nedfallet fra furu kraftig ca. 10 400 år f. n. Furu produserer store mengder pollen som spres langt, og vi antar at de lavere nedfallsverdiene i figur 4A og 4B representerer fjerntransport – d.v.s at det ikke vokste furu i disse områdene før ca. 10 400 år f. n. I de to influks-diagrammene (figur 4) indikerer et nedfall på 500–600 pollenkorn/cm²/år eller færre fra bjerk, furu og hassel at det forekom

enkelt-bestand eller at det er 'langtransportert' pollen. Høyere verdier tolkes som at det var etablert skog i området.

Innvandring og spredning av hassel

I Store Svantjern (figur 4A) øker pollen-nedfallet fra hassel kraftig ca. 10 400 år f. n. – omtrent samtidig med ekspansjonen av furu. Vi har seks dateringer av spredningen av hassel, hovedsakelig fra søndre Østfold og søndre Vestfold (figur 5, tabell 2). Søndre Svartkoltjern (11) ligger i Ra-morene-sonen, mens områdene omkring Stutøye (9) og Røssetjern (10) ble isfrie i allerød-tid (ca. 13 000 år før nåtid). De tre lokalitetene finnes over marin grense i søndre Østfold. Sannsynligvis innvandret hassel til Østlandet via Bohuslän. Den spredde seg omtrent synkront over store deler av Nord-Europa for ca. 10 600 år siden (Giesecke et al. 2011). Både furu og hassel ekspanderte i preboreal tid under det tidlig holocene termale maksimum (tHTM) med tørre og varme somre. Spredning av hassel ved hjelp av mennesker er også en mulighet (Firbas 1949, Kaland & Krzywinski 1978). Datering av ekspansjonen av hassel fra seks lokaliteter på Sør-Østlandet gir en middelværdi på 10 515 ± 315 år f. n. (figur 5, tabell 2). Eldste datering er 10 925 ± 395 og yngste er 10 235 ± 420 kal. år f. n. (tabell 2), en spredning på 690 år. Dateringene fra søndre Østfold er litt eldre enn de fra søndre Vestfold og Akershus (figur 5), og det kan bekrefte at hassel spredde seg fra Sverige til Østfold og videre derfra.

Innvandring og spredning av or

I de fleste pollendiagram opptrer or med markert økning og uten 'hale' (se forklaring side 192). Datering av ekspansjonen av or fra 11 lokaliteter på Sør-Østlandet gir en middelværdi på 9 175 ± 315 år f. n. (figur 6, tabell 3). Eldste datering er 9 755 ± 145 og yngste er 8 795 ± 315 år f. n. (tabell 3), en spredning på 960 år. Åtte av dateringene er konsvensjonelle med stor usikkerhet og stor spredning

NB:
husk
en-
delig
side
num-
mer

Tabell 2. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av innvandring/spredning av hassel (C_0) på Sør-Østlandet. *Calibration of ¹⁴C-dated immigration and expansion of hazel (C_0) in southeastern Norway.*

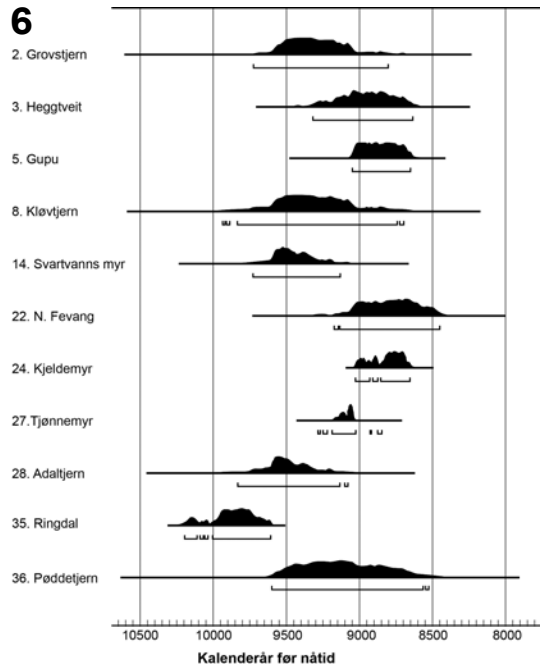
Lab. nr.	nr	Lokalitet	14C-alder BP	Kalibr. alder 2σ	Midlere alder f.n.
T-4649A	9	Stutøye, Øf Halden	9 570±160	11 320–10 530	10 925±395
T-4650A	10	Røssetjønn, Øf Halden	9 320±150	11 135–10 270	10 700±430
T-4137A	11	Søndre Svartkoltjern, Øf Halden	9 280±140	10 865–10 245	10 555±310
T-657	13	Fløytskyr, Ak Bærum	9 090±150	10 660– 9 815	10 235±420
LuS-8001	18	Stegaklovkjern, Vf Larvik	9 050±65	10 450–10 060	10 255±195
LuS-8004	19	Malerødtjern, Vf Larvik	9 190±65	10 570–10 280	10 425±145

i kalibrert alder. Dateringene har en konsentrasjon fra søndre Vestfold, mens dateringene fra Akershus, Buskerud, Østfold og Telemark har en stor geografisk spredning (figur 1). Mange av dateringene er kystnære, og havnivået i Oslofjord-området var ca. 50 m høyere enn i dag for 9 000 år siden (Sørensen et al. 2014b). Vi har tidligere brukt en innvandringsalder for or på $9\,200 \pm 200$ år f. n. (Moe et al. 1996), hvilket samsvarer bra med våre nye data.

På Sør-Østlandet har vi ingen sikre data på om det var gråor *Alnus incana* eller svartor *A. glutinosa* som kom først. Makrorester av begge artene er datert til ca. 9 300 år f. n. fra fjellregionen i Jämtland (Kullman 1998a). Pollendata viser at or ekspanderte i fjellregionen ca. 9 300 år f. n. (Paus 2010, Giesecke 2005b), og det er omtrent samtidig med ekspansjonen av or i lavlandet på Østlandet. Pollenanalyse fra Engerdal, Hedmark, indikerer ekspansjon av or på 950 m o.h. for ca. 9 000 år siden med et maksimum omkring 6 700 år f. n. (Sørensen 2000). Ved Hemma 345 m o.h. i Ringsaker, Hedmark, er ekspansjon av or datert til 9 600 år f.n. (Mangerud et al. 2017). I Nordøst-Europa og Sør-Skandinavia innvandret og ekspanderte svartor omtrent synkront for ca. 9 600 år siden, og et regionalt skifte til fuktigere klima er forklart som den viktigste faktoren til synkroniteten (Giesecke et al. 2011).

Innvandring og spredning av lind

I de fleste pollendiagrammene opptrer lind med en markert økning og som regel uten 'hale'. Lind er insektbestøvet og har store og tunge pollenkorner. Når disse opptrer i analysen, er det sannsynlig at lind vokste nær lokaliteten. I figur 7 og tabell 4 viser vi femten dateringer av lind (T_o) fra Sør-Østlandet (hovedsakelig fra søndre Vestfold og sørøstre Telemark). Åtte av dateringene i figur 7 er utført med

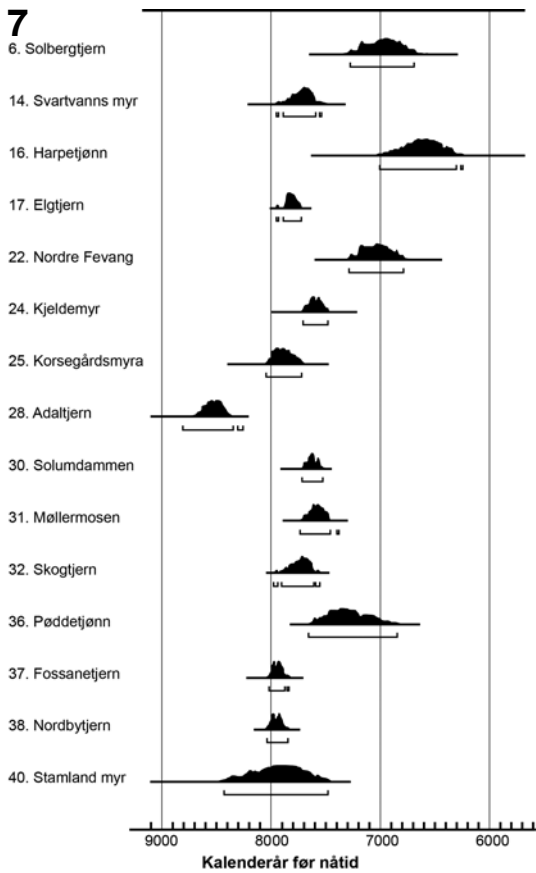


Figur 6. Kalibrerte ^{14}C -dateringer av spredningen av or *Alnus* spp. (Ao) på Sør-Østlandet.
Calibrated ^{14}C -dates of the expansion of alder *Alnus* spp. (Ao) in southeastern Norway.

AMS, mens de øvrige er konvensjonelle dateringer med stor usikkerhet og stor spredning. Den store spredningen i dateringene (1975 år, tabell 4) skyldes sannsynligvis variasjon i lokalklima, jordsmonnforhold og spredningshastighet. Lind er det mest varmerekrevende treslaget vårt, og ekspansjonen tolkes som et skifte til varmere klima for ca. 8 000

Tabell 3. Kalibrerte ^{14}C -dateringer av innvandring / spredning av or (A_o) på Sør-Østlandet.
Calibration of ^{14}C -dated immigration and expansion of alder (A_o) in southeastern Norway.

Lab. nr	nr	Lokalitet	14C-alder BP	Kalibr. alder (2σ)	Midlere alder f.n.
T-14864	5	Gupu, Ak Bærum	7 955±75	9 055–8 660	8 860±200
T-8834	14	Svartvann, Bu Hurum	8 440±125	9 735–9 140	9 435±295
T-4945	8	Kløvtjern, Øf Halden	8 340±210	9 840–8 745	9 295±550*
T-9393A	28	Adaltjern, Vf Horten	8 470±135	9 830–9 135	9 485±350*
T-6659A	22	N. Fevang, Vf Sandefjord	7 880±150	9 145–8 450	8 795±345*
Bet-348060	24	Kjeldemyr, Vf Sandefjord	7 920±40	9 185–9 025	9 105±80
T-17548	35	Ringdal, Vf Sandefjord	8 780±65	9 905–9 610	9 755±145
Bet-348061	27	Tjønnemyr, Vf Larvik	8 100±40	9 030–8 660	8 845±185
T-2262	3	Heggtveit, Te Kvitseid	8 040±120	9 330–8 645	8 985±340*
T-2263	2	Grovstjern, Te Tinn	8 320±180	9 735–8 815	9 275±460*
T-1862	36	Pøddetjern, Te Kragerø	8 160±230	9 600–8 565	9 085±520*



Figur 7. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av spredningen av lind *Tilia cordata* (T_0) på Sør-Østlandet. *Calibrated ¹⁴C-dates of the expansion of lime *Tilia cordata* (T_0) in southeastern Norway.*

Tabell 4. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av innvandring / spredning av lind (T_0) på Sør-Østlandet. *Calibration of ¹⁴C-dated immigration and expansion of lime (T_0) in southeastern Norway.*

Angi hvilke som er utført med AMS

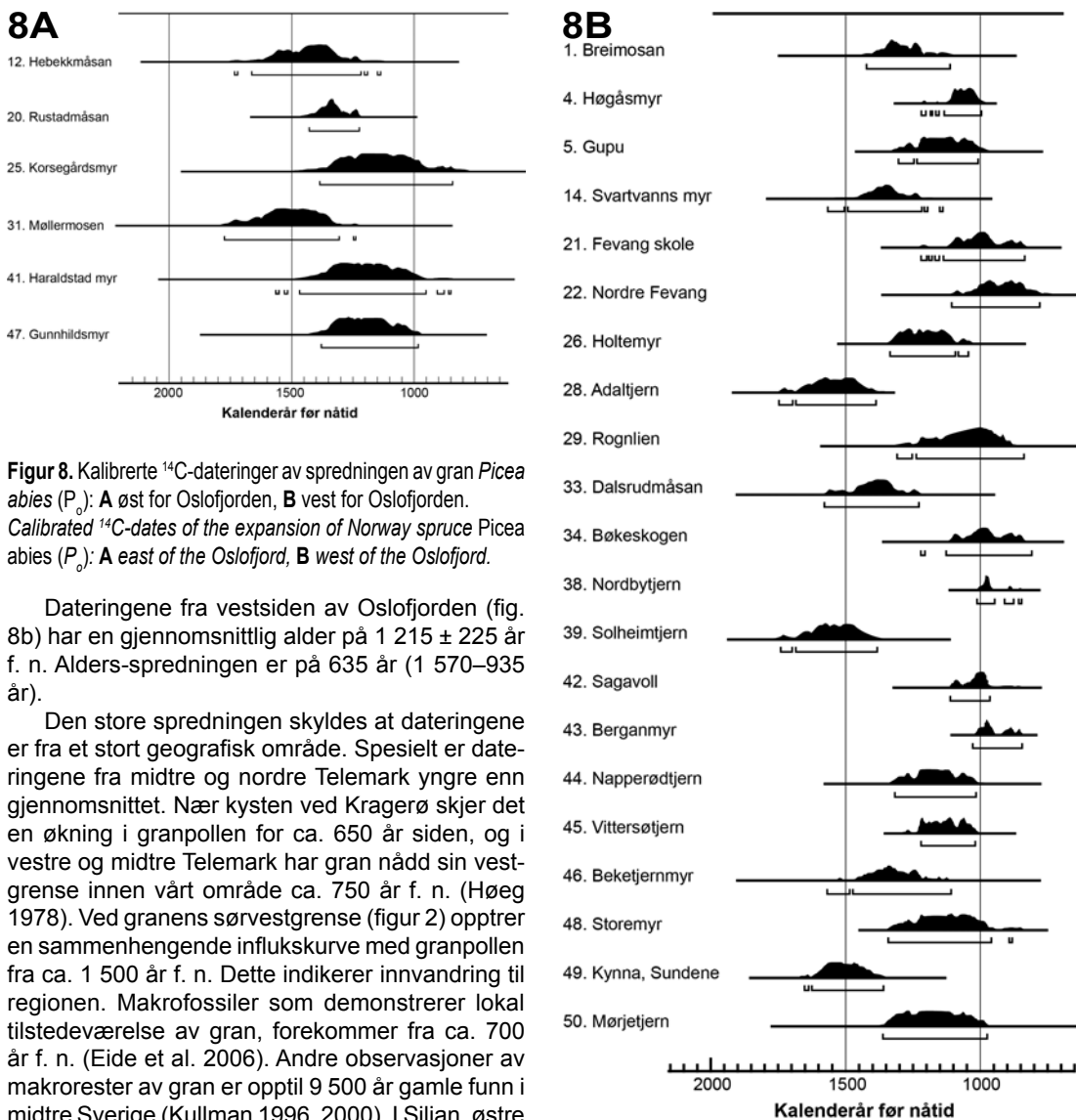
Lab. nr	nr	Lokalitet	14C-alders BP	Kalibr. alder (2σ)	Midlere alder f.n.
T-9124	14	Svartvann, Bu Hurum	6 835±90	7 910–7 615	7 765±150
T-4946	25	Korsegårdsmyra, Ak Ås	7 030±90	8 055–7 735	7 895±160
T-10527A	28	Adaltjern, Vf Horten	7 685±105	8 815–8 355	8 585±230
T-6660	22	N. Fevang, Vf Sandefjord	6 110±100	7 300–6 825	7 060±235
T-22437	24	Kjeldemyr, Vf Sandefjord	6 690±80	7 720–7 485	7 605±120
Bet-349622	37	Fosanetjern, Vf Larvik	7 060±40	8 015–7 875	7 945±70
TRa-3003A	38	Nordbytjern, Vf Larvik	7 075±50	8 035–7 845	7 945±95
TRa-3000A	30	Solumdammen, Vf Larvik	6 715±55	7 720–7 540	7 630±90
T-15756	31	Møllermosen, Øf Halden	6 665±95	7 745–7 470	7 610±140
Bet-380503	17	Elgtjønn, Te Bamble	6 960±30	7 905–7 750	7 830±80
T-2406	32	Skogtjern, Te Bamble	6 830±100	7 920–7 605	8 075±155
T-1979	16	Harpetjønn, Te Gvarv	5 760±160	7 020–6 325	6 670±345*
T-1856	6	Solbergtjønn, Te Notodden	6 070±120	7 295–6 725	7 010±285
T-1976	40	Stamland, Te Porsgrunn	7 020±270	8 435–7 480	7 955±475*
T-1861	36	Pøddetjønn, Te Kragerø	6 360±200	7 660–6 845	7 255±410*

år siden, kort tid etter en global kuldepuls som er datert til ca. 8 200 år før nåtid (Alley & Agustsdottir 2005).

Det er en svak tendens til tidligere innvandring nær kysten. Havnivået på den tiden var ca. 40 m høyere enn i dag (Sørensen et al. 2014b). Denne kyststrekningen er fortsatt den gunstigste klimasonen (nemoral sone, Moen 1998) i Norge, spesielt med hensyn til både sommer- og vinter-temperatur. Vi har tidligere brukt en innvandringsalder for lind på $7\,650 \pm 200$ år f. n. (Moe et al. 1996). De nye dataene gir en identisk middelverdi ($7\,655 \pm 205$, figur 7). Den eldste dateringen ($8\,585 \pm 230$) er gjort i Adaltjern nær Horten, mens den yngste observerte spredningen av lind i det undersøkte området ($6\,670 \pm 345$) er fra Gvarv i Telemark. I fjellregionen i Jämtland er makrorester av lind datert til ca. $7\,865$ år f. n. (Kullman 1998b). Denne lokaliteten i Midt-Sverige ligger 480 meter høyere enn dagens forekomst av lind, og det indikerer at sommertemperaturen var betydelig høyere i første halvdel av holocen (op. cit.). **Engerdal i Hedmark** har lind sannsynligvis vokst 500–600 m høyere enn i dag på en gunstig lokalitet for mellom 7 000 og 3 000 år f. n. (Sørensen 2000).

Innvandring og spredning av gran

Gran var et av de siste treslagene som innvandret på Sør-Østlandet. Vi har datert ekspansjon av gran på 27 lokaliteter (figur 8A og 8B): i søndre Buskerud (2), Akershus (5), Østfold (3), Vestfold (13) og sørøstre Telemark (4). Tre dateringer fra søndre Akershus og tre fra søndre Østfold (figur 8A) har et middel på $1\,340 \pm 225$ år f. n. Alders-spredningen er på 370 år (1 545–1 175 år).



Figur 8. Kalibrerte ^{14}C -dateringer av spredningen av gran *Picea abies* (P.): **A** øst for Oslofjorden, **B** vest for Oslofjorden.

Calibrated ^{14}C -dates of the expansion of Norway spruce *Picea abies* (P.): **A** east of the Oslofjord, **B** west of the Oslofjord.

Dateringene fra vestsiden av Oslofjorden (fig. 8b) har en gjennomsnittlig alder på $1\,215 \pm 225$ år f. n. Alders-spredningen er på 635 år (1 570–935 år).

Den store spredningen skyldes at dateringene er fra et stort geografisk område. Spesielt er dateringene fra midtre og nordre Telemark yngre enn gjennomsnittet. Nær kysten ved Kragerø skjer det en økning i granpollen for ca. 650 år siden, og i vestre og midtre Telemark har gran nådd sin vestgrense innen vårt område ca. 750 år f. n. (Høeg 1978). Ved granens sørvestgrense (figur 2) opptrer en sammenhengende influenskurve med granpollen fra ca. 1 500 år f. n. Dette indikerer innvandring til regionen. Makrofossiler som demonstrerer lokal tilstedeværelse av gran, forekommer fra ca. 700 år f. n. (Eide et al. 2006). Andre observasjoner av makrorester av gran er opptil 9 500 år gamle funn i midtre Sverige (Kullman 1996, 2000). I Siljan, østre Telemark, forekommer makrorester av gran fra ca. 800 år f. n. (Bjune et al. 2009), og på Gardermoen er trekkull av gran datert til ca. 2 300 år f. n. (Høeg 1979).

Våre data viser en forholdsvis samtidig spredning av gran på Sør-Østlandet (tabell 5 og 6, og figur 8A og 8B). Middelerdien for dateringene øst for Oslofjorden er litt eldre enn på vestsiden, men forskjellen er ikke signifikant. Seks dateringer fra Hurum og midtre og østre Vestfold er de eldste, og tilnærmet lik dateringene på østsiden av fjorden. De kan muligens utgjøre en egen populasjon som indikerer en tidlig spredning til vestsiden av fjorden,

etter immigrasjon fra øst. Middelerdien fra tabell 6 er $1\,215 \pm 225$, som er i samsvar med tidligere antydning som spredningsalder for gran i Vestfold og sørøstre Telemark (Sørensen et al. 2014a). Eldste datering av granoppgangen på vestsiden av Oslofjorden er $1\,570 \pm 180$ og yngste er 680 ± 95 år f. n. (tabell 6). Den yngste har vært lokalisert nær en eksponert kyst i Kragerø, og det kan ha påvirket spredningen. På den annen side har lokaliteten en svært lang 'pollen-hale', noe som kan indikere en etablering innen regionen så tidlig som for ca. 4 000 år siden.

Om tidlig etablering av gran, og om 'granhaler' i pollendiagrammene

Den såkalte 'granhalen' forekommer i de fleste diagram, og starten på den er datert til mellom 2 000 og 5 000 år f. n. i søndre Akershus, Vestfold og sørøstre Telemark (figur 9). I en tidlig fase kan spredningen av gran ha skjedd fra spredte bestand («expansion foci», Kullman 1996). Bjune et al. (2009) antyder at enkelt-trær eller små bestand av gran kan ha vært tilstede i området i mer enn 9 000 år.

Pollenproduksjonen fra enkelte trær eller små bestand vil være lavere enn når trærne er etablert i et område. I tillegg kommer en ukjent mengde med fjernttransportert pollen. I pollen-diagrammene blir de såkalte 'halene' representert med mer eller mindre sammenhengende pollenverdier mindre enn ca. 2%. Slike haler med granpollen er datert fra Te-

lemark (Høeg 1979, Bjune et al. 2009). Forurensing under prøvetaking med hillerbor har ofte blitt nevnt som en årsak til sporadisk opptreden av pollen (haler) i eldre deler av diagrammene. Med nyere prøvetakingsutstyr (russerbor, Jowsey (1966) og forskjellige typer stempelbor) er mulig forurensing betydelig redusert.

Figur 9 viser eksempler på pollen-prosentkurver for gran. Russerbor er benyttet på seks av lokalitetene (mørk blå farge). På de øvrige seks er det benyttet hillerbor (lys blå farge). I kurven fra Rustadmosan (lok. 20) og Adaltjern (lok. 28) forekommer sporadiske pollenkorner av gran tilbake til 5 500 år f. n. Dette er tolket som langtransport med vind under spesielle klimatiske forhold. I kurvene fra Vittersøtjern (lok. 45) og i Nordbytjern (lok. 38) forekommer det også sporadiske pollenkorner tilbake

Tabell 5. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av innvandring/spredning av gran (P_o) i søndre Akershus og Østfold.

Calibration of ¹⁴C-dated immigration and expansion of Norway spruce (P_o) in Akershus and Østfold counties in southeastern Norway.

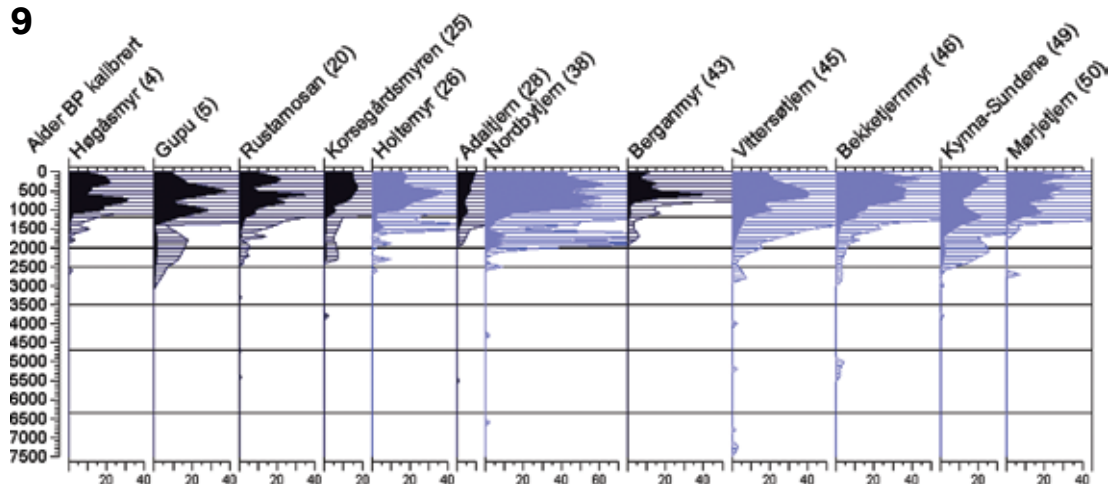
Lab. nr:	nr	Lokalitet	14C-alder BP	Kalibr. alder (2σ)	Midlere alder f.n.
T-18068	12	Hebekkmåsan, Ak Ski	1 480±55	1 570–1 345	1 460±115
LuS-6391	20	Rustadmåsan, Ak Ås	1 390±40	1 430–1 310	1 370±60
T-3924	25	Korsegårdsmyr, Ak Ås	1 200±50	1 335–1 035	1 175±140
T-2402	41	Haraldstad myr, Øf Tune	1 290±80	1 395–1 100	1 245±145
T-2858	47	Gunnhildsmyr, Øf Skjeberg	1 270±50	1 340–1 125	1 235±110
T-15761	31	Møllermosen, Øf Halden	1 610±55	1 670–1 425	1 545±120

Tabell 6. Kalibrerte ¹⁴C-dateringer av innvandring / spredning av gran (P_o) vest for Oslofjorden.

Calibration of ¹⁴C-dated immigration and expansion of Norway spruce (P_o) on the west side of the Oslofjord, southeastern Norway.

Lab. nr	nr	Lokalitet	14C-alder BP	Kalibr. alder (2σ)	Midlere alder f.n.
T-15319	1	Breimosan, Ak Bærum	1 335±75	1 425–1 120	1 275±155
Bet-329651	4	Høgåsmyr, Bu Øvre Eiker	1 120±30	1 135–1 005	1 070±65
T-14861	5	Gupu, Ak Bærum	1 170±65	1 310–1 010	1 160±150
T-9126	14	Svartvann, Bu Hurum	1 390±80	1 570–1 225	1 400±175
T-6908	21	Fevang skole, Vf Sandefjord	1 040±70	1 140– 840	990±150
T-5647	22	Nordre Fevang, Vf Sandefjord	980±80	1 110– 780	945±165
T-2142	26	Holtemyr, Vf Stokke	1 230±60	1 335–1 100	1 220±120
T-8852A	28	Adaltjern, Vf Horten	1 605±80	1 745–1 390	1 570±180
T-1551	29	Rognlien, Te Porsgrunn	1 080±100	1 235– 840	1 040±200
T-7635	33	Dalsrudmåsan, Vf Holmestrand	1 420±90	1 580–1 230	1 405±175
T-2143	34	Bøkeskogen, Vf Larvik	1 020±70	1 125– 810	970±160
TRa-824	38	Nordbytjern, Vf Larvik	1 000±25	1 015– 875	945±70
Bet-77852	39	Solheimtjern, Vf Horten	1 600±80	1 685–1 385	1 535±150
T-2511	42	Sagavoll, Te Garv	1 050±40	1 110– 965	1 040±75
Bet-77844	43	Berganmyr, Vf Larvik	1 000±40	1 025– 845	935±90
T-2063	44	Napperødtjern, Vf Sandefjord	1 190±70	1 320–1 020	1 170±150
T-2145	45	Vittersøtjern, Vf Larvik	1 160±40	1 230–1 020	1 125±105
T-2147	46	Bekketjernmyr, Vf Tønsberg	1 360±100	1 470–1 110	1 290±180
T-1854	48	Storemyr, Te Skien	1 150±100	1 340– 960	1 150±190
T-2146	49	Kynna-Sundene, Vf Tjøme	1 560±70	1 625–1 360	1 495±135
T-2144	50	Mørjetjern, Vf Larvik	1 200±110	1 360– 975	1 170±195

9



Figur 9. Innvandring og spredning av gran på Sør-Østlandet – utvalgte pollenkurver (modifisert etter Høeg et al. 2013). Lys blå farge: prøvene er innsamlet med hillerbor.

Immigration and expansion of Norway spruce Picea abies in southeastern Norway – selected pollen-diagrams (modified from Høeg et al. 2013). Light blue: sampling by hiller-core.

til henholdsvis 7 300 og 6 600 år f. n. Dette er ofte tolket som forurensning fra høyere nivåer i torv eller gytje, men kan også være langtransport med vind. Hvis gran vokser under marginale forhold, er det ikke sikkert at den blomstrer i det hele tatt. Derfor kan ikke enkelt-trær eller små bestand av gran utelukkes i eldre tider. Pollenanalysen gir ikke noe klart svar på disse forholdene.

Innvandring og spredning av alm, eik og bøk

Pollen av alm og eik forekommer i små mengder fra omtrent 11 000 år tilbake (Høeg et al. 2013 og Sørensen et al. 2014a). Små bestand av disse treslagene har sannsynligvis forekommet i konkurranse med furu og bjerk i de varme preboreale og boreale periodene. I fjellregionen i Jämtland er det datert makrorester av eik med aldre mellom 8 000 og 8 900 år f. n. (Kullman 1998b, 2015). I Ryfylke er det også datert makrorester av eik (trekull) med aldre mellom 10 700 og 10 900 år f. n. (Bang-Andersen 2006).

For ca. 9 500 år siden økte mengden av pollen fra alm, og for ca. 7 500 år siden økte mengden av eikepollen, omtrent samtidig med økningen av lindepollen. Disse tre treslagene utgjør de viktigste komponentene i edelløvskogen eller eikeblandingskogen. Den hadde sin største utbredelse i lavlandet på Sør-Østlandet i atlantisk tid (9 000–6

000 år f. n.).

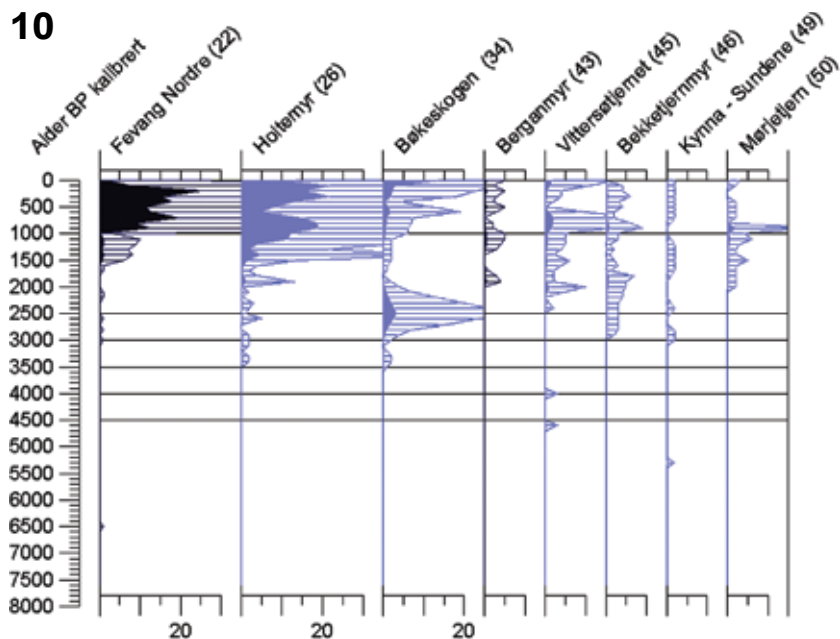
For omtrent 6 000 år siden ser en reduksjon i almepollen i mange pollendiagram, det såkalte almefallet. Dette er ofte tolket som menneskelig påvirkning, da almebark kunne utnyttes og lauvet ble brukt som fôr til husdyr. Det kan også ha vært et resultat av et utbrudd av 'almesyken' (referanse?).

Den eldste daterte forekomsten av bøk finnes ved Borre-haugene i Horten, Bøkeskogene i Stokke og på Raet ved Larvik er litt yngre (Høeg 1996). Genetiske studier (Myking et al. 2011) har vist at bøkeforekomstene i Vestfold stammer fra Danmark, og de antyder at bøk er spredd av mennesker. Nøttene av bøk har vært brukt til dyrefôr, og kan også ha vært benyttet av mennesker. Det har vært vanlig å relatere spredningen av bøk til den nære forbindelsen mellom Danmark og Vestfold i Vikingtiden. Pollenproduksjonen til bøk er lav, og pollenkorne er forholdsvis store og tunge. Langtransport med vind er derfor mindre sannsynlig. Selv når det forekommer små og sporadiske mengder pollen av bøk i diagrammene, mener Bjune et al. (2013) at bøk må ha vokst nær den undersøkte lokaliteten.

I figur 10 forekommer små mengder av pollen fra bøk sporadisk tilbake til ca. 6 500 år f. n. i kurven for Fevang Nordre (lok. 22). Den eldste forekomsten er sannsynligvis langtransport, mens 'halen' fra ca. 3 000 år f. n. kan indikere forekomst av bøk i området. For ca. 1 000 år siden skjer det en markert

Oppgi antatt alder for disse tre som for de tidligere beskrevne lokaliteter for de andre artene.

10



Figur 10. Innvandring og spredning av bøk på Sør-Østlandet – utvalgte pollenkurver (modifisert etter Høeg et al. 2013). Lys blå farge: prøvene er innsamlet med hillerbor.

Immigration and expansion of Beech Fagus sylvatica in southeastern Norway – selected pollen-diagrams (modified from Høeg et al. 2013). Light blue color: sampling by hiller-corer.

økning, og vi tror at dette har en klimatisk forklaring, jfr. Bjune et al. (2013).

Liksom med grankurven skiller Vittersøtjørnet (lok. 45) seg ut når det gjelder fordelingen av bøk-pollen. Om det er langtransport eller forurensing er vanskelig å avgjøre. Kurven for Kynna-Sundene (lok. 49) har de laveste pollenverdiene, og dette er i samsvar med nåværende utbredelse av bøk på Tjøme (bare en observasjon av bøk i artsdatabanken.no). Men det forekommer en del bøk på sørvestre delen av Nøtterøy (op cit.), bare et par km nord for Kynna, og det kan dermed forklare en nesten sammenhengende kurve fra ca. 3 000 år f. n. til nåtid.

Diskusjon og sammendrag

Det første treslaget som etablerte skog på Østlandet var bjerk. Pollenanalysen indikerer at det skjedde for mellom 11 400 og 11 200 år siden, men vi har få dateringer. På den tiden lå brefronten fortsatt over det indre av Østlandet (Sørensen i Ramberg et al. 2006).

Osp var også en av de tidligste innvandrere. Hassel og furu etablerte skog på Sør-Østlandet for omtrent 10 400 år siden, og det indikerer et klimaskifte til tørre og varme somre. Vi har bare 6 ¹⁴C-dateringer av spredningen av hassel, hovedsakelig fra søndre Østfold og søndre Vestfold, og det er behov for flere dateringer for å få frem det regionale bildet.

Alm og eik var i ferd med å etablere seg for ca. 11 000 år siden, først som mindre bestand i en blandskog av furu, bjerk og osp. Det neste treslaget som innvandret og ble et viktig element i skogsbildet, særlig på fuktige steder, var or. Våre data (elleve ¹⁴C-dateringer) viser at or spredde seg over Sør-Østlandet for ca. 9 200 år siden. Sannsynligvis innvandret gråor før svartor. En forholdsvis synkron spredning av or over store deler av Nord-Europa (Giesecke et al. 2011) indikerer et skifte til et fuktigere og fremdeles varmt klima. Lind innvandret og ble et viktig element i edelløvs skogen for ca. 7 600 år siden.

Innvandringen av gran har blitt heftig diskutert over flere tiår, og det er fortsatt usikkerhet omkring sporadiske forekomster av eldre granpollen (Kullman 1996, 2000, Bjune et al. 2009, med flere). Makrorester av gran er derimot betydelig mer sikre «bevis». Trekull av gran er datert til ca. 2 300 år f. n. på Gardermoen (Høeg 1997). Bjune et al. (2009) har funnet makrofossiler (stomata) av gran tilbake til 800 år BP i Siljan i østre Telemark. I søndre Setesdal (nær grensen til nåværende utbredelse, figur 2) er det funnet makrorester fra gran som er datert til ca. 700 år f. n., mens influks-diagrammer viser at gran var til stede for ca. 1 500 år siden (Eide et al. 2006). Våre data (27 ¹⁴C-dateringer) viser en markert spredning av gran over Sør-Østlandet for ca. 1 200 år siden. Øst for Oslofjorden kan ekspansjonen ha skjedd litt tidligere, og det er indikasjoner på at gran

ble etablert i midtre og østre Vestfold noen få århundre før 1 200 f. n. Etter den tid har granskogene dominert skogsbildet på Østlandet.

Ekspansjonen av gran er forklart som en «moving front» fra øst mot vest (Giesecke 2005). Dette er den tradisjonelle tolkningen av granens spredning, gjennom Finland, Sverige og inn i Norge (Hafsten et al. 1979). I nordvestre del av Telemark har granen nådd sin foreløpige vestgrense i vårt område (Høeg 1978). I en tidlig fase kan spredningen av gran ha skjedd fra spredte bestand (op. cit., Bjune et al. 2009). Mindre bestand av gran kan ha forkommet på Østlandet for mer enn 5 000 år siden. I pollen-diagrammene vises dette som såkalte 'granhaler' (figur 9).

Bøk har en innvandringshistorie som likner på granens. Den ekspanderte mellom 1 000 og 1 300 år f. n. i Vestfold, men sporadiske pollen forkommer mer enn 5 000 år tilbake i tid (figur 10).

Klima, pollenanalyse og makrorester av skogstrær

To faktorer som har hatt betydning for klimaet i holocen (postglasial tid), er jordens posisjon i forhold til solen og jordaksens helling (Berger & Loutre 1991). For ca. 11 000 år siden sto jorden nærmest solen midt på den nordlige halvkules sommer, og lengst vekk midtvinters på den nordlige halvkule. I dag er det omvendt. Dette førte til at tidlig holocen (preboreal tid) hadde varme somre og kjølige vintre.

Väliranta et al. (2015) kaller perioden for 9 500–8 500 år siden eller tidligere «the early Holocene summer thermal maximum», og Paus & Haugland (2017) kaller den «Det tidlig holocene termale maksimum» (tHTM).

Jordaksens helling i forhold til jordbanen varierer mellom 21,5 og 24,5 grader. For ca. 11 000 år siden var hellingen maksimal, og det førte til at sesongvariasjonen ble ytterligere forsterket (Manerud 2006).

Funn av mega- og makro-rester av trær i den subalpine sonen viser at tregrensen var høyere i preboreal og boreal tid. Basert på disse funnene er det beregnet at sommertemperaturen i fjellregionen var mellom 1 og 2,2 °C høyere enn i dag, justert for landhevning (Aas & Faarlund 1988, Kullman 2015 og Paus & Haugland 2017). Tidsrommet for den såkalte høyvarmetiden (det postglasiale klimaoptimum) i Skandinavia var tidligere basert på pollenanalyse. Det var plassert i midtre holocen (atlantisk tid) Datering av mega- og makrorester av flere treslag viser at den høyeste sommertemperaturen forekom i preboreal tid – betydelig tidligere enn

beskrevet i eldre litteratur. Men vintrene var kjølige/kalde, og effekten av vinterkulde på skogstrærne er lite undersøkt (jfr. Miller et al. 2008). Høye sommertemperaturer i tidlig holocen kan ha ført til en relativt høyere pollenproduksjon for de treslagene som var etablert (jfr. diskusjon i Paus & Haugland 2017). Men kalde vintre med frost om våren kan på den annen side ha ført til at tidlig-blomstrende trær som bjerk, hassel og or har fått skadet blomsteranlegg og redusert pollenproduksjon.

Alle våre data stammer fra lavlandet på Sør-Østlandet, og de fleste finnes innenfor den nemorale sone i nåtidens klima. Dette området har sannsynligvis hatt sommertemperaturer som har vært minst 2 °C høyere enn i dag under tHTM, delvis på grunn av høyere havnivå i tidlig holocen med et mer oseanisk klima. Varmetiden ser ut til å ha fortsatt gjennom atlantisk tid i lavlandet frem til ca. 5 000 år f. n. Astronomiske forhold (*orbital forcing*) hadde utjevnet forskjellene mellom sommer- og vintertemperaturer. Gunstige fuktighetsforhold og høy bio-produksjon hadde utviklet næringsrike jordsmonn mange steder. To planter som indikerer både sommer- og vinter-temperaturer er misteltein *Viscum* og bergflette *Hedera* (Iversen 1944). Pollenanalyse av Hafsten (1956) og Danielsen (1970) viser at disse artene hadde sin største forekomst i atlantisk og til dels i subboreal tid – mellom 9 000 og 4 000 år f. n. Hafsten (1962) beregnet at forekomsten av misteltein indikerte en juli middeltemperatur som var minst 2 °C høyere enn i dag i midtre holocen, og at bergfletten forteller om minst 3 til 4 °C høyere januar-middel. Vårt mest varmekjære treslag, lind, hadde sin største utbredelse mellom 7 500 og 5 000 år f. n. På grunn av edafiske og klimatiske forhold mener vi at midtre holocen bør kalles *det postglasiale økologiske optimum*, og ikke 'den postglasiale høyvarmetiden'. De varmeste somrene forekom noen tusen år tidligere.

Giesecke et al. (2011) knytter mye av årsaken til ekspansjonen av hassel, or og gran til klimatiske endringer. Vanligvis skjedde den klimatiske endringen 500–1 000 år før skogsvegetasjonen responderte. Endringer i nedbør og/eller fordampning for ca. 9500 år siden innledet «det postglasiale økologiske optimum» med en omtrent synkron spredning av or over en stor region. Den korte, kjøligere hendelsen med tørke og mer vind for 8 200 år siden (Alley & Agustsdottir 2005) er ikke registrert i våre diagram. Lind ekspanderte kort tid etter denne episoden, og er det treslaget som er mest avhengig av høy temperatur og lang vekstsesong. Derfor må sommertemperaturen ha steget raskt igjen kort tid etter

8 200 år f. n. Eikeblandingsskogen med alm, eik og lind hadde sin største utbredelse mellom 7 500 og 5 000 år f. n. I indre Oslofjordområdet (Hafsten 1962) hadde bergflette og misteltein sin største utbredelse i atlantisk tid (9 000–6 000 år f. n.), mens i søndre Østfold (Danielsen 1970) var de to artene vanlige også gjennom subboreal tid, omtrent fram til 3 000 år f. n., sannsynligvis på grunn av et mer utpreget kystklima. Det økologiske optimum kan derfor ha strukket seg inn i subboreal tid i den største delen av vårt område. Et klimaskifte for ca. 1 200 år siden har sikkert medvirket til den markerte spredningen av gran på Østlandet (Giesecke 2005a). Det samme kan gjelde for bøk.

Takk

Hjelp til å lage OxCal daterings-diagrammene er gitt av Per Persson. Leif V. Jakobsen har hjulpet med beregning av middelveidier og statistiske usikkerheter. Tegninger av kart og ¹⁴C-diagrammer er utført av Berit Hopland. Kritisk gjennomlesning av manuskriptet er gjort av Aage Paus i januar og etter omarbeiding i oktober 2017. Mange takk til alle.

Kilder

Alley, R.B. & Agustsdottir, A.M. 2005. The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climatic change. *Quaternary Science Reviews* 24: 1123-1149.

Bang-Andersen, S. 2006. Charcoal in hearts: A clue to the reconstruction of the palaeo-environment of Mesolithic sites. *Archaeology and Environment* 21: 5-16.

Berger, A. & Loutre, M.F. 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews* 10: 297-317.

Birks, H.H. 2015. South to north: Contrasting late-glacial and early-Holocene climate changes and vegetation responses between south and north Norway. *The Holocene* 25: 37-52.

Bjune, A.E., Ohlson, M., Birks, H.J.B. & Bradshaw, R.H.W. 2009. The development and local stand-scale dynamics of a *Picea abies* forest in southeastern Norway. *The Holocene* 19: 1073-1082.

Bjune, A.E., Helvik, I. & Birks, H.J.B. 2013. The *Fagus sylvatica* forest in the Larvik region, south-eastern Norway: their origin and history. *Vegetation History and Archaeobotany* 22: 215-229.

Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 337-360.

Danielsen, A. 1970. Pollen-analytical Late Quaternary studies in the Ra District of Østfold, Southeast Norway. Årbok for Universitetet i Bergen – Mat.-Naturv. Serie 14. Norwegian University Press, Bergen. 146 s.

Eide, W., Birks, H.H., Bigelow, N.H., Peglar, S.M. & Birks, H.J.B. 2006. Holocene forest development along the Setesdal valley, southern Norway, reconstructed from macrofossil and pollen evidence. *Vegetation History and Archaeobotany* 15: 65-85.

Firbas, F. 1949. Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. I. Fisher Verlag, Jena. 1-480.

Giesecke T. 2005a. Moving front or population expansion: How did *Picea abies* (L.) Karst. become frequent in central Sweden. *Quaternary*

Science Reviews 24: 2495-2509.

Giesecke T. 2005b. Holocene forest development in the central Scandes Mountains, Sweden. *Vegetation History and Archaeobotany* 14: 133-147.

Giesecke T., Bennett, K.D., Birks, H.J.B., Bjune, A.E., Bozilova, E., Feurdean, A., Finsinger, W., Froyd, C., Pokorny, P., Rösch, M. & Seppä, H. 2011. The pace of Holocene vegetation change – testing for synchronous developments. *Quaternary Science Reviews* 30: 2805-2814.

Grimm, E. 2000. Tilia Graph – TGView, v. 2.02. www.ncdc.noaa.gov/paleo/tiliafaq.html.

Hafsten, U. 1956. Pollen-analytical investigations on the late Quaternary development in the inner Oslofjord area. Universitetet i Bergen, Årbok 1956. Naturvitenskapelig rekke 8: 1-163.

Hafsten, U. 1962. Hva myrer og tjern kan fortelle. *Oslotrakten gjennom 10 000 år. Naturen* 8: 450-512.

Hafsten, U. 1985. The immigration and spread of spruce forest in Norway, traced by biostratigraphical studies and radiocarbon datings. A preliminary report *Norsk geografisk tidsskrift* 39: 99-108.

Hafsten, U., Henningsmoen, K.E. & Høeg, H. I. 1979. Innvandringen av gran til Norge. I: Nydal, R., Westin, S., Hafsten, U. & Gulliksen, S. (red.) *Fortiden i søkelyset*, 171-184. Trondheim. 283 s.

Henningsmoen, K. E. 1979. Gran-innvandringen til søndre Vestfold. I: Nydal, R., Westin, S., Hafsten, U. & Gulliksen, S. (red.) *Fortiden i søkelyset*: 184-190. Trondheim. 283 s.

Huntley, B. 2012. Reconstructing palaeoclimates from biological proxies: Some often overlooked sources of uncertainty. *Quaternary Science Reviews* 31: 1-16.

Høeg, H.I. 1978. The immigration of *Picea abies* to southeastern Norway with special regard to Telemark (a preliminary report). *Norwegian Journal of Botany* 25: 19-21.

Høeg, H. I. 1979. Granens innvandring i Telemark. I: Nydal, R., Westin, S., Hafsten, U. & Gulliksen, S. (red.) *Fortiden i søkelyset*: 190-198. Trondheim. 283 s.

Høeg, H.I. 1996. Pollenanalytiske undersøkelser. I: Jerpåsen, G.B. Gunnerød – En arkeologisk landskapsanalyse. *Varia* 35, Universitet i Oslo.

Høeg, H. I. 1997. Pollenanalytiske undersøkelser på Øvre Romerike, Ullensaker og Nannestad, Akershus fylke. *Gardermoprojektet. Varia* 46: 1-147.

Høeg, H.I., Henningsmoen, K.E. & Sørensen, R. 2013. Nye data om ekspansjon av noen skogstrær på Sør-Østlandet. Foredrag på Pollenmøtet i Trondheim, 7. – 9. juni 2013.

Iversen, J. 1944. *Viscum, Hedera and Ilex* as climate indicators. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 66: 463-483.

Jowsey, P.C. 1966. An improved peat sampler. *New Phytologist* 65: 245-248.

Kaland, P.E. & Krzywinski, K. 1978. Hasselens innvandring etter siste istid og den eldste kystbefolkning. *Arkes*: 11-14.

Kullman, L. 1996. Norway spruce present in the Scandes Mountains, Sweden at 8000 BP: new light on Holocene tree spread. *Global Ecology and Biogeography Letters* 5: 94-101.

Kullman, L. 1998a. Non-analogous tree flora in the Scandes Mountains, Sweden, during the early Holocene – macrofossil evidence of a rapid geographical spread and response to palaeoclimate. *Boreas* 27: 153-161.

Kullman, L. 1998b. The occurrence of thermophilous trees in the Scandes Mountains during the early Holocene: evidence for a diverse tree flora from macroscopic remains. *Journal of Ecology* 86: 421-428.

Kullman, L. 2000. The geoecological history of *Picea abies* in northern

- Sweden and adjacent parts of Norway. A contrarian hypothesis of postglacial tree immigration patterns. *Geo-Öko* 21: 141-172.
- Kullman, L. 2015. När eken väkste vild i fjällen – en varmare och rikare tid. *Svensk Botanisk Tidskrift* 109: 260-266.
- Mangerud, J. 2006. Milankovitch istidsteori. Kap. 20 Den astronomiske teori for klimavariasjoner. I: Larsen, S. U. (red.) Teori og metode i geografi. 311-328. Fagbokforlaget, Bergen.
- Mangerud, J., Halvorsen, L.S., Nashoug, O., Nystuen, J.P., Paus, A. & Svendsen, J.I. 2017. Sjeldent funn av begravd torv ved Hemma i Ringsaker. s. 142-143. I: Dahl R., Nashoug, O. & Nystuen, J.P. (red.) 2017. Mjøsområdet - Geologi og landskap. Hedmark geologiforening, Hamar, 276 s.
- Miller, P.A., Giesecke T., Hickler, T., Bradshaw, R.H.W., Smith, B., Seppä, H., Valdes, P.J. & Sykes, M.T. 2008. Exploring climatic and biotic controls on Holocene vegetation change in Fennoscandia. *Journal of Ecology* 96: 247-259.
- Moe, D., Vorren, K-D., Alm, T., Fimreite, S., Mørkved, B., Nilssen, E., Paus, A., Ramfjord, H., Selvik, S.F. & Sørensen, R. 1996. Regional Syntheses of Palaeoecological Studies of Lakes and Mires in Europe – NORWAY. I: Berglund et al. (red.) Palaeoecological events during the last 15 000 years. Wiley, Chichester. 764 s.
- Moen, A. 1998. Nasjonalatlas for Noreg: Vegetasjon. Statens kartverk, Hønefoss.
- Myking, T., Yakolev, I. & Ersland, G.A. 2011. Nuclear genetic markers suggest Danish origin of East-Norwegian beech (*Fagus sylvatica* L.) population established 650-800 AD. *Tree Genetic Genomes* 7: 587-596.
- Paus, A. 2010. Vegetation and environment of the Rødalen alpine area, Central Norway, with emphasis on the early Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany* 19: 29-51.
- Paus, A & Haugland, V. 2017. Early- to mid-Holocene forest-line and climate dynamics in southern Scandes mountains inferred from contrasting megafossil and pollen data. *The Holocene* 27: 361-383.
- Post, L. von 1918. Skogsträdpollen i sydsvenska torfmosslagerföljder. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 41, 384.
- Ramberg, I.B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (red.) 2006: Landet blir til – Norges geologi. Norsk Geologisk Forening. Trondheim. 608 s.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I. Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E. M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S. M. & van der Plicht, J. 2013. IntCal-13 and Marine-13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887.
- Sørensen, R. 2000. Holocene Soils and Vegetation Development in a Sub-alpine Region of Southeastern Norway. *AmS-Varia* 37: 27-35.
- Sørensen, R., Høeg, H.I., Henningsmoen, K.E., Skog, G., Labowsky, S.F. & Stabel, B. 2014a. Utviklingen av det senglasiale og tidlig preboreale landskapet og vegetasjonen omkring steinalderboplassene ved Pauler. I: Jakslund, L. & Persson, P. (red.) E18 Brunlanes-prosjektet, bind I. Forutsetninger og kulturhistorisk sammenstilling. *Varia* 79: 171-294.
- Sørensen, R., Henningsmoen, K.E., Høeg, H.I. & Gälman, V. 2014b. Holocene landhevingsstudier i søndre Vestfold og sørøstre Telemark – revidert kurve. I: Melvold, S. & Persson, P. (red.) Vestfoldbaneprojektet - Arkeologiske undersøkelser i forbindelse med ny jernbane mellom Larvik og Porsgrunn. Bd. I: Tidlig- og Mellommessolitiske lokaliteter i Vestfold og Telemark, 36-47. Portal forlag, Kristiansand. 319 s.
- Sørensen, R., Høeg, H.I., Gälman, V. & Persson, P. (manus 2017). A buried peatbog of Holocene age in Telemark, southeastern Norway: Sedimentology, vegetation history and climate.
- Väliranta, M., Salonen, J.S., Heikkilä, M., Amon, L., Helmens, K., Klimaschewski, A., Kuhry, P., Kultti, S., Poska, A., Shala, S., Veski, S. & Birks, H.H. 2015. Plant macrofossil evidence for an early onset of the Holocene summer thermal maximum in northernmost Europe. *Nature Communications* 6, Article no. 6809. 1-8.
- Wolff, E.W. 2007. When is the «present»? *Quaternary Science Reviews* 26: 3023-3024.
- Aas, B. & Faarlund, T. 1988. Postglasiale skoggrensener i sentrale sønnerske fjelltrakter. C14-datering av subfossile furu- og bjørkerester. (Postglacial forest limits in central south Norwegian mountains. Radiocarbon datings of subfossil pine and birch specimens). *Norsk geografisk Tidsskrift* 42: 25-61.

Nettkilder

- <http://no.wikipedia.org/wiki/Karbondatering>.
<http://no.wikipedia.org/wiki/Dendrokronologi>.
<http://www.artsdatabanken.no/>.