

Dagens klima- og breforsking

– med røter tilbake til dei første breforskarane



AV ATLE NESJE

Høgare temperaturar, minkande brear, mindre sjøis i Arktis¹ og stigande globalt havnivå på grunn av smelting av is på land, har gjort studiar av brear, iskapper og innlandsisane på Grønland og i Antarktis meir aktuelle enn tidlegare.

Ein omfattande studie publisert i *Nature* i 2019 syner at isbrear rundt om på kloden smeltar 18 prosent raskare enn i ein tilsvarande studie frå 2013, og at om lag 369 milliardar tonn med snø og is kvart år smeltar frå brear.

Mellom 1971 og 2017 steig lufttemperaturen i Arktis med 2,7 grader, noko som er 2,4 grader raskare enn temperaturstiginga på resten av den nordlege halvkula. I perioden 2003–2010 bidrog smelting av landis i Arktis til heile 48 prosent av den globale havnivåstiginga.² Det same studiet syner at det i Alaska har vore ei temperaturstiging på over 2 grader i dei øvste 10–20 metrane av permafrosten. Den årlege nedbøren i Arktis har auka med nesten 7 prosent, og snødekket har vorte redusert med 30 prosent sidan 1971.

I seinare tid har det vorte aukande interesse i Noreg for forskning både på småbrear og innlandsisane på Grønland og i Antarktis, både for å forstå klimaendringar i fortid, notid og framtid, og ikkje minst for å lage mest mogleg presise prognosar for havnivåendringar i framtida. Dei seinare åra har det vore ein vekst i talet på bre- og isforskarar i Noreg, med stadig fleire yngre forskarar.

Breane i Noreg

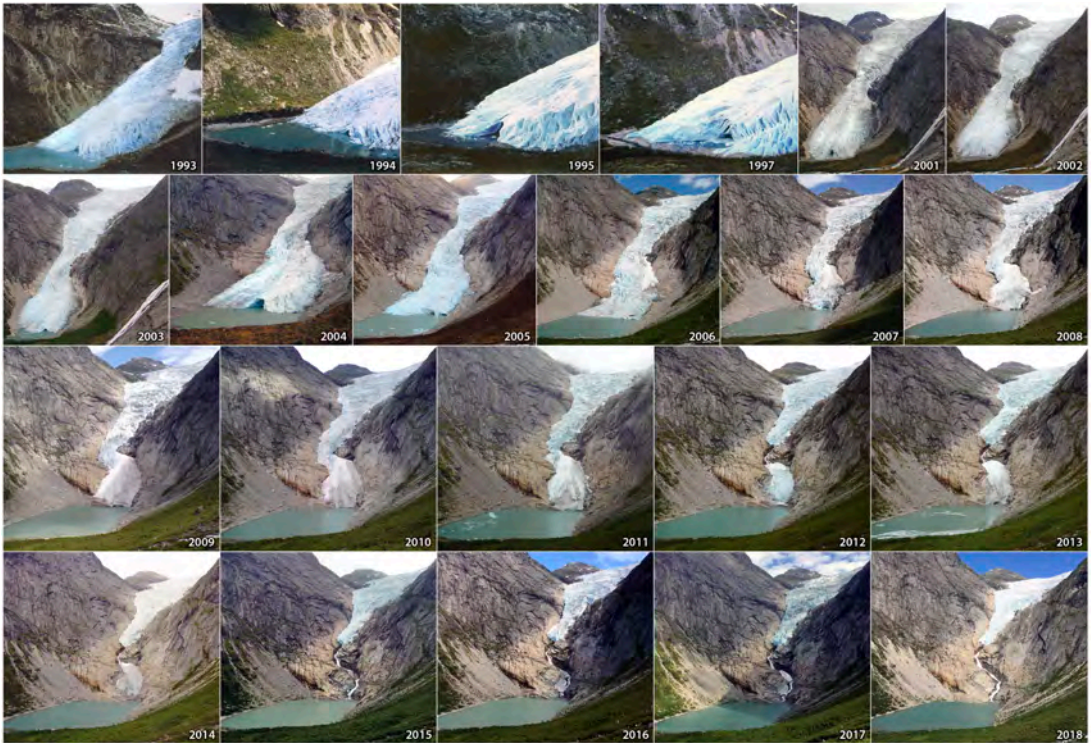
Gjennom 40–50 istider dei siste om lag 2,6 millionar åra, har brear og innlandsisar forma det norske landskapet. Brear er dessutan ein god klimaindikator på grunn av at dei både endrar seg i masse og volum, samt i utbreiing og areal. Dette er hovudsakleg som eit resultat av variasjonar i vinternedbør og sommartemperatur.

På det norske fastlandet dekkjer brear og fleirårig snø 0,7 % av det samla landarealet på om lag 2692 km². 57 prosent av brearealet ligg i Sør-Noreg. Det er i Noreg totalt 2534 brear (3143 bre-einingar³), fordelt på 1282 i Nord- og 1252 i Sør-Noreg. Jostedalssbreen er den største breen på fastlandet i Europa, med 473,75 km². Dei førti største breane i Noreg dekkjer eit areal på 1765 km² (65,5 % av det totale brearealet i Noreg, tabell 1). Om lag ein tredel av breane er i storleik 1–5 km².

I Noreg er breane ein viktig energiressurs der store vasskraftverk ligg i breområde, samt at brear gjev vatn til elver og jordbruksland gjennom tørre somrar. Det er eit fascinerande element i norsk natur, og trekkjer til seg mange norske og utanlandske turistar kvart år. Breturar til fots og på ski har auka i omfang dei seinare åra.

Bremålingar

Dei første bremålingane på fastlandet i Noreg og på Svalbard, fokuserte på endringar i brefrontane si plassering, framstøyt og tilbakesmelting. Seinare kom studiar av breane



BRIKSDALSREEN

Foto: Sigbjørn Myklebust (1993-1997), Ove Brynestad (2001-2003), Kurt Erik Nesje (2004), Atle Nesje (2005-2017), Andreas Nesje (2018)

sin massebalanse, dvs. endringar i masse og volum til breane. Seksjon for bre, is og snø, Hydrologisk avdeling, NVE, utfører årlege målingar av frontposisjon/lengde-endringar. I 2017 omfatta målingane 37 brear; 26 i Sør-Noreg og 11 i Nord-Noreg (figur 3). Avstanden til brefrontane vert målt frå eitt eller fleire fastpunkt, vanlegvis i månadsskiftet september/oktober. Resultata vert publiserte i rapportserien *Glaciological Investigations in Norway*. På grunn av at nokre brear har smelta mykje tilbake, spesielt etter 2000, har ein måtte slutte å utføre frontmålingar på nokre av breane fordi det har blitt for vanskeleg og farleg. Målingane av fronten til Briksdalsbreen vart til dømes avslutta i 2015 etter 115 år med kontinuerlege målingar. Sidan frontmålingane starta i 1899, er det målt endringar i frontposisjon på 73 brear.

Massebalanse og transport av sediment

Tidleg på 1960-talet kom det opp fleire planar om å bygge kraftverk i bredekte vassdrag i Noreg, og det vart difor sett i verk massebalansemålingar på fleire brear i tillegg til studiar av sedimenttransport i breelvar. Studiar av sedimenttransporten var viktig for å berekne slitassen på turbinane og oppfylling av sediment i vassmagasina. I 2017 vart det utført massebalansemålingar på 15 brear i Noreg, tolv i Sør-Noreg

Fig. 1 | Foto av Briksdalsbreen, ein utløpsbre frå Jostedalbreen, mellom 1993 og 2018. I denne perioden har brefronten trekt seg tilbake meir enn 800 meter. Namna på fotografane står nedst på figuren.

og tre i Nord-Noreg. Desse målingane vert òg publiserte i rapportserien *Glaciological Investigations in Norway* (Glasiologiske undersøkelser i Norge).

NVE har og kartlagt utbreiinga til dei norske breane ved hjelp av satellittbilete. I 2012 vart det gjeve ut eit atlas over norske brear med oppdaterte tal for brearealet i Noreg.

Bretjukkeleik og jøkulhlaup

Ved hjelp av breradar (sender og mottek elektromagnetiske bølger) er det blitt gjort målingar av bretjukkeleik for mange av dei store breområda i Noreg. Ved å kombinere posisjonsdata, høgdedata og terrengmodellar har ein rekna ut avstanden til underlaget og dermed bretjukkeleiken. I tillegg utfører NVE spesielle undersøkingar og deltek i fleire nasjonale og internasjonale forskingsprosjekt. NVE sine bredata vert rapportert til *World Glacier Monitoring Service* (WGMS) i Sveits og *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS).

NVE driv dessutan studiar av jøkulhlaup, som er plutslege tappingar av smeltevatn frå brear. I 2014 publiserte NVE ein oversikt over jøkulhlaup i Noreg og kvar slike hendingar potensielt kan skje i framtida. I Noreg er det to subglasiale (under breen) laboratorium; eit under 160 meter med is under Bondhusbrea, ein utløpsbre frå Søndre Folgefonna, og det andre under Engabreen, ein utløpsbre frå Vestre Svartisen. Begge laboratoria vart bygde med det formålet å gjere studiar av mellom anna smeltevatnet si drenering under brear i samband med kraftutbygging i bredekka nedbørfelt.

MASSEBALANSEMÅLINGAR

Massebalansemålingar går ut på å måle kor mykje masse brear mottek i vinterhalvåret (akkumulasjonssesongen) og kor mykje masse som smeltar vekk den etterfølgjande sommaren (ablasjonssesongen). Massen vert rekna om til meter vassekvivalentar fordelt på breen sitt areal. Dersom ein bre vert tilført meir masse enn det som smeltar vekk, er massebalansen positiv. Han er negativ dersom ein bre misser meir masse enn det vert tilført gjennom balanseåret, som går frå 1. oktober til 30. september året etter. Massebalansen er summen av akkumulasjon (tilførsel av masse) og ablasjon (smelting/massetap). Massebalanseseriane til NVE omfattar vinter- og sommarbalanse, samt årleg (netto-) balanse. Dersom vinterbalansen er større enn sommarbalansen, aukar massen (positiv massebalanse), men dersom ablasjonen er større enn akkumulasjonen, er massebalansen negativ, og brevolumet minkar. Massebalansen har vore målt på 43 brear i Noreg sidan dei første målingane starta på Storbreen i Jotunheimen i 1949.

Desse laboratoria gjer at forskarar mellom anna kan studere drenering på undersida av breen, trykk under breen, brerørsle og utvikling av sprekkar i berggrunnen under breen.

Moderne bre- og klimaforskning

Moderne breforskning omfattar ofte geofysiske målingar og modellsimuleringar (overflate- og botntopografi, istjukkleik, massebalanse, dynamisk modellering), brehydrologi (observasjonar og modellering), og samspelet/tilbakekoplingar mellom vår/klima og brear sin massebalanse og dynamikk. Den største aktiviteten er knytt til koplinga mellom klima og brear/innlandsisar og korleis dette kan påverke havnivåendringar i framtida. Norske klima- og breforskarar har òg vore medforfattarar og bidrege til rapportane frå FN sitt klimapanel (IPCC).

Arven etter Nansen

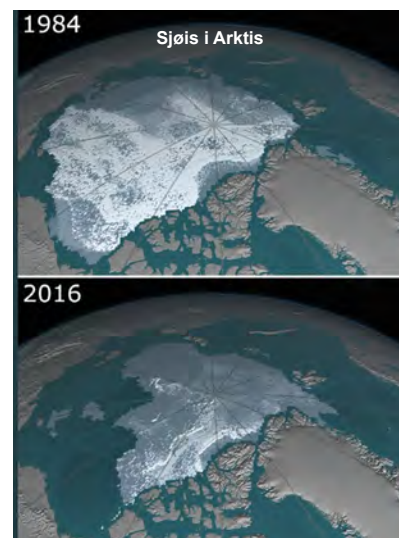
Arven etter Nansen er eit seksårig prosjekt, eit samarbeid mellom ti sentrale forskingsmiljø i Noreg. Fridtjof Nansen (1861–1930) starta si forskarkarriere i Bergen. Han utdanna seg til zoolog ved Bergens Museum i perioden 1882–1887. Dei to første vitenskaplege arbeida hans, samt doktorgraden frå 1888, var resultat av dei vel 5 åra som konservator ved museet. Prosjektet har som mål å utvikle heilskapleg forståing av prosessar i eit arktisk klima- og økosystem i rask endring. Denne kunnskapen skal gje grunnlaget for ei berekraftig forvaltning i Arktis. Dette skal føre til auka sikkerheit i vèrvarsling og varsling av istilhøve, bølger og ising og slik sikre trygg navigasjon og operasjon i nordområda. *Arven etter Nansen* skal styrke nasjonalt samarbeid og ei betre utnytting av kunnskap, utdannings- og forskingsressursar. Prosjektet har òg som mål å formidle kunnskap til publikum, og bidra til rekrutteringa av ein ny generasjon polarforskarar. Slik skal Noreg ta ansvar og leiarskap for forskning og forvaltning i Arktis.

Prosjektet samlar over 140 forskarar frå 10 norske forskingsinstitusjonar⁴, og omfattar aktuelle disiplinar innan oseanografi, fysikk, biologi, kjemi så vel som geologar, glasiologar og ingeniørar. Prosjektet har ei budsjettråme på 740 millionar kroner.

Kva hender om sjøisen i Arktis minkar?

Det femårige prosjektet *Arctic Sea Ice and Greenland Ice Sheet Sensitivity (ice2ice)*⁵ som vert avslutta i 2019, undersøker kva som kan skje med innlandsisen på Grønland dersom sjøisen i Arktis minkar eller forsvinn heilt. Ei hovudhypotese er at det arktiske og sub-arktiske sjøisdekket er viktig for tidlegare

Fig. 2 | Endringar i sjøisdekket i Arktis mellom 1984 og 2016. Illustrasjon: NASA.



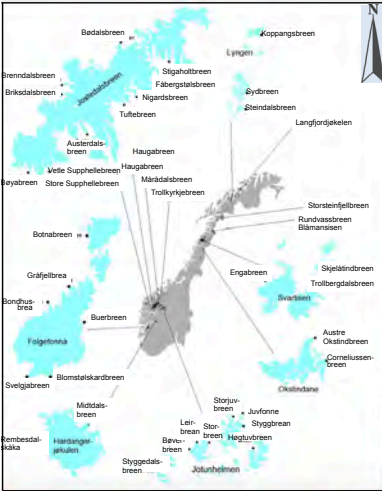


Fig. 3 | Kart som syner norske brear der det vart utført frontmålingar. Frå Kjølmoen (2018).

og framtidige temperaturendringar og brevariasjonar på Grønland. I *Ice2Ice* blir forskinga utført av komplementære forskarteam frå ulike forskingsmiljø, ved å beskrive naturen og omfanget av dei observerte, brå hendingane på tvers av klima-arkiv. Prosjektet har vidare som mål å forstå mekanismane bak rask minking av sjøisarealet og identifisere risikoen for at den pågåande, hurtige reduksjonen av det arktiske sjøisdekket kan føre til brå endringar i framtida. Samla skal prosjektet bidra til at vi betre forstår konsekvensane av slike endringar for innlandsisen på Grønland, samt for det regionale, arktiske og globale klimaet.

Korleis utviklar breane seg?

Gjennom *Investigating the future evolution of Norwegian glaciers and hydrological impacts (EvoGlac)* (2016–2019) arbeider forskarar med å få ei betre forståing av utviklinga av isbrear og bredekte nedbørfelt i framtida. Ein massebalansemodul har blitt utvikla for brear. Denne modulen samhandlar både med atmosfæren og jordoverflate-/hydrologi-komponentane, der ein fysisk basert snømodul er innarbeidd i eit kopla, dynamisk atmosfære-hydrologi-modelleringsystem. Den nye, integrerte atmosfære-isbre-hydrologi-modellen har blitt testa på Hardangerjøkulen. Modellen gjev meir nøyaktige data for massebalansen på brear samanlikna med den tidlegare versjonen av modellen som ikkje bestod av ein isbremodul.

Det har òg blitt auka interesse for breane si utforming av landskapet kopla til fagområda geomorfologi (landskapsutvikling), kvartærgeologi og paleoklima (fortidsklima). Universiteta i Bergen, Oslo og Tromsø, samt fleire fagmiljø i Bergen (NORCE Uni Research Klima, Nansen senter for miljø- og fjernmåling, Bjerknæssenteret for klimaforskning i Bergen, Universitetssenteret på Svalbard (UNIS), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Norsk Polarinstittutt har i dag dei tyngste fagmiljøa innan kvartærgeologisk og glasiologisk forskning.

Troll-stasjonen i Antarktis har gjort det mogleg å gjere moderne glasiologisk forskning og deltaking i internasjonale prosjekt. *Norsk Bremuseum & Ulltveit-Moe senter for klimaviten* i Fjærland bidreg til formidling av glasiologifaget.

Det internasjonale polaråret (IPY) var i 2007–08, 50 år etter det Internasjonale Geofysiske år (IGY) i 1957–58. Det vart løyvd om lag 300 millionar kroner til dei 28 norske prosjekta, der to av dei omfatta glasiologi. I perioden 2011–16 vart det finansiert eit nordisk Center of Excellence i glasiologi, med fokus på breane rundt Nord-Atlanteren.

Istidsteorien vart til i Noreg

I slutten av april 1824 publiserte den dansk-norske geologen Jens Esmark (1762–1839) (figur 4) ein banebrytande artikkel der han la fram bevis på at Noreg og Nord-Europa ein gong hadde vore dekte av isbrear på grunn av eit kjølegare klima. Dette skuldast endringar i jordbana, og at isbreane hadde utforma både dalar og fjordar. I den omfangsrrike biografien om Jens Esmark «*Istidens oppdager*» (2017) forklarar Geir Hestmark omstenda rundt, og kva som gjorde denne oppdaginga mogleg.

Frå 18. juni 1823 gjennomførte Jens Esmark, saman med studentane hans, Jan Theodor Kielland (1803–1844) og Nils Otto Tank (1800–1864), ei reise frå Christiania langs kysten av Sørlandet, og nordover langs kysten av Vestlandet (figur 5). Frå indre Nordfjord gjekk reisa frå Stryn, langs Oppstrynsvatnet til Hjelle, opp Sunndalen, gjennom Rauddalen og til Ottadalen (Framrusti og Bråtågrendi), vidare sørover Gudbrandsdalen til Mjøstraktene og til slutt tilbake til Christiania. Ved Forsand, i vestenden av Lysefjorden i Ryfylke, observerte dei ein lausmasserygg, lokalt kjend som Vassryggen, som låg på tvers av dalen og som inneheldt ei usortert blanding av sand, grus og store steinblokker (figur 6). Denne ryggen har seinare blitt kalla *Esmarkmorenen*.



Fig. 4 | Professor Jens Esmark på sine eldre dagar. Litografi av L. Fehr etter teikning av C. von Plötz. I Hestmark (2017: 225).



Fig. 5 | Reiseruta til professor Jens Esmark og studentane Jan Theodor Kielland og Nils Otto Tank i 1823. Modifisert etter Hestmark (2018).

Då Esmark og følgjet hans seinare på turen gjekk austover gjennom Rauddalen, passerte dei Rauddalsbreen/Sikilbreen som kom ned frå sørsida av dalen. Breen gjekk på den tida tvers over dalen, slik at dei måtte krysse over Bretunga. Like vest for ei breelvslette (sandur) i vestenden av Ytste Leirvatnet, observerte dei ein morenerygg avsett av breen under sin maksimale posisjon i «den vesle istida» midt på 1700-talet. Denne likna på lausmasseryggen ved Forsand i Ryfylke. I følgje Hestmark sin biografi var det studenten til Esmark, Niels Otto Tank, som først skjøna samanhengen mellom *Vassryggen/Esmarkmorenen* og moreneryggen framfor Rauddalsbreen/Sikilbreen, og at Noreg dermed ein gong må ha vore dekkja av ein stor bre ned til havnivå. Hestmark foreslo derfor å kalle moreneryggen i Rauddalen for «*Otto Tanks morene*». Esmark publiserte sitt arbeid fleire år før liknande arbeid som tok opp spørsmålet om det hadde vore istider eller ikkje. Oppdaginga av istidene er seinare sett på som ei av dei største oppdagingane innan naturvitskapane.

I 1919 vart *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) skipa, men ingen av seks faggrupper under faget geofysikk hadde is og snø i namnet. Så seint som i 2007 fekk IUGG ei sjuande faggruppe; *International Association of Cryosphere Sciences* (IACS), som skulle ta for seg studiar av is og snø. *Norsk Geofysisk Forening* vart stifta i 1917 og då var omgrepet glasiologi knapt brukt i Noreg.

Pionerane

Tidleg på 1900-talet hadde norske forskarar publisert arbeid om brevariasjonar. John (Johan) Bernhard Rekstad (1852–1934) skreiv frå 1900 om bremålingar på Vestlandet og i Jotunheimen. Han byrja i 1899 med brefrontmålingar ved utløpsbrear frå Jostedalbreen. Rekstad var fødd i Trondenes i Troms, var lærar på Røros, Namsos og på Lillehammer, og var tilsett som adjunkt ved Bergens katedralskole frå 1896 til 1900. Som den første statsgeologen ved *Norges geologiske undersøkelse* frå 1900, gjennomførte han geologiske undersøkingar, særleg på Vestlandet, i Jotunheimen og i Nordland. Han er mest kjend for brefrontmålingane og brestudiar, samt undersøkingar av istidsavleiringar. Han publiserte ei rekke geologiske avhandlingar, 31 av dei i *Bergens Museums Aarbok*. Rekstad var ein ivrig og dyktig naturfotograf, og negativsamlinga hans består av 2962 glasplater og planfilmar.

Fordi det er så mange brear Noreg, kom det tidleg mange oppdagarar og breinteresserte forskarar til Noreg. Svensken Hans Wilhelmsson Ahlmann (1889–1974), hadde sitt faglege hovudfokus på brear, og bør nok reknast som pioneren for

glasiologisk forskning her til lands. Ahlmann var geograf, glasiolog og dessutan diplomat. Han var ein av pionerane innan hydro-glasiologisk forskning, og vart professor i geografi ved Stockholms högskola i 1929. I perioden 1950–1956 var han dessutan Sverige sin ambassadør i Noreg. Han var oppteken av å gjere feltundersøkingar, og våren 1931 leia han ein ekspedisjon til Nordaustlandet på Svalbard. Saman med professor Harald Ulrik Sverdrup, var Ahlmann på Svalbard i 1934 for å undersøke breane på Vest-Spitsbergen. To år seinare, i 1936, gjorde han studiar av Vatnajökull på Island. Vinteren 1939–40 leia han svensk-norske undersøkingar av breane på Grønland, og i 1946 gjennomførte han undersøkingar av breane på Kebnekaise. Ahlmann tok initiativet til ein vitenskapelig ekspedisjon til Antarktis mellom 1949 og 1952.

Olav Liestøl vart på slutten av 1940-talet tilsett som professor i glasiologi, med hovudstilling ved Norsk Polarinstitut og engasjert av Universitetet i Oslo med å undervise i glasiologi og rettleie hovudfagsstudentar. Med støtte frå mellom andre Wærner Werenskiöld ved Universitetet i Oslo, starta Liestøl opp massebalansemålingar på Storbreen i Jotunheimen. Dette er i dag verdas nest lengste serie med kontinuerlege, årlege massebalansedata, etter Storglaciären i Sverige.

Gunnar Østrem leia det nye brekontoret ved *Norges vassdrags- og energivesen*. Han var ein internasjonal kapasitet på

Fig. 6 | Vassryggen («Esmarkmorenen») i Forsand i Ryfylke. Moreneryggen vart avsett av innlandsisen i ein periode kalla yngre dryas for om lag 12.000 år sidan. Kjelde: [http://www.emgs.org.uk/files/mercian_vol13on/Mercian Geologist, volume 16 2004–2007/Mercian 2006 v16 p161 Esmark Vassryggen glaciation, Worsley.pdf](http://www.emgs.org.uk/files/mercian_vol13on/Mercian%20Geologist,%20volume%2016%202004-2007/Mercian%202006%20v16%20p161%20Esmark%20Vassryggen%20glaciation,%20Worsley.pdf)



Fig. 7 | Professor Knut Fægri på feltarbeid ved Nigardsbreen. Fotograf: Ukjend. Seksjon for spesialsamlinger, UBB, Bergen.



massebalansemålingar, og skreiv ei lærebok om korleis slike målingar skulle gjennomførast. Han var professor i glasiologi ved Universitetet i Stockholm. På 1980-talet var Olav Liestøl og Olav Orheim tilsette som professor-II ved høvesvis universiteta i Oslo og Bergen.

Kartlav brukt til å datere breane si tilbaketrekking

Botanikar Knut Fægri (figur 7) tok doktorgrad i 1934 på variasjonane til Nigardsbreen og Aabrekkebreen (no kalla Brenndalsbreen), begge utløpsbrear frå Jostedalsbreen, og plantesuksesjonar (innvandring av plantar) i breforlanda til desse breane med avhandlinga «*Über die Längenvariationen einiger Gletscher des Jostedalsbre und die dadurch bedingten Pflanzensukzessionen.*» Emnet for avhandlinga omfatta både botanikk, geologi og glasiologi. Fægri la grunnlaget for ein ny metode, *lichenometri*, som er aldersbestemming av moreneryggar ved hjelp av måling av storleiken (diametere) av kartlav (*Rhizocarpon geographicum*), ein av dei første organismane som etablerer seg på stein-/fjelloverflater etter at eit område vert isfritt. Denne metoden vart seinare mykje brukt av professor John A. Matthews ved University of Wales i Swansea, Wales, Storbritannia, til å datere moreneryggar i breforlanda til utløpsbrear frå Jostedalsbreen og framfor brear i Jotunheimen.

I 1941 berekna Olaf Rogstad, som var hydrolog i NVE, Jostedalsbreen sin tilbakegang basert på avrenning frå breane. På 1930-talet utførte geografen Werner Werenskiold (1883–1961) og geologen Adolf Hoel (1879–1964) breundersøkingar, mellom anna i Jotunheimen, og paleontologen Anatol Heinz publiserte i 1953 om breane sin tilbakegang på Svalbard.

Kva med breane i framtida?

Utanom dei store isskjolda i Antarktis og på Grønland, finst det rundt 215.000 brear og iskapper på jorda, med eit samla brevolum kalkulert til 158.000 ± 40 kubikk-kilometer. I eit studium av Daniel Farinotti og Matthias Huss, publisert i *Nature Geoscience* i 2019, kan havnivået stige mellom 24 og 40 cm dersom alle desse breane smeltar.

Dei 40 største breane i Noreg dekkjer eit areal på 1765 km^2 (65,5 % av det totale brealet på $2691,8 \text{ km}^2$).¹⁰ Andreassen mfl. estimerte i 2015 det totale brevolumet i Noreg til å vere $257\text{--}300 \text{ km}^3$.

Norsk klimaservicesenter har estimert ulike scenario for klimaet i Noreg mot slutten av dette hundreåret. På Vestlandet

kan den gjennomsnittlege vinternedbøren verte 115 prosent av dagens normalnedbør (100 prosent), medan den gjennomsnittlege sommartemperaturen rundt år 2100 kan verte 3,5 °C høgare enn dagens normal.

Ved å samanlikne klimadata med data frå bremålingane utførte på norske brear, kan dette føre til at den gjennomsnittlege likevektslina (området på breen der det fell like mykje snø om vinteren som det smeltar i løpet av smeltesongen) vert i underkant av 300 meter høgare enn dagens gjennomsnittlege likevektsline.

Dersom vi hevar dagens gjennomsnittlege likevektsline med knappe 300 meter, kan likevektslina, sjølv med eit konservativt estimat, ligge høgare enn maksimalhøgda på 95–99 % av alle breane i Noreg. Dette kan bety at berre mellom 5 og 50 km² med brear kan vere att mot slutten av dette hundreåret. Dersom dette klimascenarioet slår til, vil dermed dei norske breane gå ei dyster framtid i møte.

Tabell 1. Dei 40 største breane i Noreg. Data: Andreassen og Winsvold (2012)

Bre	Areal (km ²)		
1. Jostedalsbreen	473,75	21. Tindfjellbreen	17,30
2. Vestre Svartisen	218,73	22. Tystigbreen	16,48
3. Søndre Folgefonna	164,21	23. Smørstabbreen	15,81
4. Østre Svartisen	147,65	24. Strupbreen	14,40
5. Blåmannsisen	87,26	25. Namnlaus bre sør for Beiardalen	11,75
6. Hardangerjøkulen	71,28	26. Hellstugubreen/Vestre Memurubreen	11,39
7. Okstindbreen	53,65	27. Vestbreen/Fugldalsbreen/Rypdalsbreen	11,31
8. Myklebustbreen	47,67	28. Ålfotbreen	10,90
9. Øksfjordjøkelen	38,61	29. Jiehkkevárri	10,60
10. Nordre Folgefonna	26,43	30. Jostefonni	10,50
11. Sulitjelmaisen	25,51	31. Midtre Folgefonna	10,44
12. Frostisen	25,48	32. Seilandsjøkelen	10,10
13. Harbardsbreen	24,78	33. Fresvikbreen	9,04
14. Gihstsejegna	23,14	34. Svardalsbreen	8,10
15. Spørteggbreen	23,03	35. Gråsubrean/Grotbreen/Glitterbreen	8,03
16. Høgtuvbreen	22,34	36. Gjegalundsbreen	7,84
17. Simlebreen	21,98	37. Langfjordjøkelen	7,49
18. Sekke-/Sikilbreen	21,05	38. Skogadalsbreen	7,39
19. Holåbreen	18,09	39. Fornesbreen	7,32
20. Grovbreen	17,66	40. Veobreen	6,99
21. Tindfjellbreen	17,30	TOTALT:	1765

1. Jf. figur 1 og 2
2. syner ein forsk studie frå 2019: Box, J.E. m.fl. (2019)
3. Bre-eining er eit dreneringsfelt på ein bre. På dei fleste større breane er det fleire dreneringsfelt/bre-einingar på den same breen.
4. Deltakande institusjonar er Havforskningsinstituttet, Meteorologisk institutt, Norsk Polarinstitut, NTNU, UiT Norges arktiske universitet, Universitetet i Bergen, Universitetet i Oslo, Universitetssenteret på Svalbard, Nansensenteret og Akvaplan Niva. I Bergen inkluderer dette prosjektet forskarar frå Bjerknessenteret, UiB, Nansensenteret og Havforskningsinstituttet, sjå arveneternansen.com
5. Prosjektet er eit samarbeid mellom fire institusjonar i Bergen og København: Universitetet i Bergen, Uni Research, NORCE, Københavns Universitet og Danmarks meteorologiske institutt. Forskningsprosjektet er finansiert med 50 millionar kroner frå EU sitt 7. rammeprogram gjennom Synergy-programmet.
6. Som til dømes Venetz (1829), Charpentier (1834), Schimper og Agassiz i (1837)
7. På norsk vert omgrepet brukt om studiar av brear, internasjonalt har omgrepet ei meir omfattande tyding, som inkluderer studiar av snø og is. *International Glaciological Society* (IGS) har derfor også medlemmar av forskarar innan havis og snøskred.
8. No *Norges vassdrags- og energidirektorat* (NVE)
9. Fægri vart cand.mag. med faga botanikk, kjemi og paleontologi i 1933
10. Andreassen og Winsvold, 2012

Kvalane under taket

- Arkivet etter Bergens Museum*, Naturhistorisk avdeling, Statsarkivet i Bergen
- Arkivet etter D.C. Danielsen*, Universitetsbiblioteket i Bergen. Bergen Museums årbøker, 1885–1948
- Brunchorst, J., Bergens Museum 1825–1900, J. Griegs Forlagspedition, 1900
- International Whaling Commission, www.iwc.int
- Johnsen, Arne Odd, Finnmarksfangstens historie 1864–1905, Aschehoug, 1959
- Museologia Scientifica* Memorie, N. 12/2014. <http://www.anms.it/>
- Kalland, Arne, Hval og Hvalfangst på Vestlandet 1600–1910, Novus Forlag, 2014
- Kalland, Arne og Thereza Kuldova, Et hvalskjeletts biograf, Havstrilen, 2011
- Katalog over Dyresamlingen ved Bergens museum, J.D. Beyers Boktrykkeri, 1875
- Tidsskriftet *Naturen*, 1887–1919

Dagens klima- og breforskning

- Andreassen, L.M. og Winsvold, S.H. (2012): *Inventory of Norwegian Glaciers*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate 2012. 235 sider.
- Box, J.E. m.fl. (2019): Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017. *Environmental Research Letters*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1988/1748-9326/aafc1b>.
- Farinotti, D., Huss, M., Fürst, J.J., Landmann, J., Machguth, H., Maussion, F. og Pandit, A. (2019): A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. *Nature Geoscience* 12, 168–173.
- Foslie, S. (1935): Statsgeolog John. B. Rekstad Nekrolog og bibliografi. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 14, 200–209.
- Hestmark, G. (2017): *Istidens oppdager. Jens Esmark, pioneren i Norges fjellverden*. Kagge Forlag. 687 sider.
- Hestmark, G. (2018): Jens Esmark's mountain glacier traverse 1823 – the key to his discovery of Ice Ages. *Boreas* 47, 1–10.
- Kjøllmoen, B. (red.), Andreassen, L.M., Elvehøy, H og Jackson, M. (2018): *Glaciological investigations in Norway 2017. Report no. 82/2018*. 84 sider.
- Orheim, O. (2017): Kapittel 4 – Glasiologi. I: Gullikstad Johnsen, M. (red.): *Norsk Geofysisk Forening 100 år. En samling artikler i anledning foreningens 100-årsjubileum i 2017*, 81–102.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S.U., Gärtner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S. and J.G. Cogley (2019): Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>.

Internettadresser:

- arvenetternansen.com
- bjerknes.uib.no
- ice2ice.w.uib.no/overview/about/
- klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100
- nve.no/hydrologi/bre/

Naturmangfold

- Bakka, E., Kaland, P.E. 1971. Early farming in Hordaland, Western Norway. Problems and approaches in archaeology and pollen analysis. *Norwegian Archaeological Review* 4, 1–35.
- Fægri, K. 1940. Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen. II. Zur spätquartären Geschichte Jærens. *Bergens Museums Årbok* 1939–40. Naturvitenskapelig rekke 7, 1–201.
- Fægri, K. 1943. Studies on the Pleistocene of Western Norway. III Bømlo. *Bergens Museums Årbok* 1943. Naturvitenskapelig rekke Nr. 8, 1–100.
- Fægri, K. 1954. On age and origin of the beech forest (*Fagus sylvatica* L) at Lygrefjorden, near Bergen (Norway). *Danmarks Geologiske Undersøkelse II* række 80, 230–249.
- Fægri, K. 1956. Om den pollenanalytiske utforskning av Norge. NAVF's melding for budsjettåret 1954–55. Norges almenvitenskapelige forskningsråd, Oslo.
- Hjelle, K.L., Kaland, S., Kvamme, M., Lødøen, T.K., Natlandsmyr, B. 2012. Ecology and long-term land-use, palaeoecology and archaeology – the usefulness of interdisciplinary studies for knowledge-based conservation and management of cultural landscapes. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 8, 321–337.
- Hjelle, K.L., Halvorsen, L.S., Prosch-Danielsen, L., Sugita, S., Paus, A., Kaland, P.E., Mehl, I.K., Overland, A., Danielsen, R., Høeg, H.L., Midtbø, I. 2018. Long-term changes in regional vegetation cover along the west coast of southern Norway: The importance of human impact. *Journal of Vegetation Science* 29, 404–415.
- Hombøe, J. 1903. Planterester i Norske torvmyrer. Et bidrag til den norske vegetations historie efter den sidste istid. Viten-skapsselskapet i Kristiania. Kristiania: Jacob Dybwad
- Holmboe, J. 1908. Bøgeskogen ved Lygrefjord i Nord-Hordland. *Bergens Museums Aarbo* 13: 3–22.
- Holmboe, J. 1919. Den botaniske ekskursjon i Bergens skjær-gaard efter det 16de skandinaviske naturforsker møte 17de og 18de juli 1916. *Bergens Museums Aarbo* 1917 – 1918, Naturvitenskabelig række 16, 1–31.
- Holmboe, J. 1921. Nytteplanter og ugras i Osebergfunnet. I: A.W. Brøgger & H. Shetelig (red.) 1927. *Osebergfundet* 5, 1–78. (Særtrykk 1921).
- Holmboe, J. 1923. En plommesten fra en norsk vikingegrav. *Naturen*, 71–77.

Løsfunn fra steinalder

- Holmboe, J. 1929. Funnforholdene botanisk undersøkt. Kvalsundfundet og andre norske myrfund av fartoier. *Bergens Museums Skrifter II*, 2, 1–7.
- Holmboe, J. 1931. Plantekost i Norge i gammel tid. Selskapet Havedyrkingens Venners Medlemskrift, hefte 4, 1–18.
- Indrelid, S., Hjelle, K.L., Stene, K. (Eds.) Exploitation of outfield resources – Joint Research at the University Museums of Norway. Universitetsmuseet i Bergen skrifter nr. 32. <http://hdl.handle.net/1956/10072>
- Jessen, K. 1929. Nelden (*Urtica dioica* L.) i Kvalsundfundet. Kvalsundfundet og andre norske myrfund av fartoier. *Bergens Museums Skrifter II*, 2, 17–23.
- Jørgensen, P.M. (red.) Botanikkens historie i Norge. Fagbokforlaget. 2007
- Kaland, P.E. 2014. Heathlands – land-use, ecology and vegetation history as a source for archaeological interpretations. PNM, Publications from the National Museum, Studies in Archaeology & History 22, 19–47.
- Krzywinski, K., Fjellidal, S., Soltvedt, E.-C. 1983. Recent palaeoethnobotanical work at the medieval excavations at Bryggen, Bergen, Norway. In: B. Proudfoot (ed.) Site, Environment and Economy. BAR Series 173, 145–169.
- Kvamme, M., Berge, J., Kaland, P.E. 1992. Vegetasjonshistoriske undersøkelser i Nyset-Steggjevassdragene. Arkeologiske Rapporter 17. Historisk Museum, Universitetet i Bergen.
- Myking, T., Yakovlev, I., Erslund, G.A. 2011. Nuclear genetic markers indicate Danish origin of the Norwegian beech (*Fagus sylvatica* L.) populations established in 500–1000 AD. *Tree Genetics and Genomes* 7, 587–596.

Lofothesten

- Foreslått lesing
- Gro Bjørnstad, Elin Gunby, Knut. H. Røed (2001): Genetic structure of Norwegian horse breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. Blackwell Verlag GmbH (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1439-0388.2000.00264.x>)
- Gro Bjørnstad, N.Ø. Nilsen, Knut. H. Røed (2003): Genetic relationship between Mongolian and Norwegian horses? i *Animal Genetics*. Stichting International Foundation for Animal Genetics. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2052.2003.00922.x>)
- Trine Boysen (1996): Nordlandshesten. Gunnarshaug AS. Stavanger. (<https://www.nb.no/nbsok/nb/c641bc09b5f4c22a6cc8805c089be207?index=17#0>)
- Laura Bunse (2010): Kun et trekkdyr i jordbruket? Hestens betydning i nordnorsk yngre jernalder. Masteroppgave UiT, Tromsø. Open Access. (<https://munin.uit.no/handle/10037/2519>)
- Birgit Dorothea Nielsen (2011): Lyngshesten – en Nordkalott-hest? i *Fra fossiler til oljekrangel Tromsø: Tromsø museum – Universitetsmuseet. Tromsø*. (<https://uit.no/Content/463253/Lyngshesten.pdf>)
- L.P. Nilssen (1897): Lofothesten. *Norsk Landmandsblad* nr. 16, 1897.
- Per-Kyrre Reimert (1975): Når kom hesten til Nord-Norge? Gløtt fra Tromsø museum. 31. Om funn og fornminne i Nord-Norge. Tromsø: (<https://www.nb.no/nbsok/nb/d80172f2fc4a64c6bf773c05c24df0a5?index=1#21>)
- Dag Sorli (1976): Øyfolket: bygdebok for Værøy. Værøy bygdeboknemd. Værøy. (<https://www.nb.no/nbsok/nb/c16feef8dcaf02853d492bf31857704?index=1#11>)
- Hans Tilreim (1947): Minner fra Nordland. i tidsskriftet «Våre hester».
- Elling Vatne (2006): Lyngshesten: Historie og kultur i nord. Eget forlag, Samuelsenberg. (<https://www.nb.no/nbsok/nb/9efc31f74c62919f5664fbd0e6a8d2e?index=1#0>)

- Trinnøks: Bf_DiA_000962: Svein Skare
Skafthulløks: Bf_Bn_000876-1: UM ukjent fotograf
Kølle: Bf_Bn_002919: Ann-Mari Olsen
Flintdol: Bf_DiA_003811: Svein Skare
Skiveøks: Bf_Bn_005519: Ann-Mari Olsen
Vestlandsøks: Bf_DpA_000083: Svein Skare
Vespestadøks: Bf_DiA_003739 Svein Skare

Hovlandshagen på Bømlo

- Alsaker, Sigmund 1987 Bømlo – *Steinalderens råstoffsentrum på Sørvestlandet*. Arkeologiske avhandlinger 4, Historisk museum, Universitetet i Bergen.
- Bjørn, Anathon 1921 *Træk av Søndmørs steinalder*. Bergens Museum Aarbok 1919–20. Hist. – antikv. række nr. 4.
- Brogger, Anton W. 1907 *Norges Vestlands steinalder. Typologiske studier*. Bergens museums Aarbok, 1907, no.1.
- Brogger, Waldemar C. 1907 Om de sen-glaciale og postglaciale nivaåforandringer i Kristianiafeltet. *Norges geologiske undersøkelse*, 31.
- Ellingsen, Ellen G. & Breivik, Heidi M. 2012 Anders Nummedal: fra «quasi-nerd» til steinaldernerd. *Primitive tider* nr. 14. s. 47–58.
- Forland, Astrid & Haaland, Anders 1996 *Universitetet i Bergens historie* bind 1, Universitetet i Bergen.
- Fægri, Knut 1944 Studies on the Pleistocene of Western Norway. III Bømlo, *Bergens museums årbok* 1943, naturvitenskaplig rekke, nr. 8. s. 7–100.
- Gjessing, Helge 1920 *Rogalands steinalder*, Stavanger museum, Stavanger.
- Hovland, Kari S. 1994 *Haakon Shetelig. Arkeologen og mennesket*. Alma Mater, Bergen.
- Kaland, Peter Emil 1984 Holocene shore displacement and shorlines in Hordaland, Western Norway. *Boreas*, vol. 13, s. 203–242.
- Kleppe, Else J. 1974 Udgravning af steinalders boplads ved Storemynen. Innberetning i topografisk arkiv, Universitetsmuseet i Bergen.
- Lohne, Øystein 2006 SeaCurve_v1 – Teoretisk berekning av strandforskyvningskurver i Hordaland frå UTM koordinater (excel-ark)
- Nyland, Astrid J. 2016 Bergartsbrudd frå steinalderen. I Berg, Bjørn Ivar (red.) *Bergverv i Norge. Kulturminner og historie*. Fagbokforlaget, Bergen. s. 359–362.
- Shetelig, Haakon 1901 Et bosted frå steinalderen paa Bømmeløen. *Bergens Museums aarbog*, no. 5.
- Shetelig, Haakon 1920 En landsenkning under yngre steinalder. *Naturen*, jan.–feb. 1920. s. 28–42.
- Shetelig, Haakon 1922a Gravingen paa Uratangen i Hovlandshagen, Hovland, Bømlo 1921–1922. Innberetning i top. Ark., Universitetsmuseet i Bergen.
- Shetelig, Haakon 1922b *Primitive tider i Norge*. John Griegs forlag, Bergen.
- Vasskog, K. 2006: *Holosen strandforskyvning på sørlige Bømlo*. Masteroppgåve, Geologisk institutt, Universitetet i Bergen.

Inn i Naturen

- Byrkjedal, I. og Willassen, E. (2010). «Hundre år siden Michael Sars-Ekspedisjonen». <https://www.uib.no/fg/fse/68566/hundre-%C3%A5-siden-michael-sars-ekspedisjonen>
- Garnes, Kari og Søndena, Ola (2009). Prosjektrapport Faghistorisk dokumentasjonsprosjekt. Bergen: UiB Naturen. Illustrert månedsskrift for populær naturvitenskap. 1877–2019.
- UiB. Kunnskap som former samfunnet. Hav, liv, samfunn/Strategi 2019–2022. Bergen: UiB.