Glasiologiske undersøkelser på Folgefonna 2002-2013

Sluttrapport

Bjarne Kjøllmoen

9
2014

OPPDRAGSRAPPORT A

Glasiologiske undersøkelser på Folgefonna 2002-2013

Sluttrapport

Norges vassdrags- og energidirektorat
2014

Oppdragsrapport serie A nr. 9

Glasiologiske undersøkelser på Folgefonna 2002-2013

Sluttrapport

Oppdragsgiver: Statkraft Energi AS

Forfatter: Bjarne Kjøllmoen

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: Gråfjellsbrea fotografert 9. august 2007. Foto: Hallgeir Elvehøy

Sammendrag: Rapporten beskriver resultater fra glasiologiske undersøkelser på Folgefonna fra 2002 til 2013. Undersøkelsene har omfattet kartlegging av brefeltene, volumendringer og geodetisk masse-balanse i ulike perioder, glasiologisk massebalanse 2003-13 og frontendringer 1959-2013.

Emneord: Glasiologi, breer, målinger, massebalanse, volumendringer, frontendringer

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

November 2014

Innhold

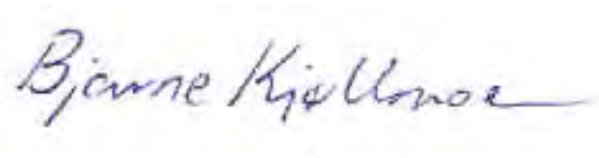
Forord **4**
Sammendrag **5**
1 Innledning **6**
2 Kartlegging av brefeltene **8**
2.1 Datagrunnlag og metode 8
2.1.1 2013 - datagrunnlag og metode 8
2.1.2 2007 - datagrunnlag og metode 9
2.1.3 1997 - datagrunnlag og metode 9
2.1.4 1959 - datagrunnlag og metode 9
2.1.5 Kvalitetsvurdering og kontroll 9
2.1.6 Bestemmelse av isskille 20
2.2 Resultater 20
2.2.1 Areal- og høydefordeling Nordre Folgefonna 20
2.2.2 Areal- og høydefordeling Midtre Folgefonna 22
2.2.3 Areal- og høydefordeling Søndre Folgefonna 23
3 Volumendringer og geodetisk massebalanse **25**
3.1 Datagrunnlag og metode 25
3.1.1 DTM og brefeltavgrensning 25
3.1.2 Korreksjon for høydefeil i DTM 25
3.1.3 Tetthet 25
3.1.4 Korreksjon for ulike datoer 26
3.1.5 Områder uten datadekning 26
3.2 Resultater 26
3.2.1 1959-1997 26
3.2.2 1997-2007 29
3.2.3 2007-2013 31
4 Glasiologisk massebalanse 2003-2013 ..... **35**
4.1 Datagrunnlag og metode 35
4.1.1 Måleprogram og datainnsamling 35
4.1.2 Beregninger 36
4.1.3 Kvalitet og feilkilder 36
4.1.4 Homogenisering av måleserien 37
4.2 Resultater 37
4.2.1 Original måleserie 37
4.2.2 Homogenisert måleserie 37
4.2.3 Kvalitet og feilkilder 38
4.2.4 Sammenligning av glasiologisk og geodetisk massebalanse 39
4.2.5 Kalibrering og korrigering av glasiologisk massebalanse 39
5 Frontendringer **41**
5.1 Botnabrea 41
5.2 Bondhusbrea 42
5.3 Gråfjellsbrea 44
5.4 Breidablikkbrea 45
6 Konklusjon **47**
6.1 Kartlegging av brefeltene 47
6.2 Volumendringer og geodetisk massebalanse 47
6.3 Glasiologisk massebalanse 47
6.4 Frontendringer 47
Referanser **48**

Forord

I "Pålegg om hydrologiske undersøkelser for Maurangervassdragene" ble det gitt pålegg om breundersøkelser på deler av Folgefonna. Hydrologisk avdeling i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har foretatt undersøkelsene på oppdrag fra Statkraft Energi AS, Region Vest.

Undersøkelsene har omfattet årlige målinger av massebalanse og frontendringer samt kartlegging og beregninger av volumendringer. Denne rapporten oppsummerer de målinger og beregninger som er gjennomført i perioden 2002-2013.

Bjarne Kjøllmoen har vært ansvarlig for oppdraget fra NVEs side. Feltarbeidet har blitt gjort av personell fra Hydrologisk avdeling i NVE i samarbeid med Geir Knudsen fra Statkraft.



Oslo, november 2014

Rune Engeset
seksjonssjef

Bjarne Kjøllmoen
prosjektleder

Sammendrag

Folgefonna består av tre separate brekapper, Nordre-, Midtre- og Søndre Folgefonna. Samlet sett dekker hele Folgefonna 189 km^2 (2013). Søndre Folgefonna, som er den tredje største breen i Norge, dekker alene 157 km^2. Midtre og Nordre Folgefonna dekker hhv. 8 og 24 km^2.

Kartlegging av brefeltene

Brefeltene som ligger innenfor reguleringsområdet til Statkraft er kartlagt fire ganger; i 1959, 1997, 2007 og 2013. Samtlige brefelt i reguleringsområdet har krympet i de mellomliggende periodene.

Volumendringer og geodetisk massebalanse

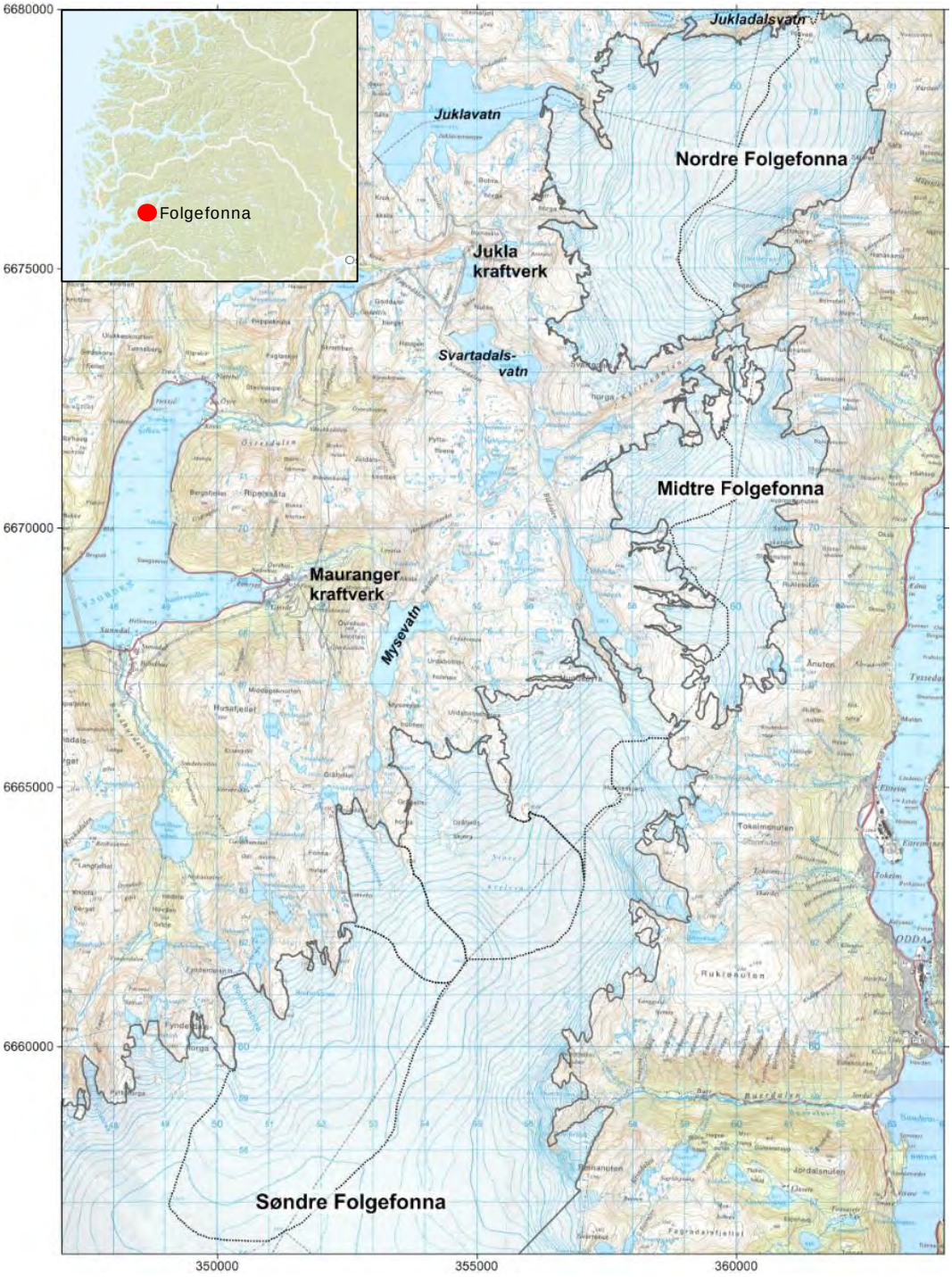
Volumendringer og geodetisk massebalanse er beregnet for periodene 1959-1997, 1997-2007 og 2007-2013 for brefeltene som ligger innenfor reguleringsområdet til Statkraft. Samtlige brefelt i reguleringsområdet har minket i volum i alle tre periodene.

Glasiologisk massebalanse 2003-2012(13)

Årlig massebalanse (vinter- og sommerbalanse) er målt og beregnet for brefeltene Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea i perioden fra 2003 til 2012. Høsten 2013 ble også nettobalansen målt. Hele måleserien er homogenisert og senere kalibrert mot geodetisk massebalanse for perioden 2007-13. Begge brefeltene har hatt en betydelig negativ massebalanse i måleperioden 2003-2013.

1 Innledning

Folgefonna ligger på østsiden av Hardangerfjorden i Hordaland fylke (fig. 1). Breen består av tre separate iskapper; Nordre- (24 km^2), Midtre- (8 km^2) og Søndre Folgefonna (157 km^2). Samlet dekker Folgefonna 189 km^2 og strekker seg fra 557 til 1648 moh. (2013).



Figur 1
Folgefonna ligger i Hordaland fylke mellom Hardangerfjorden i vest og Sørfjorden i øst. Smeltevann fra vestsiden av Folgefonna reguleres i flere magasin før det blir utnyttet i kraftproduksjon.

Statkraft Energi AS, Region Vest, kraftstasjonsgruppe Folgefonn, regulerer avrenningen fra vestsiden av Nordre-, Midtre- og deler av Søndre Folgefonna i magasinene Jukladalsvatn, Dravladalsvatn, Juklavatn, Svartadalsvatn og Mysevatn. Vannet fra disse magasinene blir utnyttet i Jukla og Mauranger kraftverk (fig.1).

De glasiologiske undersøkelsene er foretatt på brefelt som ligger innenfor reguleringsområdene. Undersøkelsene startet høsten 2002 med utsetting av staker på Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea for måling av massebalanse. Samtidig ble det satt i gang målinger av brefronten på de samme breene. Frontendringer på Bondhusbrea og Botnabrea var satt i gang allerede i 1996. Nøyaktige kartlegginger av breene ble gjort i 2007 og 2013. Sammen med eldre kartlegginger fra 1959 og 1997 er volumendringer i de mellomliggende periodene beregnet.

På Folgefonna er det tidligere målt massebalanse i perioder på 1960-, 1970- og 1980-tallet. På Søndre Folgefonna ble det målt på Breidablikkbrea (1963-68) (Pytte, 1969), Gråfjellsbrea (1964-68 og 1974-75) (Wold og Hagen, 1977) og Bondhusbrea (1977-81) (Haakensen, 1984). Alle disse breene ligger innenfor reguleringsområdet til Statkraft. På Blåbreen/Ruklebreen, som drenerer østover, ble massebalansen målt fra 1963 til 1968 (Pytte, 1969), mens Blomsterskardsbreen lengst i sør ble målt fra 1970 til 1977 (Tvede, 1978). På Midtre Folgefonna ble massebalansen målt i 1970 og 1971 (Tvede, 1973).

2 Kartlegging av brefeltene

Smeltevann fra Folgefonna utgjør en betydelig del av inntaksvannet til både Jukla og Mauranger kraftverk. Det totale nedbørfeltet til Mauranger kraftverk er ca. 163 km^2. Av dette utgjør brearealet ca. 52 km^2. Vannet som går gjennom Jukla kraftverk går også gjennom Mauranger kraftverk. En nøyaktig bestemmelse av dreneringsgrensene til brefeltene som drenerer til Jukla og Mauranger kraftverk er gjort for å beregne nedbørfeltenes breareal. Snø- og isdekkede arealer som ikke henger sammen med selve iskappen er ikke medregnet i denne sammenheng.

2.1 Datagrunnlag og metode

Detaljert kartlegging av Folgefonna ble gjort i 1959, 1997, 2007 og 2013. All datainnsamling og databearbeidelse er gjort i koordinatsystemet UTMz32, Euref89 med høyder i NN 1954. En beskrivelse av datagrunnlaget og metodikk er gitt nedenfor.

2.1.1 2013 - datagrunnlag og metode

Datainnsamlingen ble gjort i form av flybåren laserskanning (LIDAR) og fotografering den 22. august og 20. september 2013. Flyvningen den 22. august måtte avbrytes pga. lavt skydekke etter at omtrent halve breområdet var kartlagt. Ny flyvning ble foretatt den 20. september. Det var imidlertid noen skyer også denne dagen, noe som medførte enkelte hull i datasettet. For å få et mest mulig helhetlig datasett er data fra begge flyvningene benyttet. Flyvningen den 20. september dekker mesteparten av breområdet og er benyttet som primærdatasett. Områder som ikke er dekket av flyvningen den 20. september, er utfylt av data fra flyvningen den 22. august. Totalt sett dreier det seg om 56 km^2 fordelt over mange små områder, de fleste lengst syd på Søndre Folgefonna. Høydeendringen fra 22. august til 20. september er beregnet ved å se på høyde-differansene i buffersonen for hvert område. På bakgrunn av analyser av høyde-differansene er det laget transformasjonsformler for hvert område. Datasettet fra 22. august er så påført en høydetranslasjon og importert inn i datasettet fra 20. september (TerraTec AS, 2014).

Laserskanningen ble utført med lasersensor av typen Leica ALS70. Flyets høyde over bakken var ca. 1400 m. Punkttettheten er gjennomsnittlig 1,0 punkt/m^2. Teoretisk absolutt nøyaktighet er anslått til 10 cm i høyde og 20-30 cm i horisontalplanet. I områdene hvor data er fylt inn fra flyvningen den 22. august er det antatt en noe dårligere nøyaktighet, anslagsvis 20 cm i høyde. Fotograferingen, som ble gjort med kameratypen Rollei metric AIC Pro P65, ble utført med GSD 20 og 20 % sideoverlapp. GSD 20 betyr at størrelsen til avtrykket til hver enkelt piksel i terrenget er 20 cm. Det ble ikke målt kontrollflater.

Datasettet fra laserskanningen består av en punktsky med nord- og østkoordinater og høyder. Datasettet fra fotograferingen består av georefererte bilder, såkalte ortofoto. Datainnsamlingen er gjort av TerraTec AS.

På grunnlag av de digitale høydepunktene er det generert en digital terrengmodell (DTM) på 10 x 10 meter. Brekanten er bestemt ut fra ortofoto ved digitalisering direkte på dataskjermen.

2.1.2 2007 - datagrunnlag og metode

Datainnsamlingen ble gjort med LIDAR den 21.og 22. august 2007 (Kjøllmoen, 2008). Datasettet består av en punktsky med nord- og østkoordinater, høyder og intensitets-verdier. Kartleggingen, som dekker hele Folgefonna, ble utført av TerraTec AS.

På grunnlag av de digitale høydepunktene er det generert en DTM på 10 x 10 meter. Brekanten er bestemt ut fra høydemodellen med støtte i intensitetsverdiene. I noen mindre randsoneområder med manglende data er brekanten bestemt ut fra satellittbilder fra 2002.

2.1.3 1997 - datagrunnlag og metode

Datainnsamlingen ble gjort med flyfotografering den 7. august 1997 (oppgave FW 12176). Flybildenes målestokk er 1: 30 000. Fotograferingen ble utført av Fjellanger Widerøe AS. Ut fra flybildene ble det i 2002 konstruert digitale kartdata i form av en punktsky med nord- og østkoordinater og høyder, samt brekant. Selv om flybildene dekket hele Folgefonna, ble det ikke konstruert kartdata for den sørligste delen av Søndre Folgefonna. Kartkonstruksjonen ble utført av Blom Kart AS.

På grunnlag av de digitale høydepunktene er det generert en DTM på 10 x 10 meter.

2.1.4 1959 - datagrunnlag og metode

Datainnsamlingen ble gjort med flyfotografering den 10. august 1959 (oppgave 1061). Flybildenes målestokk er 1: 40 000. Ut fra flybildene ble det i 1964 konstruert papirkart i målestokk 1: 20 000 med 10 m ekvidistanse. Konstruksjonen ble foretatt i koordinat-systemet NGO 1948, akse I med høyder i NN 1954. Hele Folgefonna ble dekket av fire kartblad hvorav tre av dem (SBP-9948, SBP-9949 og SBP-9950) dekker brefeltene som ligger i dreneringsområdet til Statkraft. Det fjerde kartbladet (SBP-9947) dekker brefeltene lengst i syd. Både fotografering og kartkonstruksjon ble utført av Widerøes Flyveselskap A/S på oppdrag fra NVE/Statskraftverkene.

For de tre førstnevnte kartbladene er høydekurver og brekant konvertert til digitale kartdata ved hjelp av skanning, vektorisering og georeferering. Denne prosessen ble utført av ProCaptura AS. For kartblad SBP-9947 er høydekurver og brekant digitalisert ved hjelp av digitaliseringsbord. I digitaliseringsprosessen er kartdataene blitt transformert til koordinatsystemet UTMz32, Euref89.

På grunnlag av de digitaliserte høydekurvene er det generert en DTM på 10 x 10 meter.

2.1.5 Kvalitetsvurdering og kontroll

Underveis i produksjonslinjen fra flybåren datainnsamling til ferdig produsert DTM vil nøyaktigheten forringes noe for hvert produksjonssteg. En vurdering og kontroll av datasettene for hvert år er beskrevet nedenfor.

2013
Fire dager etter laserskanningen, den 24. september, ble det gjort kontrollmålinger med GNSS (tidligere kalt GPS) av breflaten på Søndre Folgefonna. Resultatet fra 16 kontrollmålinger viste høydeforskjell mellom interpolerte LIDAR-data og GNSS-målte ($H_{GNSS}-H_{LIDAR}$) høydepunkt mellom +67 og −43 cm med gjennomsnitt på +9 cm (tab. 1). Høyde-nøyaktigheten på GNSS-målingene antas å være bedre enn ±10 cm. Under GNSS-målingene den 24. september ble det målt opptil 50 cm nysnø i de høyestliggende områdene på breen. Nedbør- og temperaturdata fra flere klimastasjoner rundt Folgefonna

antyder at denne nysnøen kom i tidsrommet 15.-17. september. Under feltbesøket den 24. september var breflaten forholdsvis hard også i nysnøområdene. Det kan derfor tenkes at breflaten sank litt i områder med nysnø i perioden mellom laserskanningen (20. sept.) og GNSS-målingene (24. sept.). Denne høydeendringen er imidlertid så liten, og sannsynligvis ikke større enn usikkerheten på målingene, at den kan ses bort fra i denne sammenheng.

Tabell 1
Sammenligning av høyder fra interpolerte LIDAR-data med høyder målt med GNSS. De åtte nederste punktene i tabellen er målinger fra brefeltene Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea. De åtte øverste punktene er målinger som ble gjort for Sunnhordland kraftlag på den sørlige delen av Søndre Folgefonna.

Point No.	North	East	$Height_{GNSS}$	$Height_{LIDAR}$	Diff. (m)
70-13	6 656 107,34	351 052,75	1 628,59	1 628,54	0,05
75-12	6 654 838,33	353 441,18	1 579,90	1 579,97	-0,07
60-12	6 653 273,52	349 755,26	1 517,52	1 516,87	0,65
55-13	6 652 622,75	352 856,68	1 516,02	1 515,35	0,67
55-12	6 652 549,93	352 692,27	1 512,70	1 512,36	0,34
35-07	6 650 111,84	351 465,30	1 342,43	1 342,55	-0,12
20	6 648 404,95	349 335,53	1 142,32	1 142,40	-0,08
10-12	6 647 063,01	347 471,33	953,57	953,54	0,03
55-02	6 661 747,35	353 457,27	1 553,17	1 553,24	-0,07
55-12	6 661 807,59	353 683,45	1 557,66	1 557,76	-0,10
56-05	6 662 210,68	353 883,08	1 557,53	1 557,96	-0,43
60-11	6 661 992,62	354 706,43	1 636,47	1 636,54	-0,07
30-07	6 662 287,10	356 085,60	1 539,38	1 539,53	-0,15
25-11	6 663 571,40	355 655,16	1 476,36	1 476,28	0,08
15-08	6 665 324,61	354 884,74	1 250,76	1 250,20	0,56
47-12	6 662 832,61	352 975,30	1 418,05	1 417,95	0,10

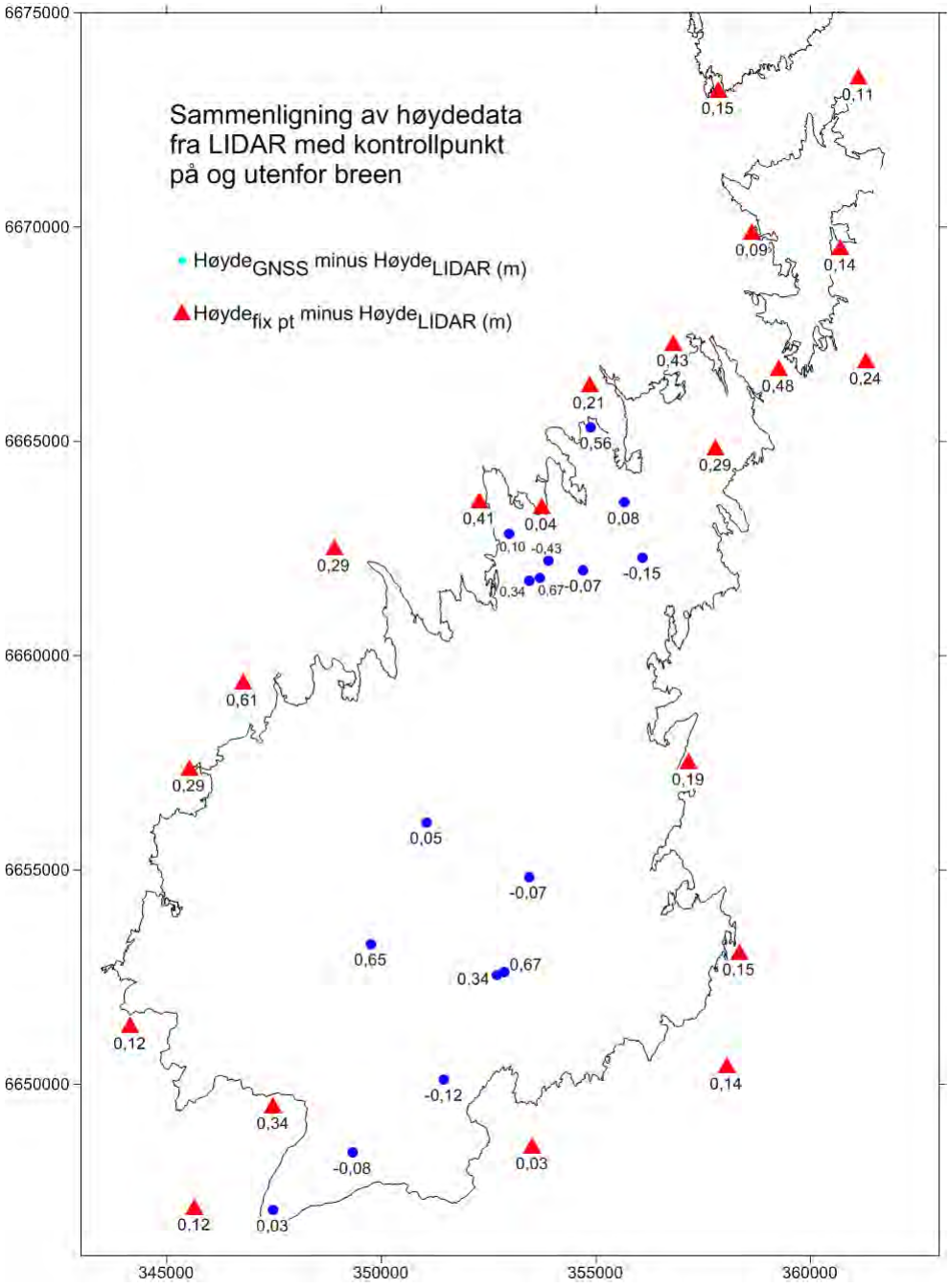
Datasettet fra laserskanningen er også kontrollert mot fastpunkter i brefritt terreng. Resultatet fra 21 kontrollmålinger viste høydeforskjell mellom interpolert LIDAR-måling og fastpunkt ($H_{fix\ pt}$–H_{LIDAR}) mellom +61 og +3 cm med gjennomsnitt på +23 cm (tab. 2). Fastpunktene inngår i det nasjonale fastmerkeregisteret og er oppgitt med en høyde-nøyaktighet bedre enn ±15 cm.

Denne kontrollen viser at fastpunktenes høyder ligger konsekvent høyere enn LIDAR-målingene. Det er viktig å være klar over at fastpunktenes oppgitte høyder refererer seg til toppen av en bolt. Boltene har gjerne en egenhøyde på ca. 5 cm. I tillegg kan ofte slike fastpunkter være lokalisert på toppen av små lokale fjellknauser. Tettheten av LIDAR-målingene varierer, men gjennomsnittlig punkttetthet er her ca. 1 punkt/m^2. Det er dermed grunn til å anta at fastbolter og små lokale fjellknauser ikke blir med i LIDAR-datasettet. Under interpoleringen kan terrenget dermed bli litt lavere lokalt rundt slike fastpunkt. Dette kan forklare noe av høydeforskjellen mellom LIDAR-målingene og fastpunktene.

Tabell 2
Sammenligning av høyder fra interpolerte LIDAR-data med høyder fra fastpunkt.

Point No.	North	East	$Height_{fix\ pt}$	$Height_{LIDAR}$	Diff. (m)
C34 T126	6 657 391,75	345 518,12	1 325,92	1 325,63	0,29
C34 T106	6 663 618,66	352 286,84	1 453,50	1 453,09	0,41
C35 T2	6 647 144,33	345 640,02	1 179,14	1 179,02	0,12
C34 T30	6 667 306,71	356 803,49	1 463,81	1 463,38	0,43
C34 T58	6 657 533,11	357 159,84	1 295,68	1 295,49	0,19
C34 T115	6 664 866,64	357 791,26	1 565,05	1 564,76	0,29
C34 T131	6 673 192,85	357 851,21	1 472,37	1 472,22	0,15
C35 T28	6 653 096,62	358 335,38	1 381,30	1 381,15	0,15
C34 T122	6 662 524,69	348 895,85	649,93	649,64	0,29
C34 T210	6 673 518,51	361 121,79	1 419,11	1 419,00	0,11
C34 T222	6 666 888,03	361 292,99	1 268,51	1 268,27	0,24
C35 T81	6 648 573,98	353 522,74	1 322,86	1 322,83	0,03
C34 T104	6 669 887,19	358 642,00	1 519,45	1 519,36	0,09
C34 T139	6 669 541,90	360 702,63	1 462,69	1 462,55	0,14
C34 T105	6 666 714,90	359 256,17	1 487,90	1 487,42	0,48
C34 T136	6 666 324,52	354 850,20	1 358,47	1 358,26	0,21
C34 T111	6 663 485,85	353 730,61	1 467,80	1 467,76	0,04
C35 T46	6 650 437,51	358 043,78	1 407,68	1 407,54	0,14
C35 T60	6 649 513,60	347 483,39	1 333,38	1 333,04	0,34
C35 T281	6 651 377,48	344 146,06	1 388,89	1 388,77	0,12
C34 T121	6 659 388,81	346 772,07	1 348,01	1 347,40	0,61

Begge disse uavhengige kontrollene viser at LIDAR-datasettet er av god kvalitet. Begge kontrollmålingene antyder at høydene i LIDAR-datasettet kan være 10-20 cm lavere enn kontrollpunktene. Forskjellen er omtrent i samme størrelsesorden som usikkerheten på LIDAR-dataene og det er derfor valgt å se bort fra avviket i denne sammenheng. Beliggenheten av kontrollpunktene er vist i figur 2.



Figur 2
Geografisk fordeling av kontrollpunktene for 2013. Interpolerte LIDAR-data er sammenlignet med fastpunkt (fix pt) fra det nasjonale fastmerkeregisteret (▲) og med GNSS-målte punkt på breflata (●).

2007

Samtidig med laserskanningen den 22. august ble det gjort kontrollmålinger med GNSS av breflaten på den sørlige delen av Søndre Folgefonna (fig. 3). Resultatet fra sju kontrollmålinger viste en forskjell mellom interpolerte LIDAR-data og GNSS-målte ($H_{GNSS}-H_{LIDAR}$) høydepunkt mellom +23 og −12 cm med gjennomsnitt på +3 cm (tab. 3).

Tabell 3
Sammenligning av høyder fra interpolerte LIDAR-data med høyder målt med GNSS.

Point No.	North	East	$Height_{GNSS}$	$Height_{LIDAR}$	Diff. (m)
10	6 647 179,50	347 602,08	981,05	980,82	0,23
20	6 648 518,26	349 497,64	1 157,84	1 157,86	-0,02
25	6 648 632,09	351 199,94	1 232,52	1 232,46	0,06
30	6 650 303,06	351 538,07	1 351,55	1 351,55	0,00
35	6 649 585,51	349 096,16	1 246,68	1 246,71	-0,03
40	6 651 347,55	349 644,83	1 363,07	1 363,01	0,06
75	6 654 921,55	353 454,81	1 585,01	1 585,13	-0,12

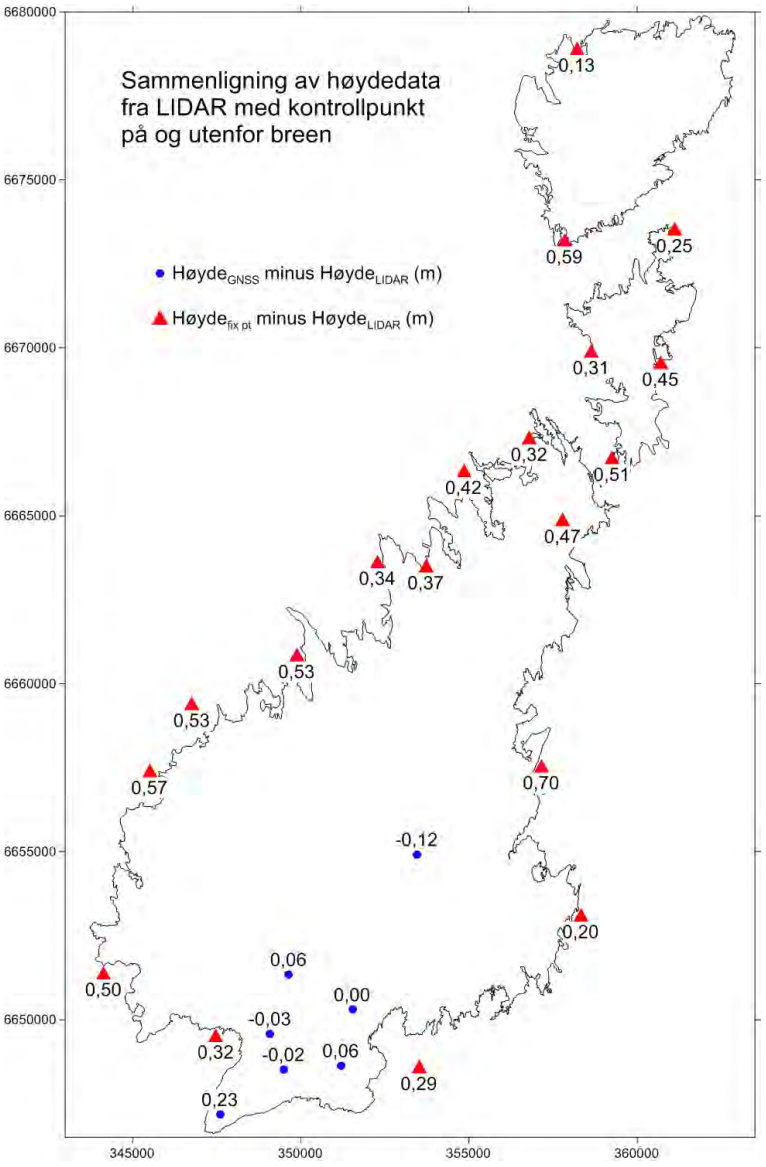
I likhet med LIDAR-datasettet fra 2013 er også datasettet fra 2007 kontrollert mot fastpunkter i brefritt terreng (fig. 3). Resultatet fra 19 kontrollmålinger viste høydeforskjeller mellom interpolert LIDAR-måling og fastpunkt ($H_{fix\ pt}$–H_{LIDAR}) mellom +70 og +13 cm med gjennomsnitt på +41 cm (tab. 4). Høydenøyaktigheten på fastpunktene er bedre enn ±15 cm. I likhet med kontrollen for 2013 ligger fastpunktene gjennomgående høyere enn LIDAR-målingene. Bolthøyder og små lokale fjellknauser kan også her forklare noe av høydeforskjellen.

Tabell 4
Sammenligning av høyder fra interpolerte LIDAR-data med høyder fra fastpunkt.

Point No.	North	East	$Height_{fix\ pt}$	$Height_{LIDAR}$	Diff. (m)
C34 T126	6 657 391,75	345 518,12	1 325,92	1 325,35	0,57
C34 T106	6 663 618,66	352 286,84	1 453,50	1 453,16	0,34
C34 T30	6 667 306,71	356 803,49	1 463,81	1 463,49	0,32
C34 T58	6 657 533,11	357 159,84	1 295,68	1 294,98	0,70
C34 T115	6 664 866,64	357 791,26	1 565,05	1 564,58	0,47
C34 T131	6 673 192,85	357 851,21	1 472,37	1 471,78	0,59
C35 T28	6 653 096,62	358 335,38	1 381,30	1 381,10	0,20
C34 T210	6 673 518,51	361 121,79	1 419,11	1 418,86	0,25
C35 T81	6 648 573,98	353 522,74	1 322,86	1 322,57	0,29
C34 T104	6 669 887,19	358 642,00	1 519,45	1 519,14	0,31
C34 T139	6 669 541,90	360 702,63	1 462,69	1 462,24	0,45
C34 T105	6 666 714,90	359 256,17	1 487,90	1 487,39	0,51
C34 T136	6 666 324,52	354 850,20	1 358,47	1 358,05	0,42
C34 T111	6 663 485,85	353 730,61	1 467,80	1 467,43	0,37
C35 T60	6 649 513,60	347 483,39	1 333,38	1 333,06	0,32
C35 T281	6 651 377,48	344 146,06	1 388,89	1 388,39	0,50
C34 T121	6 659 388,81	346 772,07	1 348,01	1 347,48	0,53
C34 T107	6 660 840,81	349 886,07	1 420,89	1 420,36	0,53
C34 T230	6 678 897,32	358 215,43	1 380,79	1 380,66	0,13

Resultatene fra de to kontrollmålingene er noe forskjellig. Kontrollen med GNSS-målte punkt på breflaten viser høydeforskjeller som er mindre enn usikkerheten. Kontrollen med fastpunkt i brefritt terreng viser derimot en signifikant høydeforskjell på 0,4 m. Denne kontrollen antyder dermed at høydene i LIDAR-datasettet kan være ca. 40 cm lavere enn fastpunktene. Ettersom kontrollmålingene på breflata viser bare ubetydelige

forskjeller og at avviket sammenlignet med fastpunktene ikke er større enn 40 cm er det valgt å beholde LIDAR-datasettet uten korreksjoner.



Figur 3
Geografisk fordeling av kontrollpunktene for 2007. Interpolerte LIDAR-data er sammenlignet med fastpunkt fra det nasjonale fastmerkeregisteret (▲) og med GNSS-målte punkt på breflata (●).

1997

Det foreligger lite informasjon om flybildenes kvalitet, men bildene viser at det lå igjen forholdsvis mye snø både på og utenfor breen. Hvit snø på breen gir lite struktur i overflaten og vanskeliggjør prosessen med å konstruere gode høydepunkt. Det er derfor grunn til å anta at kvaliteten på flybildene og kartkonstruksjonen ikke er spesielt bra. Bestemmelse av brekanten er mindre nøyaktig for dette året. Å skille mellom snødekt bre og temporære snøfonner kan være vanskelig, og det vil alltid være rom for tolkninger. I konstruksjonsprosessen ble det benyttet 11 referansepunkt for innpassing av bildemodellene (Kjøllmoen, 2006).

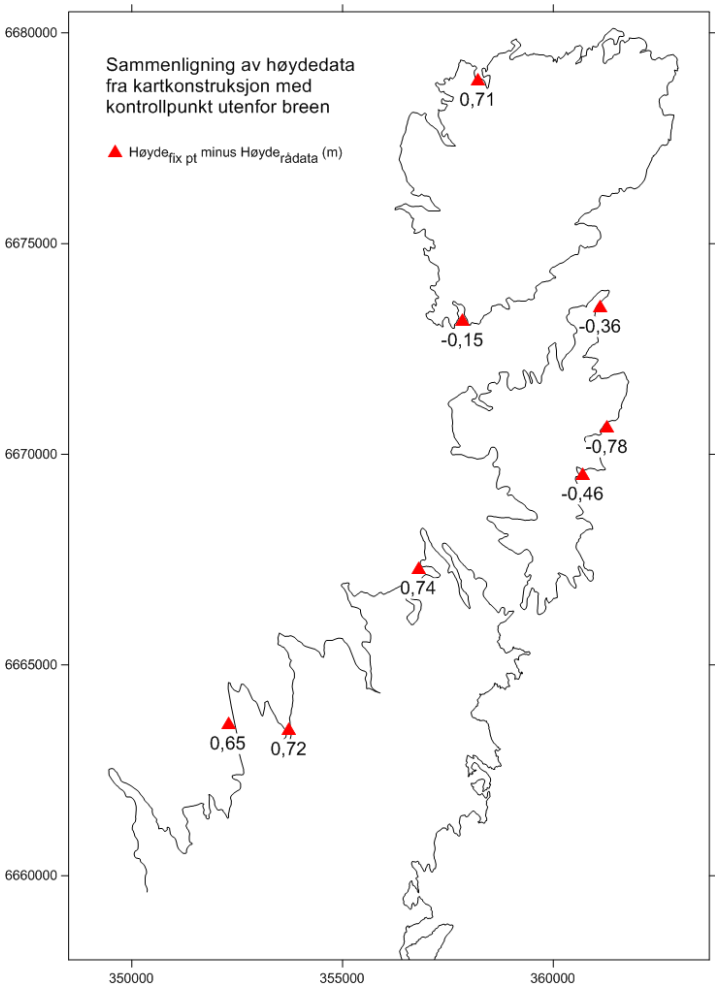
Det finnes ingen uavhengige kontrollmålinger i felt fra 1997.

På samme måte som for 2013 og 2007 er imidlertid rådatasettet fra 1997 kontrollert mot fastpunkter i brefritt terreng (fig. 4). Resultatet fra åtte kontrollpunkt viste høyde-

forskjeller mellom interpolert rådatasett og fastpunkt ($H_{fix\ pt}$–$H_{rådata}$) mellom +74 og −78 cm med gjennomsnitt på +13 cm (tab. 5). Høydenøyaktigheten på fastpunktene er bedre enn ±15 cm.

Tabell 5
Sammenligning av høyder fra interpolerte rådata med høyder fra fastpunkt.

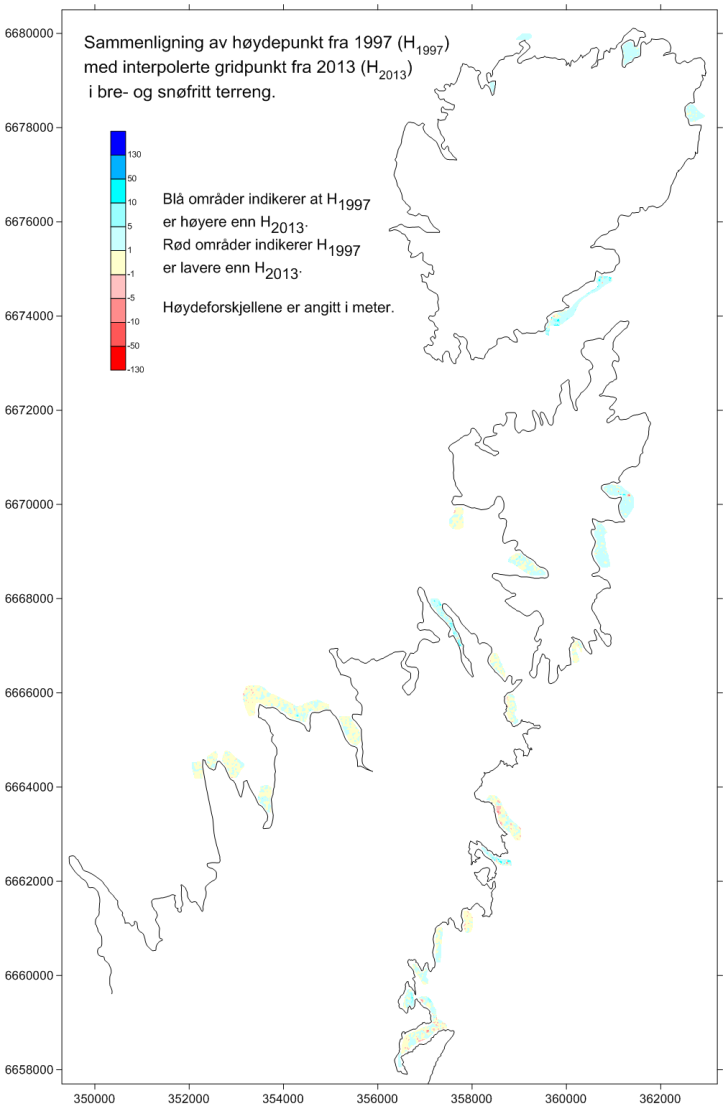
Point No.	North	East	$Height_{fix\ pt}$	$Height_{rawdata}$	Diff. (m)
C34 T213	6 670 659,74	361 276,28	1 418,29	1 419,07	-0,78
C34 T106	6 663 618,66	352 286,84	1 453,50	1 452,85	0,65
C34 T30	6 667 306,71	356 803,49	1 463,81	1 463,07	0,74
C34 T131	6 673 192,85	357 851,21	1 472,37	1 472,52	-0,15
C34 T210	6 673 518,51	361 121,79	1 419,11	1 419,47	-0,36
C34 T139	6 669 541,90	360 702,63	1 462,69	1 463,15	-0,46
C34 T111	6 663 485,85	353 730,61	1 467,80	1 467,08	0,72
C34 T230	6 678 897,32	358 215,43	1 380,79	1 380,08	0,71



Figur 4
Geografisk fordeling av kontrollpunktene for 1997. Interpolerte rådata er sammenlignet med fastpunkt fra det nasjonale fastmerkeregisteret (▲).

Generelt er datasett fra LIDAR ansett å ha svært god nøyaktighet. Kontrollmålingene for 2007- og 2013-datasettene, som begge er innsamlet med LIDAR, viser tilfredsstillende nøyaktighet. Datasettet fra 2013 viser spesielt små avvik fra kontrollmålingene og anses som den mest nøyaktige. Datasettet fra 2013 (1 x 1 m grid) er sammenlignet med datasettet fra 1997 (rådatapunkt) i bre- og snøfritt terreng. Teoretisk sett skal de to datasettene

ha samme høydeverdier i områder uten snø eller is ettersom terrenget her ikke endres over tid. Datasettet fra 2013 betraktes i denne sammenheng som ”feilfritt” og høydeforskjellene kan derfor si noe om nøyaktigheten til datasettet fra 1997. Resultatet av denne sammenligningen er vist i figur 5. Høydeverdiene i 5993 punkt er sammenlignet. Ser man på hele utvalget ligger 85 % av høydepunktene høyere i rådatasettet fra 1997 enn i den detaljerte DTMen fra 2013, noe som også er lett å se i figur 5. Maksimum og minimum høydeforskjell for hele utvalget er hhv. +17,6 og −10,8 m med gjennomsnittlig forskjell +1,4 m. De relativt store maksimums- og minimumsverdiene kan skyldes snøflekker eller rasmateriale. En slik sammenligning er ikke pålitelig i bratt terreng. Tar man bort alle høydepunkt som ligger i brattere terreng enn 30 grader blir maksimums- og minimumsverdiene +14,2 og −4,5 m med middelverdi på +1,0 m. En ytterligere innskrenking av datautvalget kan gjøres ved å ta bort alle høydepunkt som ligger brattere enn 20 grader. Det gir maksimums- og minimumsverdier på +7,4 og −3,4 m med middelverdi på +1,0 m.



Figur 5
Sammenligning av høydepunkt fra rådatasettet for 1997 med interpolerte punkt fra 2013 i bre- og snøfritt terreng.

Resultatene fra de to kontrollmålingene gir noe forskjellige svar. Kontrollen mot fastpunkt viser at høydepunktene fra 1997 ligger både lavere og høyere enn kontrollpunktene, og en middelverdi som er mindre enn usikkerheten. Kontrollen mot LIDAR-

datasettet fra 2013 viser derimot at høydepunktene fra 1997 ligger gjennomgående høyere enn kontrolldatasettet fra 2013. Middelverdien viser en signifikant høydeforskjell på 1,0 m. Med den forutsetning at LIDAR-datasettet fra 2013 er korrekt antyder denne kontrollen at DTM fra 1997 er ca. 1 m for høy. Ettersom dette høydeavviket er såpass stort og entydig er det gjort en korreksjon for DTM_{1997} i kapittel 3 «Volumendringer og geodetisk massebalanse».

1959

Det foreligger lite informasjon om flybildenes kvalitet. Bildene viser imidlertid at det lå igjen lite snø både på og utenfor breen dette året, noe som gir god struktur i overflaten. Det er derfor grunn til å anta at kvaliteten på flybildene er bra. Ifølge opplysninger fra Terratec (tidligere Widerøes Flyveselskap) er nøyaktigheten av papirkartene antatt å være 5-10 m i grunnriss, mens den relative (innbyrdes) nøyaktigheten i høyde er beskrevet som ”brukbar”. På kartbladene SBP-9947 og SBP-9948 (dvs. Søndre Folgefonna) er det oppgitt at ”høyder og kurver på vestre halvpart er usikker”. Under konverteringsprosessen fra papirkart til digitale kartdata ble det benyttet 22 referansepunkt for horisontal innpassing av papirkartene (Kjøllmoen, 2006). Midlere feilvektor for denne koordinatinnpassingen var 3,1 m. Prosessen med generering av DTM vil også påvirke nøyaktigheten.

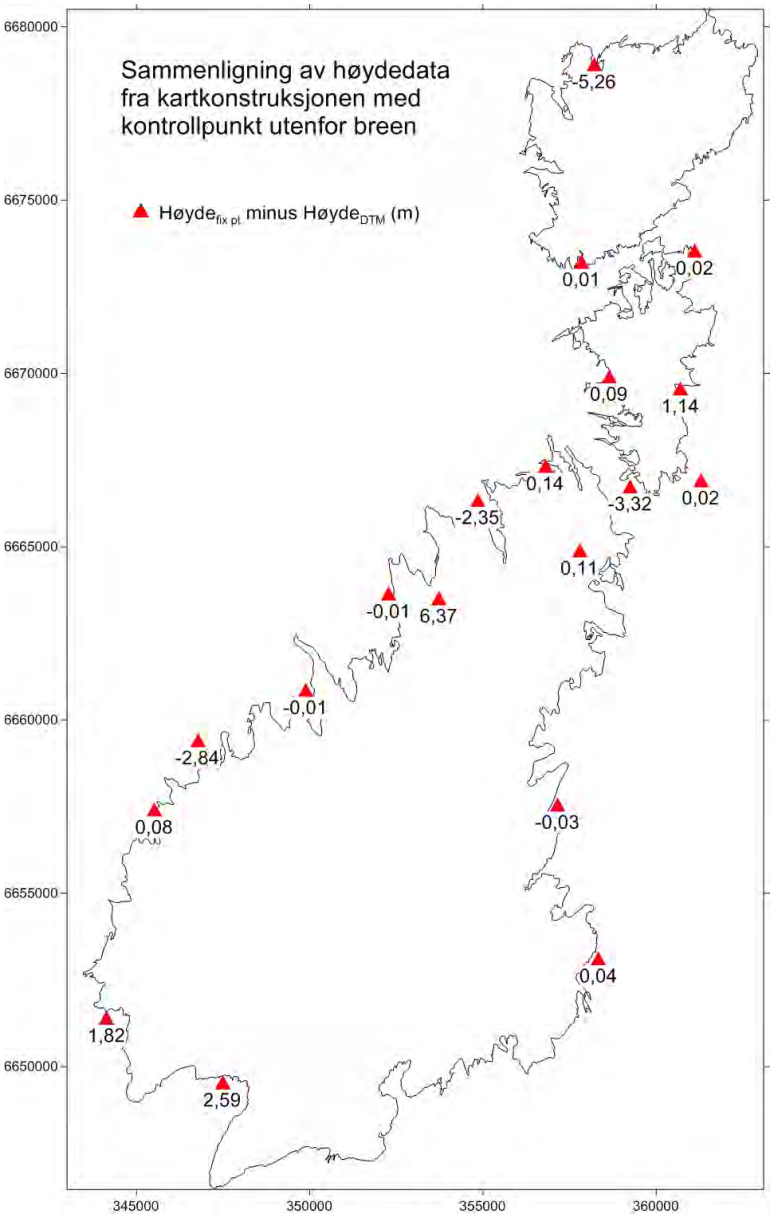
Det finnes ingen uavhengige kontrollmålinger i felt fra 1959.

På samme måte som for datasettet fra 1997 er rådatasettet fra 1959 kontrollert mot fastpunkter (fig. 6) og DTM_{2013} (fig. 7) i brefritt terreng.

Resultatet fra 19 kontrollmålinger viste høydeforskjeller mellom interpolert rådatasett og fastpunkt ($H_{fix\ pt}–H_{rådata}$) mellom +6,37 og −5,26 m med gjennomsnitt på −0,07 m (tab. 6). Høydenøyaktigheten på fastpunktene er bedre enn ±15 cm.

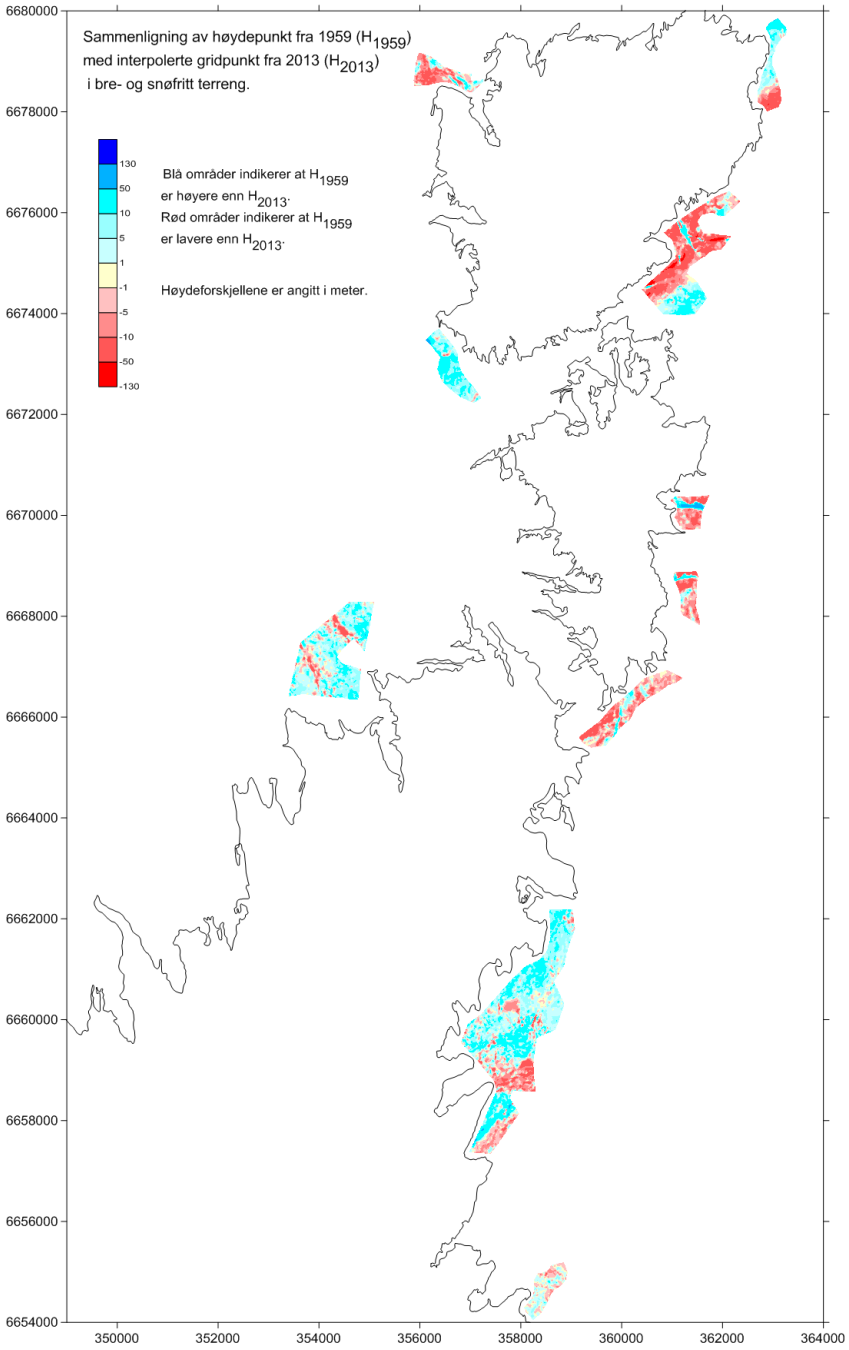
Tabell 6
Sammenligning av høyder fra interpolerte rådata med høyder fra fastpunkt.

Point No.	North	East	$Height_{fix\ pt}$	$Height_{DTM}$	Diff. (m)
C34 T126	6 657 391,75	345 518,12	1 325,92	1 325,84	0,08
C34 T106	6 663 618,66	352 286,84	1 453,50	1 453,51	-0,01
C34 T30	6 667 306,71	356 803,49	1 463,81	1 463,67	0,14
C34 T58	6 657 533,11	357 159,84	1 295,68	1 295,71	-0,03
C34 T115	6 664 866,64	357 791,26	1 565,05	1 564,94	0,11
C34 T131	6 673 192,85	357 851,21	1 472,37	1 472,36	0,01
C35 T28	6 653 096,62	358 335,38	1 381,30	1 381,26	0,04
C34 T210	6 673 518,51	361 121,79	1 419,11	1 419,09	0,02
C34 T104	6 669 887,19	358 642,00	1 519,45	1 519,36	0,09
C34 T139	6 669 541,90	360 702,63	1 462,69	1 461,55	1,14
C34 T105	6 666 714,90	359 256,17	1 487,90	1 491,22	-3,32
C34 T136	6 666 324,52	354 850,20	1 358,47	1 360,82	-2,35
C34 T111	6 663 485,85	353 730,61	1 467,80	1 461,43	6,37
C35 T60	6 649 513,60	347 483,39	1 333,38	1 330,79	2,59
C35 T281	6 651 377,48	344 146,06	1 388,89	1 387,07	1,82
C34 T121	6 659 388,81	346 772,07	1 348,01	1 350,85	-2,84
C34 T107	6 660 840,81	349 886,07	1 420,89	1 420,90	-0,01
C34 T230	6 678 897,32	358 215,43	1 380,79	1 386,05	-5,26
C34 T222	6 666 888,03	361 292,99	1 268,51	1 268,49	0,02



Figur 6
Geografisk fordeling av kontrollpunktene for 1959. Interpolerte rådata er sammenlignet med fastpunkt fra det nasjonale fastmerkeregisteret (▲).

Resultatet av sammenligningen av DTM_{1959} med DTM_{2013} i bre- og snøfritt terreng er vist i figur 7. Høydeverdiene i 36859 punkt er sammenlignet. Ser man på hele utvalget ligger 60 % av høydepunktene i rådatasettet fra 1959 høyere enn i den detaljerte DTMen fra 2013. Maksimum og minimum høydeforskjell for hele utvalget er hhv. +136 og −133 m med gjennomsnittlig forskjell +1,9 m. Tar man bort alle høydepunkt som ligger i brattere terreng enn 30 grader blir maksimums- og minimumsverdiene +100 og −85 m med middelverdi på +1,1 m. En ytterligere innskrenking av datautvalget kan gjøres ved å ta bort alle høydepunkt som ligger brattere enn 20 grader. Det gir maksimums- og minimumsverdier på +28 og −72 m med middelverdi på +1,5 m.



Figur 7 Sammenligning av høydepunkt fra rådatasettet for 1959 med interpolerte punkt fra 2013 i bre- og snøfritt terreng.

På samme måte som for 1997 viser resultatene fra de to kontrollmålingene noe forskjellige svar. Kontrollen mot fastpunkt viser at høydepunktene fra 1959 ligger både lavere og høyere enn kontrollpunktene, og med en middelverdi (0,07 m) som er betydelig mindre enn usikkerheten. Størrelsesmessig er avvikene enten svært lave, (mellom −0,03 og 0,14 m) eller forholdsvis store (mellom −5,26 og 6,37 m). Det er ingen tendenser eller systematikk i avvikene. Årsaken til at avvikene varierer så vidt mye er sannsynligvis at rådatagrunnlaget er ujevnt fordelt, noe som igjen påvirker interpolasjonsprosessen. Jo færre punkt i datagrunnlaget jo mindre nøyaktig blir høydebestemmelsen i et interpolert punkt. Kontrollen mot LIDAR-datasettet fra 2013 viser at høydepunktene fra 1959 ligger gjennomgående høyere enn kontrolldatasettet fra 2013. Middelverdien viser en signifikant høydeforskjell på 1,1 m. Med den forutsetning at LIDAR-datasettet fra 2013

er korrekt, antyder denne kontrollen at høydene i datasettet fra 1959 er en drøy meter for høy. Høydeavviket er såpass stort og entydig at det er gjort en korreksjon for DTM_{1959} i kapittel 3 «Volumendringer og geodetisk massebalanse».

2.1.6 Bestemmelse av isskille

Kartlegging av vannets *dreneringsgrenser* i breområder krever kjennskap til breenes bunntopografi. Bunntopografien kartlegges ved hjelp av radar som måler isens tykkelse. I 2004 ble det gjort forsøk med radarmålinger på Folgefonna. Resultatene fra disse målingene er ikke tilfredsstillende til formålet. En kartlegging av breenes *isskille* er derfor valgt i stedet. Isskillet bestemmes ut fra breenes overflatetopografi. I de fleste tilfeller er dreneringsgrensen og isskillet omtrent sammenfallende. Selv om breflatens høyde kan variere over tid vil breens topografi, og dermed også isskillet, stort sett være uforandret. Isskillene som ble beregnet fra kartleggingen i 2007 (Kjøllmoen, 2008) er derfor benyttet videre i rapporten.

> *Dreneringsgrensen* som skiller to brefelt bestemmer hvor smeltevannet fra brefeltene havner. Dreneringsgrensen bestemmes av både breens overflate- og bunntopografi.
> *Isskillet* mellom de to samme brefeltene bestemmer isens dreneringsvei. Isskillet bestemmes kun av overflatetopografien.

2.2 Resultater

Brefeltene som ligger innenfor Statkrafts reguleringsområde er i denne sammenheng inndelt i seks delfelt; Nordre, Midtre, Blådal, Gråfjellsbrea, Breidablikkbrea og Bondhus. Brefeltene Nordre og Midtre omfatter de delene av hhv. Nordre og Midtre Folgefonna som drenerer vestover. Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea er de samme brefeltene som det er målt årlig massebalanse på. Blådal omfatter brefeltet som ligger nord for Gråfjellsbrea. Brefeltet Bondhus ligger sør for Breidablikkbrea og omfatter Bondhusbrea og Brufossbrea. Med utgangspunkt i DTM og brekant for det aktuelle året, samt isskillene beregnet fra DTM_{2007}, er areal- og høydefordeling beregnet for disse brefeltene for årene 1959, 1997, 2007 og 2013.

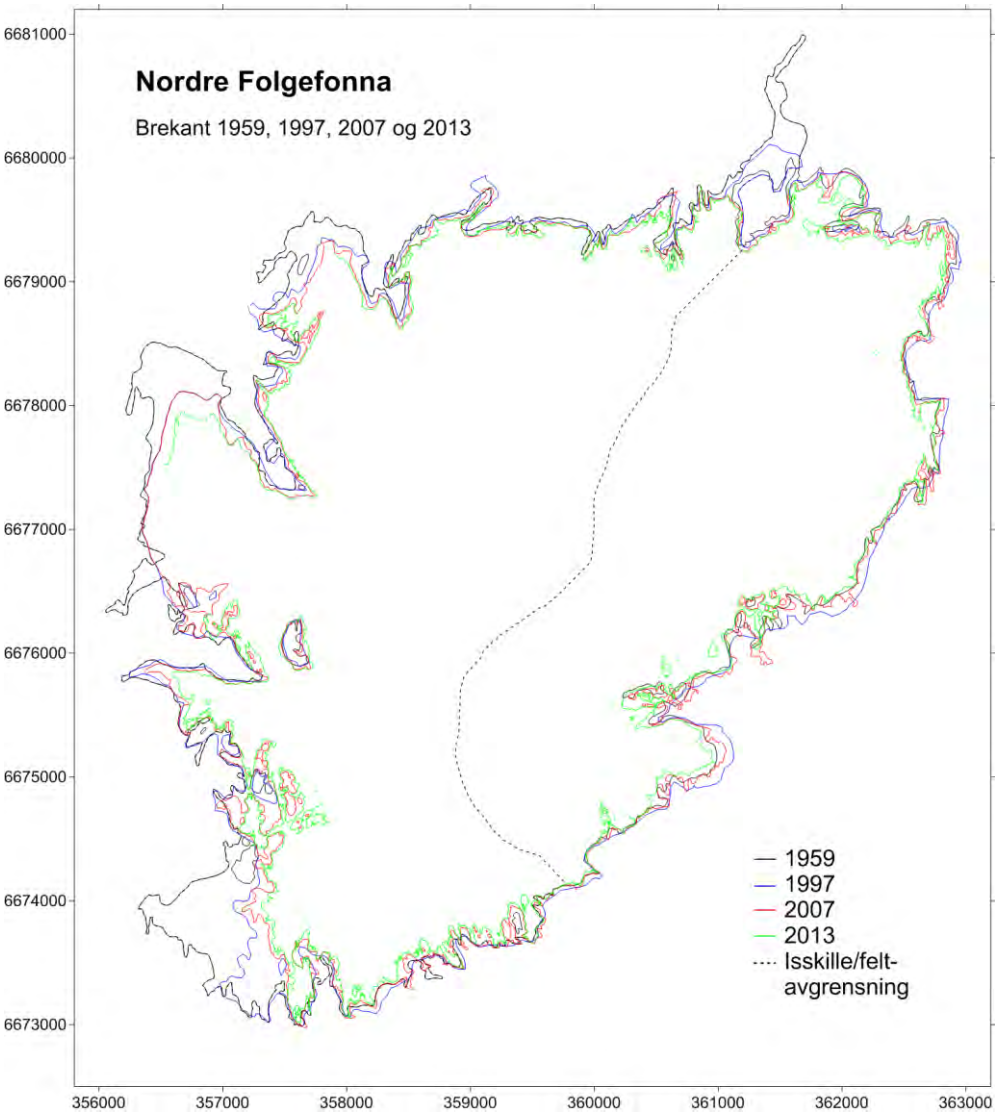
2.2.1 Areal- og høydefordeling Nordre Folgefonna

Under fotograferingen i 2013 lå det noen skyer på vestsiden av Nordre Folgefonna. Av den grunn er ikke brekanten fullstendig for dette året. Arealfordeling for 2013 er derfor ikke beregnet. Arealfordeling for brefeltet Nordre for årene 1959, 1997 og 2007 er vist i tabell 7. Brekanten for hele Nordre Folgefonna for årene 1959, 1997, 2007 og 2013 er vist i figur 8.

Brefeltet Nordre har minket i begge periodene 1959-97 og 1997-2007. I hele perioden 1959-2007 har arealet minket fra 18,0 til 15,8 km^2, dvs. en krymping på 2,2 km^2 (0,05 km^2/år). Brefeltet minket mest i perioden 1997-2007 med 1,2 km^2 (0,12 km^2/år).

Arealfordeling Nordre					
Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)
1600-1654	3,69	1600-1645	3,59	1600-1636	2,83
1550-1600	2,92	1550-1600	2,96	1550-1600	3,05
1500-1550	2,71	1500-1550	2,64	1500-1550	2,60
1450-1500	2,44	1450-1500	2,46	1450-1500	2,35
1400-1450	1,87	1400-1450	1,86	1400-1450	1,81
1350-1400	1,51	1350-1400	1,33	1350-1400	1,30
1300-1350	0,94	1300-1350	0,92	1300-1350	0,63
1250-1300	0,83	1250-1300	0,57	1250-1300	0,63
1200-1250	0,50	1200-1250	0,29	1200-1250	0,28
1150-1200	0,24	1150-1200	0,17	1150-1200	0,22
1100-1150	0,18	1100-1150	0,14	1100-1150	0,08
1050-1100	0,14	1045-1100	0,05	1056-1100	0,01
1009-1050	0,04				
1009-1654	18,02	1045-1645	16,98	1056-1636	15,80

Tabell 7
Arealhøydefordeling for brefeltet Nordre for årene 1959, 1997 og 2007.

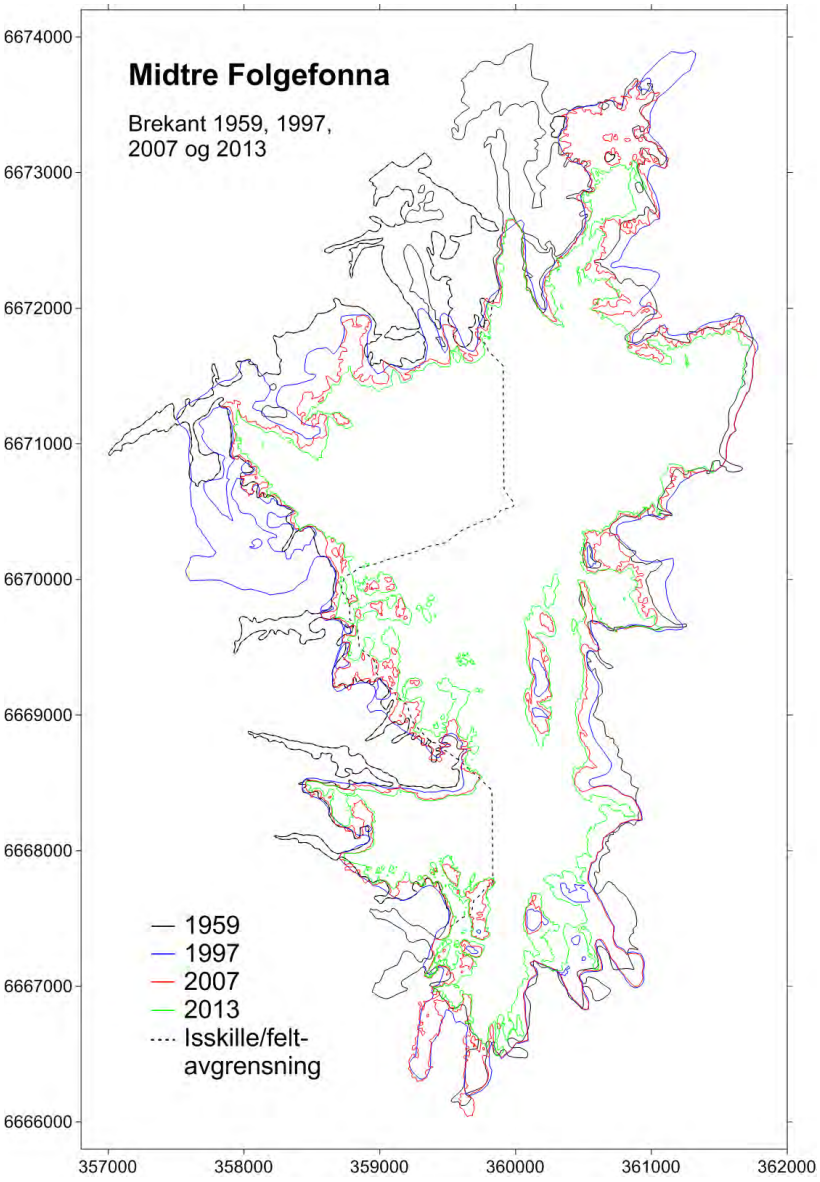


Figur 8
Brekant og felt-avgrensning for Nordre Folgefonna i 1959,1997, 2007 og 2013. Brekanten for 2013 er ikke fullstendig på vestsiden.

2.2.2 Areal- og høydefordeling Midtre Folgefonna

Brekanten for hele Midtre Folgefonna for årene 1959, 1997, 2007 og 2013 er vist i figur 9. Arealfordelingen for brefeltet Midtre for årene 1959, 1997, 2007 og 2013 er vist i tabell 8.

Brefeltet Midtre har minket i alle tre periodene 1959-97, 1997-2007 og 2007-13. I hele perioden 1959-2013 har arealet minket fra 4,6 til 2,6 km^2, dvs. en krymping på 2,0 km^2 (0,04 km^2/år). Brefeltet minket mest i perioden 1997-2007 med 1,2 km^2 (0,12 km^2/år).



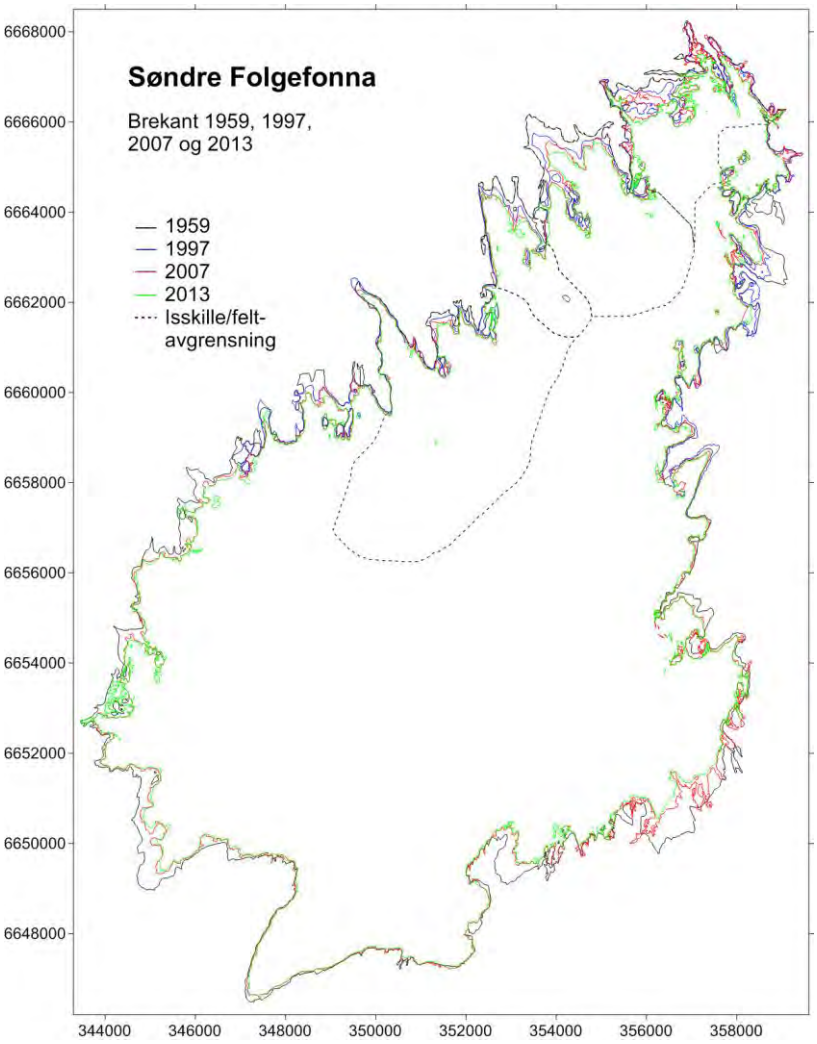
Figur 9
Brekant og feltavgrensning for Midtre Folgefonna i 1959,1997, 2007 og 2013.

Tabell 8
Arealhøydefordeling for brefeltet Midtre for årene 1959, 1997, 2007 og 2013.

Arealfordeling Midtre							
Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2013 (km^2)
1550-1580	0,25	1550-1574	0,18	1550-1561	0,07	1550-1555	0,03
1500-1550	0,66	1500-1550	0,64	1500-1550	0,57	1500-1550	0,52
1450-1500	0,78	1450-1500	0,77	1450-1500	0,69	1450-1500	0,61
1400-1450	0,62	1400-1450	0,64	1400-1450	0,46	1400-1450	0,42
1350-1400	1,00	1350-1400	0,70	1350-1400	0,46	1350-1400	0,35
1300-1350	0,60	1300-1350	0,81	1300-1350	0,66	1300-1350	0,60
1250-1300	0,32	1250-1300	0,29	1250-1300	0,13	1250-1300	0,09
1200-1250	0,25	1200-1250	0,16	1211-1250	0,04	1241-1250	0,002
1150-1200	0,11	1150-1200	0,03				
1110-1150	0,05	1136-1150	0,002				
1110-1580	4,64	1136-1574	4,23	1211-1561	3,08	1241-1555	2,62

2.2.3 Areal- og høydefordeling Søndre Folgefonna

Brekanten for hele Søndre Folgefonna for årene 1959, 1997, 2007 og 2013 er vist i figur 10. Arealfordelingen for brefeltene Blådal, Gråfjell, Breidablikk og Bondhus er vist i tabell 9.



Figur 10
Brekant og feltavgrensning for Søndre Folgefonna i 1959,1997, 2007 og 2013.

Tabell 9
Arealhøydefordeling for brefeltene på Søndre Folgefonna for årene 1959, 1997, 2007 og 2013.

Arealfordeling Blådal

Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2013 (km^2)
1550-1603	0,36	1550-1600	0,18	1550-1589	0,11	1550-1585	0,08
1500-1550	1,90	1500-1550	1,52	1500-1550	1,12	1500-1550	0,91
1450-1500	1,26	1450-1500	1,49	1450-1500	1,65	1450-1500	1,66
1400-1450	1,42	1400-1450	1,12	1400-1450	0,92	1400-1450	0,83
1350-1400	1,09	1350-1400	1,11	1350-1400	1,08	1350-1400	0,87
1300-1350	0,51	1300-1350	0,24	1300-1350	0,46	1300-1350	0,32
1250-1300	0,30	1250-1300	0,61	1250-1300	0,20	1250-1300	0,12
1200-1250	0,18	1200-1250	0,19	1200-1250	0,12	1200-1250	0,09
1150-1200	0,05	1150-1200	0,08	1150-1200	0,07	1150-1200	0,05
1100-1150	0,04	1100-1150	0,07	1100-1150	0,04	1123-1150	0,004
1068-1100	0,003	1073-1100	0,01	1075-1100	0,01		
1068-1603	7,11	1073-1600	6,61	1075-1589	5,77	1123-1585	4,95

Arealfordeling Gråfjellsbrea

Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2013 (km^2)
1600-1656	0,86	1600-1660	0,61	1600-1651	0,50	1600-1647	0,45
1550-1600	2,50	1550-1600	2,16	1550-1600	1,72	1550-1600	1,48
1500-1550	1,85	1500-1550	1,42	1500-1550	2,13	1500-1550	2,16
1450-1500	1,15	1450-1500	1,91	1450-1500	1,49	1450-1500	1,58
1400-1450	0,67	1400-1450	0,72	1400-1450	0,81	1400-1450	0,84
1350-1400	0,69	1350-1400	0,57	1350-1400	0,49	1350-1400	0,46
1300-1350	0,57	1300-1350	0,45	1300-1350	0,41	1300-1350	0,40
1250-1300	0,46	1250-1300	0,37	1250-1300	0,34	1250-1300	0,32
1200-1250	0,47	1200-1250	0,17	1200-1250	0,15	1200-1250	0,14
1150-1200	0,29	1150-1200	0,18	1150-1200	0,08	1150-1200	0,05
1100-1150	0,14	1100-1150	0,22	1100-1150	0,12	1100-1150	0,06
1050-1100	0,04	1050-1100	0,11	1049-1100	0,16	1049-1100	0,14
1034-1050	0,003						
1034-1656	9,69	1050-1660	8,88	1049-1651	8,41	1049-1647	8,05

Arealfordeling Breidablikkbrea

Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2013 (km^2)
1600-1660	0,77	1600-1660	0,74	1600-1651	0,63	1600-1648	0,59
1550-1600	0,63	1550-1600	0,62	1550-1600	0,58	1550-1600	0,53
1500-1550	0,49	1500-1550	0,42	1500-1550	0,43	1500-1550	0,48
1450-1500	0,49	1450-1500	0,44	1450-1500	0,38	1450-1500	0,36
1400-1450	0,46	1400-1450	0,38	1400-1450	0,28	1400-1450	0,25
1350-1400	0,48	1350-1400	0,37	1350-1400	0,36	1350-1400	0,31
1300-1350	0,42	1300-1350	0,39	1300-1350	0,34	1300-1350	0,30
1250-1300	0,18	1250-1300	0,31	1250-1300	0,33	1250-1300	0,28
1217-1250	0,01	1233-1250	0,02	1233-1250	0,05	1232-1250	0,12
1217-1660	3,92	1233-1660	3,68	1233-1651	3,37	1232-1648	3,22

Arealfordeling Bondhus

Elevation (m a.s.l.)	Area 1959 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 1997 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2007 (km^2)	Elevation (m a.s.l.)	Area 2013 (km^2)
1600-1653	5,59	1600-1650	5,34	1600-1641	4,01	1600-1638	3,47
1550-1600	4,90	1550-1600	4,87	1550-1600	5,61	1550-1600	5,82
1500-1550	2,73	1500-1550	2,84	1500-1550	2,96	1500-1550	3,08
1450-1500	1,92	1450-1500	1,87	1450-1500	2,02	1450-1500	2,07
1400-1450	1,13	1400-1450	1,13	1400-1450	1,16	1400-1450	1,21
1350-1400	0,79	1350-1400	0,80	1350-1400	0,80	1350-1400	0,80
1300-1350	0,48	1300-1350	0,41	1300-1350	0,43	1300-1350	0,44
1250-1300	0,39	1250-1300	0,37	1250-1300	0,32	1250-1300	0,30
1200-1250	0,26	1200-1250	0,29	1200-1250	0,28	1200-1250	0,25
1150-1200	0,19	1150-1200	0,19	1150-1200	0,17	1150-1200	0,15
1117-1150	0,07	1117-1150	0,08	1095-1150	0,15	1085-1150	0,16
1117-1653	18,46	1117-1650	18,18	1095-1641	17,90	1085-1638	17,76

3 Volumendringer og geodetisk massebalanse

Volumendringer og geodetisk massebalanse er tidligere beregnet og rapportert for periodene 1959-1997 (Kjøllmoen, 2006) og 1997-2007 (Kjøllmoen, 2008).

> *Volumendring* er i denne sammenheng definert som endring av snø-, firn- og isvolum mellom to kartleggingsdatoer.
> *Geodetisk massebalanse* er volumendring omregnet til vannekvivalent, korrigert for smelting som forekom etter kartleggingsdatoen, nysnø på kartleggingstidspunktet og eventuelle justeringer av terrengmodellene.

3.1 Datagrunnlag og metode

3.1.1 DTM og brefeltavgrensning

Volumendringer og geodetisk massebalanse er beregnet på grunnlag av DTM og brefeltenes avgrensning. DTM med rutestørrelse 10 x 10 meter er generert for hvert år. Endringer av overflatehøyden i en gitt periode er beregnet ved å subtrahere $DTM_{årII}$ fra $DTM_{årI}$. Resultatet er et rutenett med høydeendringer. Størrelsen av brefeltene er ulike for de fire årene 1959, 1997, 2007 og 2013. Ettersom isskillet fra 2007 brukes for alle fire årene, skyldes arealendringene utelukkende endringer av brekanten. Brefeltenes størrelser er vist i kapittel 2.2. Ved beregning av volumendringer og geodetisk massebalanse kombineres brekanten for begge årene i beregningsperioden. Brefeltet for perioden 1959-1997 vil da omslutte brekanten for begge årene. Alle områder som er definert som fjell i begge årene og som ligger innenfor brekanten, er maskert ut. På samme måte defineres brefeltene for de to andre periodene 1997-2007 og 2007-2013. For 2013 er brekanten noe ufullstendig på Nordre og Midtre. Ved beregning av volumendringer og geodetisk massebalanse er brekanten skjønnsmessig bestemt (fig. 15 og 16).

3.1.2 Korreksjon for høydefeil i DTM

Kvalitetskontrollen i kapittel 2.1.5 viser at DTM'ene fra 1959 og 1997 er hhv. 1,3 og 1,0 m for høy. Ved beregning av geodetisk massebalanse er denne høydefeilen korrigert for ved å multiplisere høydefeilen med midlere tetthet:
$DTM_{korr.}$=$høydefeil_{år}$*middeltetthet (tab. 11).

3.1.3 Tetthet

For å konvertere fra volumendring til geodetisk massebalanse er det nødvendig å bestemme tettheten til den snø-, firn- og ismassen som er endret i perioden. Dersom volumendringen er liten kan man anta at tetthetsprofilet er nærmest uendret. I slike tilfeller er det vanlig å bruke tettheten til is, 917 kg m^{-3} (Paterson, 1994) i konverteringen. Denne antagelsen er imidlertid gyldig kun ved små volumendringer og betraktes som en maksimumsverdi av tettheten. Som en minimumsverdi er det antatt en tetthet på 800 kg m^{-3} (Zemp et al., 2010). Ut fra dette er det her valgt å bruke gjennomsnittet av 917 og 800 (860 kg m^{-3}) for å konvertere fra volumendring til vannekvivalent.

3.1.4 Korreksjon for ulike datoer

Datoen for kartleggingen sammenfaller sjelden med datoen for de avsluttende minimumsmålingene på høsten (massebalanseårets slutt). Ved beregning av geodetisk massebalanse er det nødvendig å foreta en korrigering for eventuell smelting i perioden mellom kartlegging og minimumsmåling, og for eventuell nysnø som har kommet på kartleggingstidspunktet. For brefeltene på Folgefonna er smeltingen korrigert ved hjelp av temperaturdata fra den meteorologiske stasjonen Sauda. Denne stasjonen ble valgt fordi det er nærmeste stasjonen med data så langt tilbake som 1959. Korreksjoner for 2007 ble beregnet først ettersom det finnes massebalansedata fra Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea for dette året. Trenden fra 2007 er så brukt ved beregning av korreksjoner for årene 1997 og 1959. Ettersom det ikke ble målt massebalanse i denne perioden er dato for avsluttet smelting satt til 30. september for både 1959 og 1997. For 2013 er tidsforskjellen mellom kartlegging og minimumsmåling bare fire dager og korreksjonen er lik null. Datoer for minimumsmåling og kartlegging, og de samsvarende korreksjoner er vist i tabell 10.

Tabell 10
Dato for kartlegging og minimumsmåling, samt korreksjoner for de enkelte brefeltene for årene 1959, 1997, 2007 og 2013.

År	Dato		Korreksjon (m v.ekv.)						
	kartlegging	min. måling	kategori	Nordre	Midtre	Blådal	Gråfjell	Breidabl.	Bondhus
1959	10. august	*	smelting	-1.07	-1.51	-1.31	-1.02	-1.12	-0.81
1997	7. august	*	smelting	-1.56	-2.33	-2.09	-1.60	-1.72	-1.17
2007	22. august	27. september	smelting	-0.20	-0.37	-0.33	-0.22	-0.24	-0.10
2013	20. september	24. september	smelting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
*Ingen målinger. Smelting beregnet til 1. oktober.									

3.1.5 Områder uten datadekning

For alle fire kartleggingsårene finnes det større eller mindre områder uten datadekning. Ved beregning av volumendringer og geodetisk massebalanse er disse områdene maskert bort og arealet tilsvarende redusert.

3.2 Resultater

Volumendringer og geodetisk massebalanse er beregnet for de samme brefeltene som er beskrevet i kapittel 2.2.

3.2.1 1959-1997

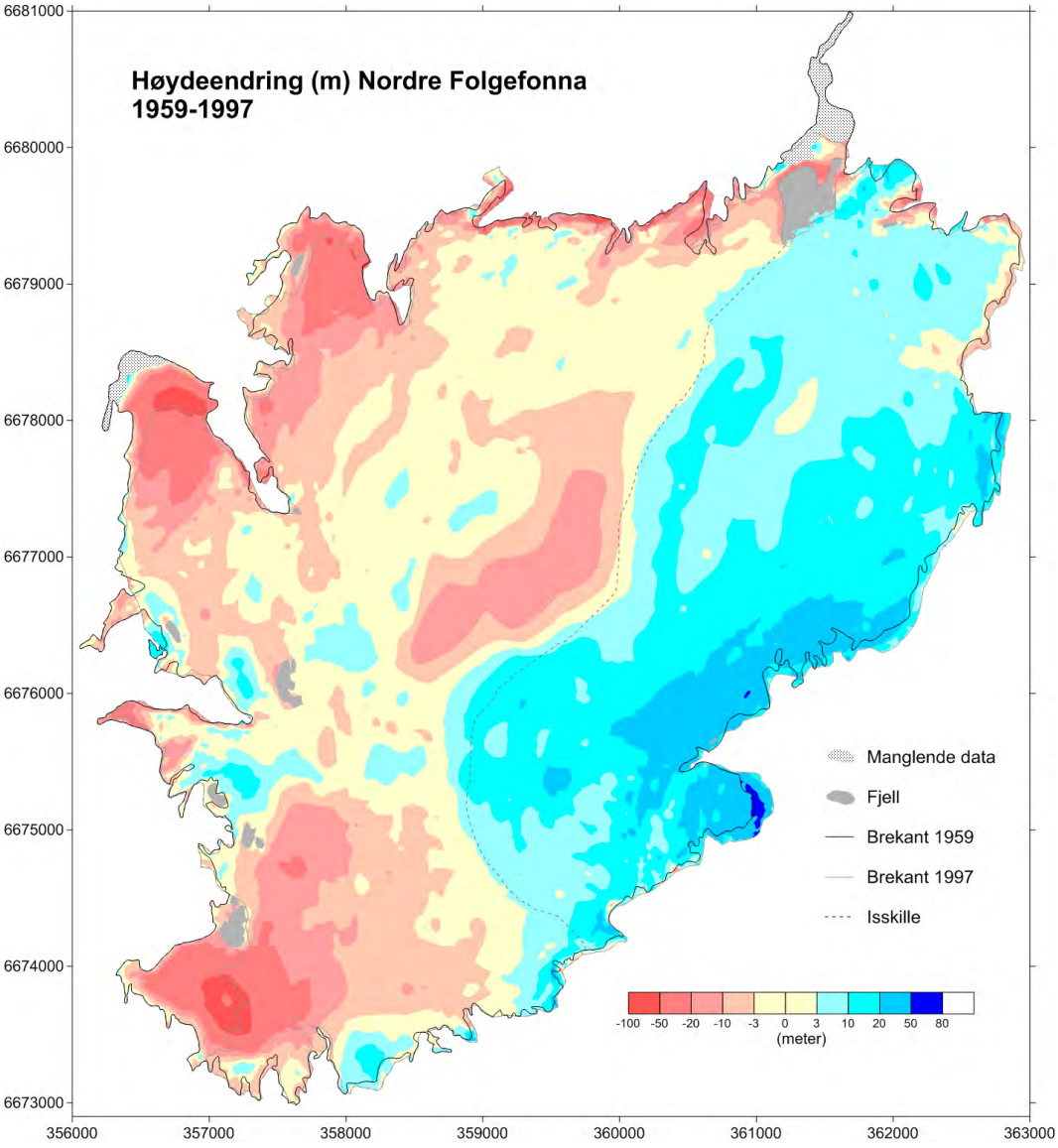
Analysen viser en negativ volumendring i perioden fra 1959 til 1997 for alle brefeltene som ligger innenfor Statkrafts reguleringsområde.

For Nordre Folgefonna er det store forskjeller mellom brefeltene som drenerer hhv. vestover og østover (fig. 11). I hovedtrekk har istykkelsen minket på det vestvendte brefeltet, mens den har økt på det østvendte brefeltet. I perioden 1959-1997 har det vestvendte brefeltet som ligger innenfor Statkrafts reguleringsområde på Nordre Folgefonna hatt et volumtap på 5,8 m vannekvivalenter (tab. 11). Det gir en årlig balanse på −0,15 m v.ekv.

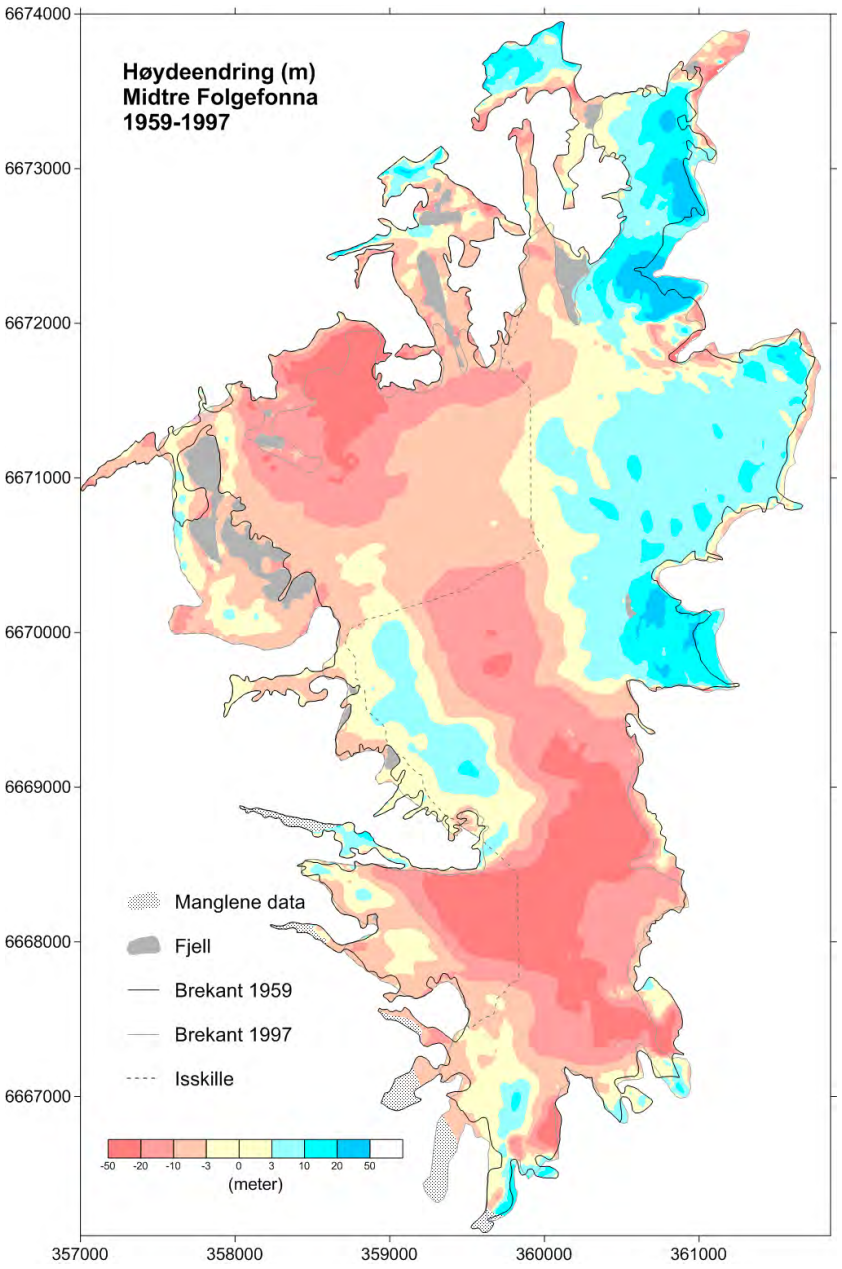
For Midtre Folgefonna er det også store forskjeller mellom det østvendte og vestvendte brefeltet (fig. 12). Over mesteparten av brefeltet som drenerer vestover har istykkelsen minket. På det østvendte brefeltet har istykkelsen økt i nord og minket i sør. I perioden

1959-1997 har det vestvendte brefeltet på Midtre Folgefonna hatt et volumtap på 10,7 m v.ekv. (tab. 11). Årlig balanse blir da −0,28 m v.ekv.

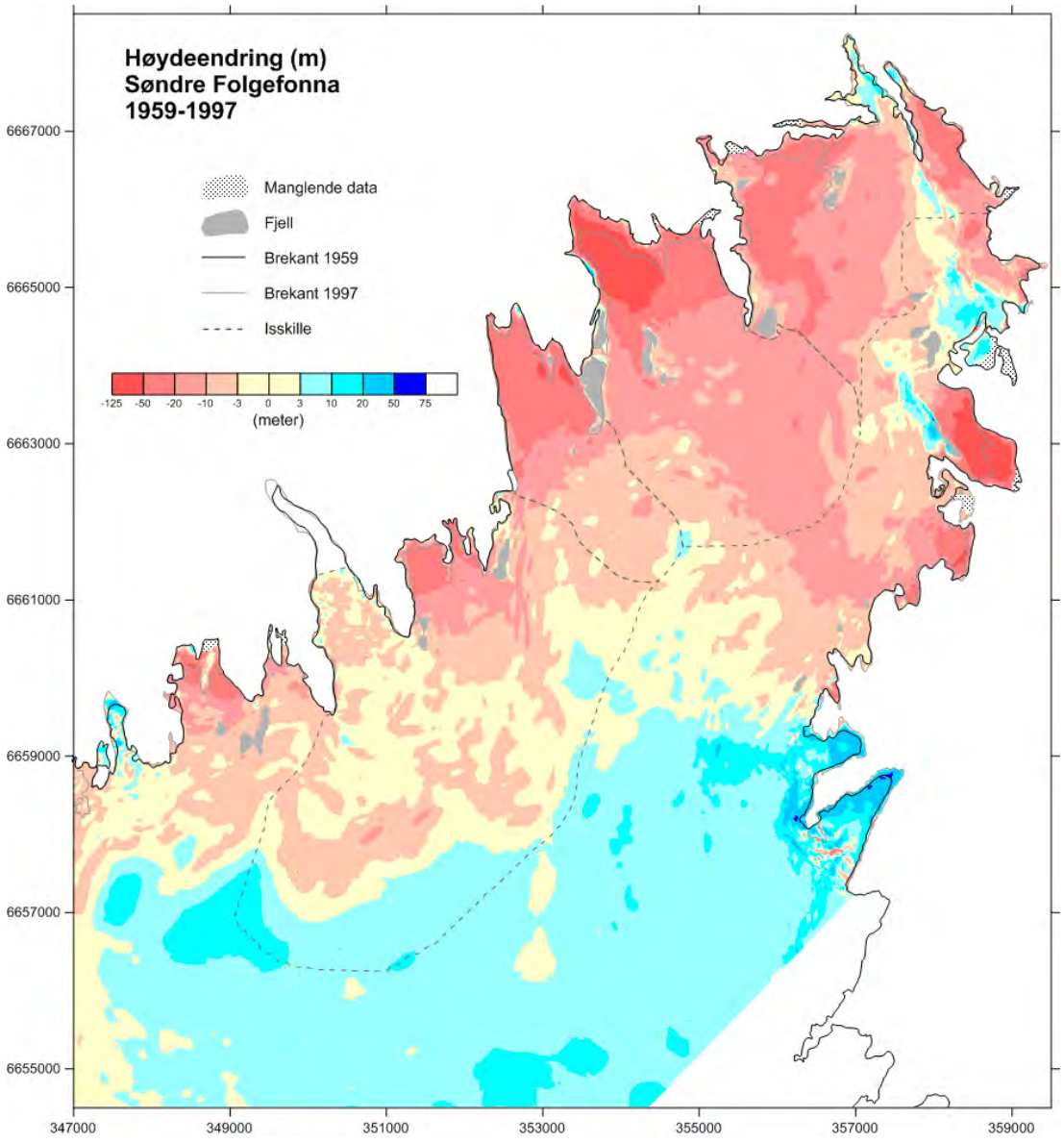
For Søndre Folgefonna viser analysen først og fremst forskjeller mellom de nordlige og de sørlige brefeltene (fig. 13). På de nordlige brefeltene har istykkelsen stort sett minket, mens det i sør er store områder der istykkelsen enten har økt eller er uendret. For brefeltene som drenerer vestover er det overveiende minking av bretykkelsen. I perioden 1959-1997 har de vestlige brefeltene på Søndre Folgefonna hatt volumtap på hhv. 14,9 m (Blådal), 17,5 m (Gråfjellsbrea), 15,3 m (Breidablikkbrea) og 2,1 m (Bondhus) vannekvivalenter (tab. 11). Årlig balanse blir da hhv. −0,39 m, −0,46 m, −0,40 m og −0,05 m v.ekv. For brefeltet Bondhus kan det bemerkes at nedre del av bretunga på Bondhusbrea ligger utenfor reguleringsområdet og er derfor ikke tatt med i beregningene.



Figur 11
Endringer av istykkelse på Nordre Folgefonna fra 10. august 1959 til 7. august 1997. Røde farger viser områder med signifikant minking av istykkelsen, mens blå farger betyr økning av istykkelsen.



Figur 12
Endringer av istykkelse på Midtre Folgefonna fra 10. august 1959 til 7. august 1997. Røde farger viser områder med signifikant minking av istykkelsen, mens blå farger betyr økning av istykkelsen.

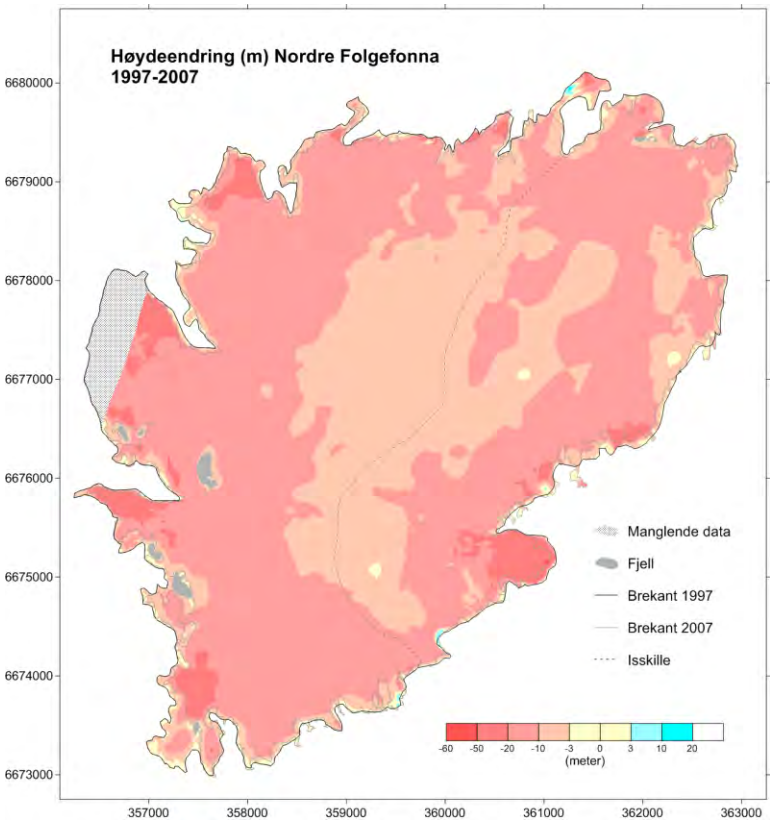


Figur 13
Endringer av istykkelse på Søndre Folgefonna fra 10. august 1959 til 7. august 1997. Røde farger viser områder med signifikant minking av istykkelsen, mens blå farger betyr økning av istykkelsen.

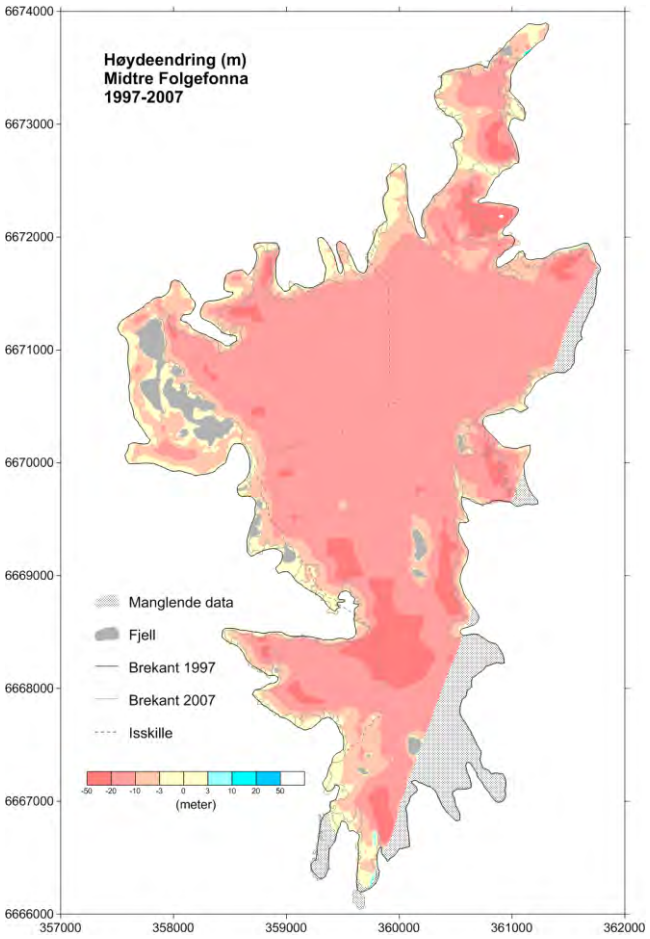
3.2.2 1997-2007

Analysen viser en negativ volumendring i perioden fra 1997 til 2007 for både Nordre, Midtre og Søndre Folgefonna (fig. 14, 15 og 16).

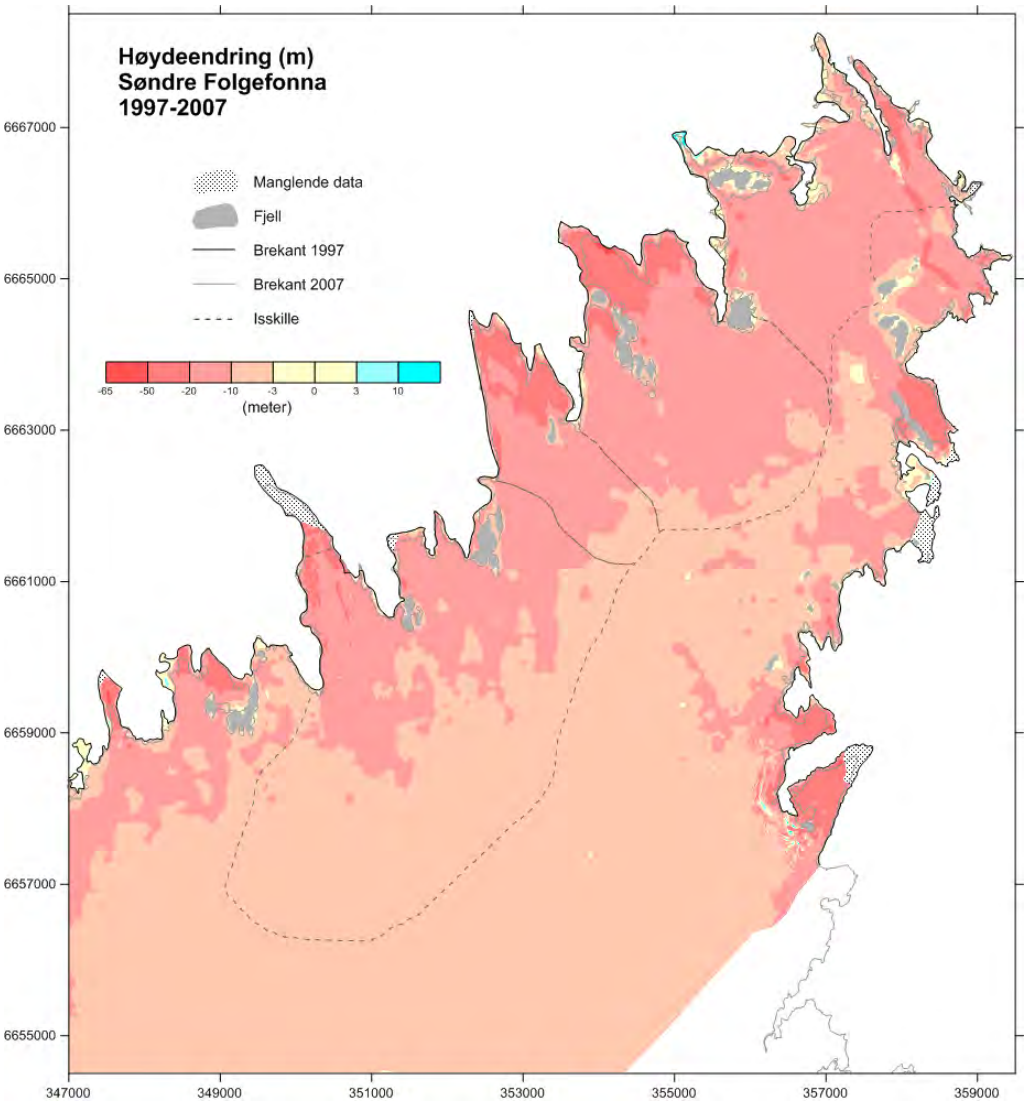
Alle de seks brefeltene som ligger innenfor reguleringsområdet til Statkraft viser store volumtap for 10-års perioden fra 1997 til 2007. De tre nordligste feltene på Søndre Folgefonna; Blådal, Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea har hatt størst tap med hhv. 9,1 m, 10,8 m og 10,9 m v.ekv. (tab. 11). Nordre og Midtre har minket omtrent like mye med hhv. 8,9 m og 8,5 m v.ekv., mens Bondhus har hatt minst tap med 6,5 m v.ekv. Årlig balanse for perioden 1997-2007 blir da −0,91 m (Blådal), −1,08 m (Gråfjellsbrea), −1,09 m (Breidablikkbrea), −0,64 m (Bondhus), −0,89 m (Nordre) og −0,85 m (Midtre) v.ekv.



Figur 14
Endringer av istykkelse på Nordre Folgefonna fra 7. august 1997 til 21. august 2007. Istykkelsen har minket over hele breen.



Figur 15
Endringer av istykkelse på Midtre Folgefonna fra 7. august 1997 til 21. august 2007. Istykkelsen har minket over hele breen.

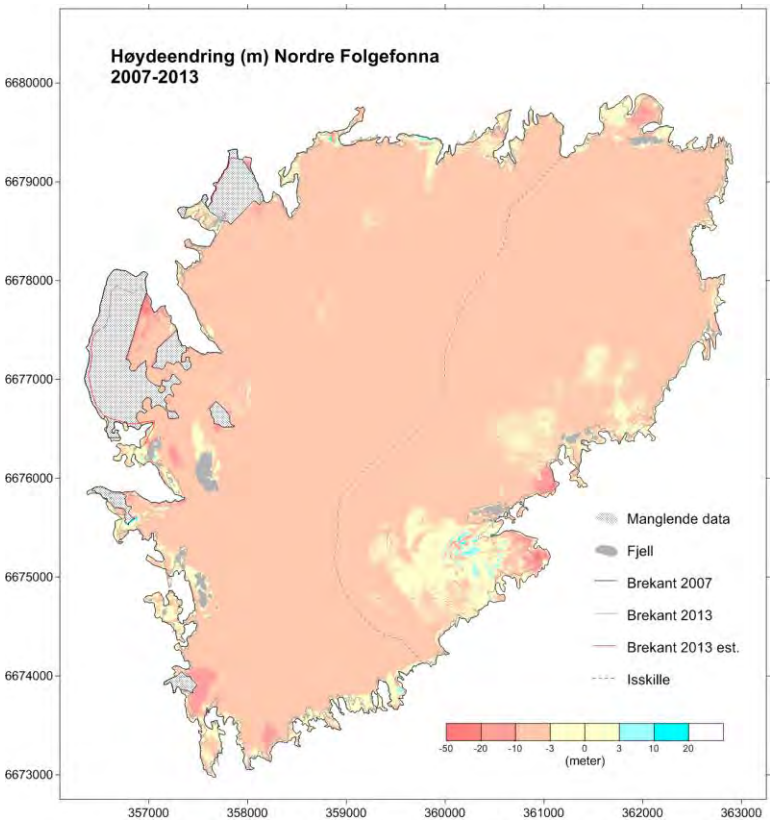


Figur 16
Endringer av istykkelse på Søndre Folgefonna fra 7. august 1997 til 21. august 2007. Istykkelsen har minket over hele breen.

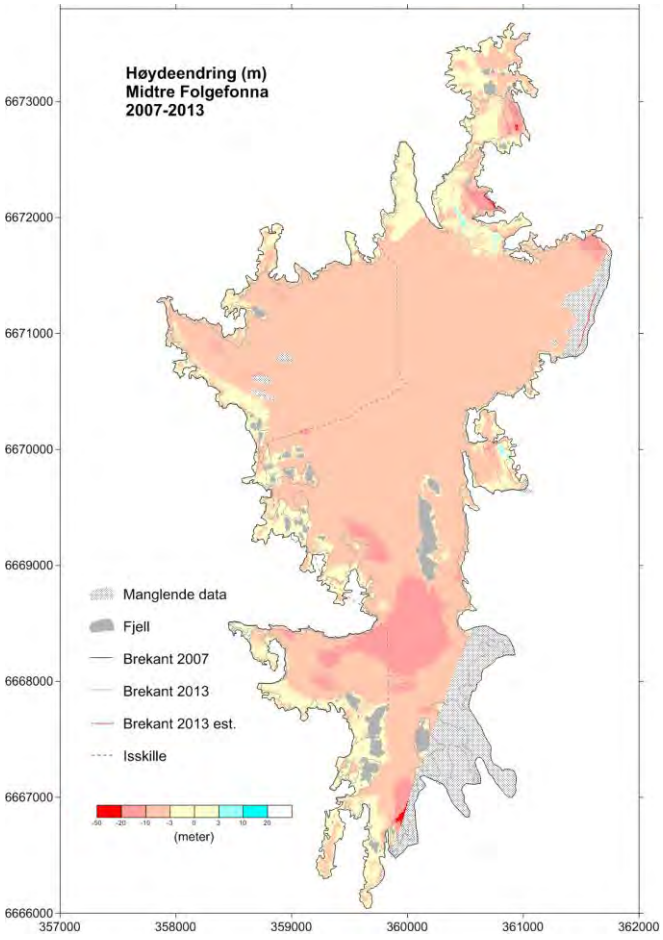
3.2.3 2007-2013

Analysen viser en negativ volumendring i perioden fra 2007 til 2013 for både Nordre, Midtre og Søndre Folgefonna (fig. 17, 18 og 19).

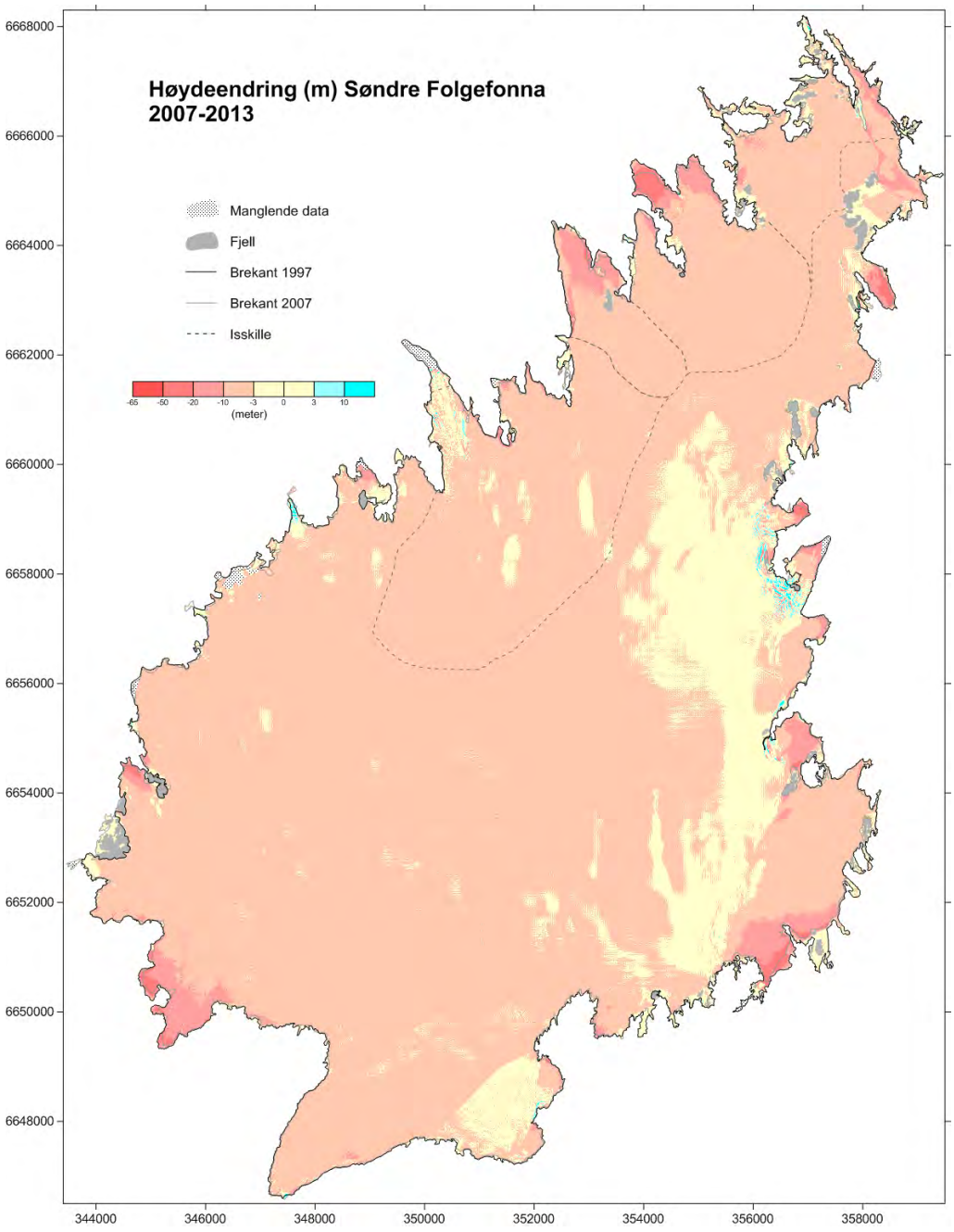
Alle de seks brefeltene som ligger innenfor reguleringsområdet til Statkraft viser store volumtap også for den siste perioden fra 2007 til 2013. I likhet med perioden 1997-2007 er det de tre nordligste feltene på Søndre Folgefonna, Blådal, Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea, som har hatt størst volumtap med hhv. 5,7 m, 5,9 m og 6,5 m v.ekv. (tab. 11). For Nordre, Midtre og Bondhus har volumtapet vært hhv. 4,4 m, 5,2 m og 3,7 m v.ekv. Årlig massebalanse for perioden 2007-2013 blir da −0,95 m (Blådal), −0,98 m (Gråfjellsbrea), −1,08 m (Breidablikkbrea), −0,61 m (Bondhus), −0,73 m (Nordre) og −0,87 m (Midtre) v.ekv.



Figur 17
Endringer av istykkelse på Nordre Folgefonna fra 21. august 2007 til 20. september 2013. Istykkelsen har minket over nesten hele breen.



Figur 18
Endringer av istykkelse på Midtre Folgefonna fra 21. august 2007 til 20. september 2013. Istykkelsen har minket over hele breen.



Figur 19
Endringer av istykkelse på Søndre Folgefonna fra 21. august 2007 til 20. september 2013. Istykkelsen har minket over nesten hele breen.

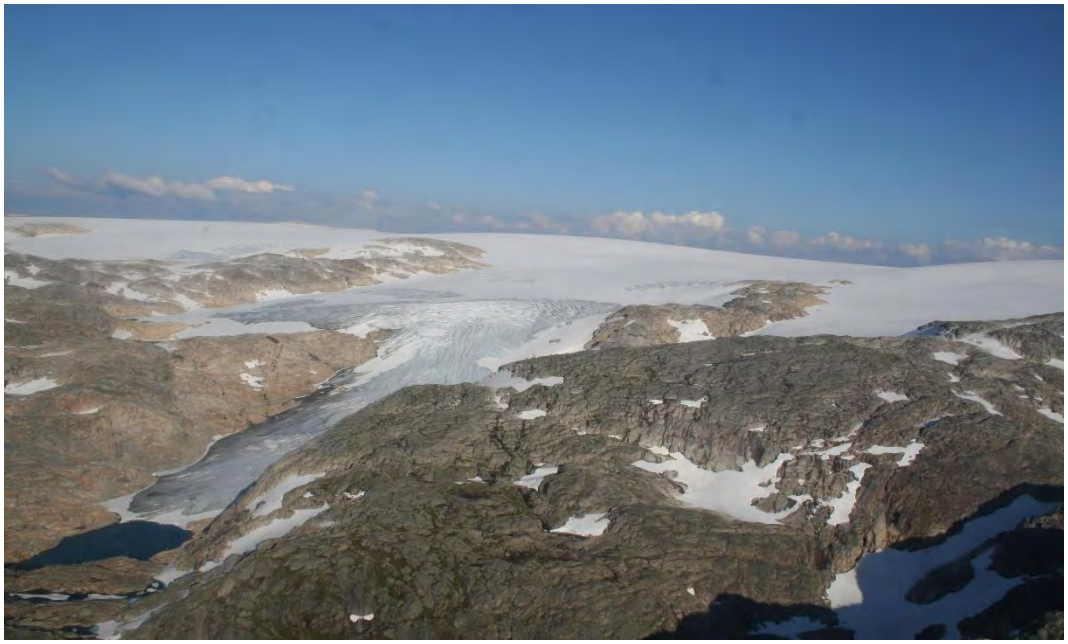
Tabell 11
Volumendringer og geodetisk massebalanse for brefeltene Nordre, Midtre, Blådal, Gråfjell, Breidablikk og Bondhus i periodene 1959-97, 1997-2007 og 2007-13. Ingen av kartleggingene dekker hele Folgefonna fullstendig. Ved beregning av volumendringer og geodetisk massebalanse er alle områder uten datadekning maskert bort og arealet tilsvarende redusert.

Brefelt	$Areal_{årI}$	$Areal_{årII}$	Arealred.	Volum	Tetthet	Dato korr. (m v.ekv.)		DTM korr. (m v.ekv.)		Geod. mb. (m v.ekv.)	
Periode	(km^2)	(km^2)	(km^2)	(mill. m^3)	(kg m^{-3})	$år_I$	$år_{II}$	$år_I$	$år_{II}$	akkumulert	årlig
Nordre											
1959-1997	18,02	16,98	0,23	-112	860	-1,07	-1,56	-1,12	-0,86	-5,83	-0,15
1997-2007	16,98	15,80	0,53	-204	860	-1,56	-0,20	-0,86	0,00	-8,86	-0,89
2007-2013	15,80	14,89	1,23	-76	860	-0,20	0,00	0,00	0,00	-4,40	-0,73
1959-2013										-19,1	-0,35
Midtre											
1959-1997	4,64	4,23	0,18	-50	860	-1,51	-2,33	-1,12	-0,86	-10,67	-0,28
1997-2007	4,23	3,08	0,00	-48	860	-2,33	-0,37	-0,86	0,00	-8,48	-0,85
2007-2013	3,08	2,62	0,03	-18	860	-0,37	0,00	0,00	0,00	-5,23	-0,87
1959-2013										-24,4	-0,45
Blådal											
1959-1997	7,11	6,61	0,19	-111	860	-1,31	-2,09	-1,12	-0,86	-14,89	-0,39
1997-2007	6,61	5,77	0,02	-84	860	-2,09	-0,33	-0,86	0,00	-9,10	-0,91
2007-2013	5,77	4,95	0,00	-38	860	-0,33	0,00	0,00	0,00	-5,70	-0,95
1959-2013										-29,7	-0,55
Gråfjellsbrea											
1959-1997	9,69	8,88	0,03	-185	860	-1,02	-1,60	-1,12	-0,86	-17,52	-0,46
1997-2007	8,88	8,41	0,00	-131	860	-1,60	-0,22	-0,86	0,00	-10,76	-1,08
2007-2013	8,41	8,05	0,00	-58	860	-0,22	0,00	0,00	0,00	-5,88	-0,98
1959-2013										-34,2	-0,63
Breidablikkbrea											
1959-1997	3,92	3,68	0,00	-66	860	-1,12	-1,72	-1,12	-0,86	-15,32	-0,40
1997-2007	3,68	3,37	0,01	-54	860	-1,72	-0,24	-0,86	0,00	-10,89	-1,09
2007-2013	3,37	3,22	0,00	-26	860	-0,24	0,00	0,00	0,00	-6,45	-1,08
1959-2013										-32,7	-0,60
Bondhus											
1959-1997	18,46	18,18	0,00	-42	860	-0,81	-1,17	-1,12	-0,86	-2,09	-0,05
1997-2007	18,18	17,90	0,02	-176	860	-1,17	-0,10	-0,86	0,00	-6,45	-0,64
2007-2013	17,90	17,76	0,01	-78	860	-0,10	0,00	0,00	0,00	-3,67	-0,61
1959-2013										-12,2	-0,23

$Areal_{årI}$ er bredekket areal for det første året i perioden.
$Areal_{årII}$ er bredekket areal for det andre året i perioden.
Arealred. er det arealet som er maskert bort pga. manglende datadekning i ett eller begge årene i perioden.
Volum er volumendringen av is, firn og snø i den gitte perioden.
Tetthet er den tettheten som er brukt for å konvertere fra is, firn og snø til vann.
Dato korr. er korreksjon som følge av ulike datoer for kartlegging og minimumsmåling for hvert år i perioden.
DTM korr. er korreksjon pga. høydefeil i terrengmodellene for hvert år.
Geod. mb. akkumulert/årlig er hhv. den totale balansen for perioden og den midlere årlige balansen i perioden.

4 Glasiologisk massebalanse 2003-2013

Årlige massebalansemålinger på Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea (fig. 20) ble gjenopptatt høsten 2002 med utsetting av målestaker. Målingene i regi av Statkraft ble avsluttet høsten 2012. Stakenettet ble imidlertid stående, og årlig balanse (tidligere kalt nettobalanse) ble målt høsten 2013 i regi av NVE. Avløpet fra både Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea drenerer naturlig til Mysevatnet som er hovedmagasin for Mauranger kraftverk (fig. 1).



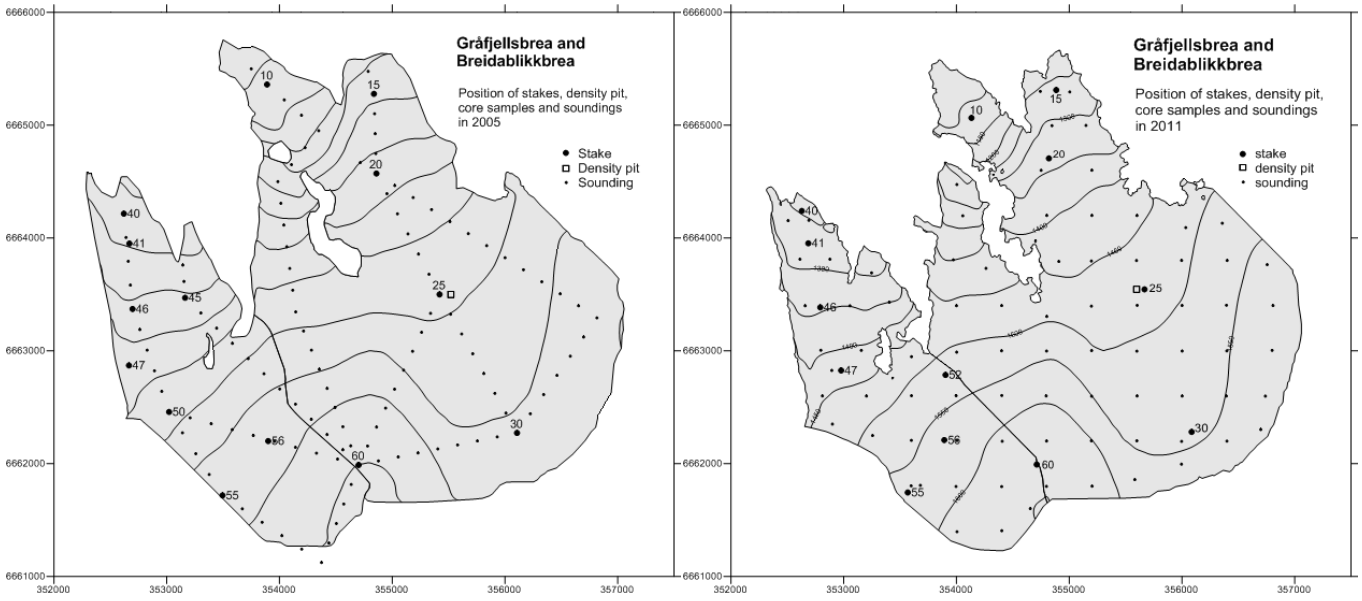
Figur 20
Massebalansen er målt på Breidablikkbrea (til høyre) og Gråfjellsbrea (til venstre) i perioden 2002-2013. Bildet er fra 9. august 2007 og fotograf er Hallgeir Elvehøy.

4.1 Datagrunnlag og metode

I hovedtrekk er feltmålinger og beregninger gjort i henhold til Østrem og Brugman (1991), og i henhold til vanlig praksis ved massebalansemålinger i Norge.

4.1.1 Måleprogram og datainnsamling

Måling av massebalansen er basert på årlige målinger av snømengder i april/mai (vinterbalansen) og av smelting av snø, is og firn i september/oktober (sommerbalansen). Differansen mellom disse to parametrene gir årlig balanse, tidligere kalt nettobalansen. Snødypet er målt i 60-100 punkt på Gråfjellsbrea og 30-50 punkt på Breidablikkbrea. Fra starten i 2003 til og med 2008 ble snødypet målt i punkt langs rette profillinjer (fig. 21). Fra 2009 ble dette profilsystemet erstattet med et rutenettsystem på 333 x 333 (2009-2011) og 400 x 400 m (2012). Stakenettet har bestått av stabilt seks staker på Gråfjellsbrea og 5-9 staker på Breidablikkbrea. Tettheten på snøen er målt i hele snøpakka ned til sommeroverflata (SO) i posisjon 25 Gråfjellsbrea (fig. 21).



Figur 21
Kartet til venstre viser målenettet for 2005 som er typisk for årene 2003-08, mens kartet til høyre viser målenettet i 2011 som er typisk for årene 2009-12.

4.1.2 Beregninger

Massebalansen er beregnet etter den såkalte stratigrafiske metoden, som beskriver balansen mellom to suksessive sommeroverflater (overflatens minimum) slik det er beskrevet i Østrem og Brugman (1991). Vinter- og sommerbalansen er beregnet ved å plotte punktmålinger (vannekvivalenter) i et diagram. Basert på middelverdier for hver 50. høydemeter og en visuell tolkning er kurver trukket. Høyder på punktmålinger og arealhøydefordelingen i tabellene var opprinnelig basert på til enhver tid tilgjengelig DTM. I ettertid er dette korrigert som beskrevet i kapittel 4.1.4.

4.1.3 Kvalitet og feilkilder

Nøyaktigheten på massebalansemålingene er avhengig av flere faktor. Nøyaktigheten av vinterbalansen er hovedsakelig påvirket av nøyaktigheten på punktmålingene (sonderinger, kjerneprøver, stakemålinger og tetthetsmålinger) og hvor representative målingene er. Variasjon av snødyp er også viktig. Representativitet og nøyaktighet av målingene er avhengig av antall målinger og påliteligheten av hver måling. Generelt blir nøyaktigheten bedre med minkende snødyp, og økende antall målepunkt.

Nøyaktigheten av sommerbalansen er avhengig av antall målestaker samt stakenes høydefordeling, representativitet og forfatning. Typiske feilkilder er staker som synker eller blir skjeve. Estimering av tettheten til gjenværende snø og av avsmeltet gammel firn vil også påvirke nøyaktigheten.

Nøyaktigheten av årlig balanse (nettobalanse) er avhengig av alle faktorene som er nevnt ovenfor.

Slik massebalansen er målt og beregnet er det vanskelig å kvantifisere nøyaktigheten på de enkelte faktorene. Bestemmelse av nøyaktigheten er derfor basert på subjektive estimater.

4.1.4 Homogenisering av måleserien

Metodikken som er brukt for å beregne massebalansen for årene 2003-2013 er i prinsippet den samme for hele perioden. For årene 2003-06 ble massebalansen beregnet og rapportert basert på DTM og isskillet fra 1997 (Kjøllmoen, 2007). En ny DTM ble konstruert fra kartleggingen i 2007, og for perioden 2007-12 ble massebalansen beregnet og rapportert basert på DTM og isskillet fra dette året (Kjøllmoen, 2013). Den nyeste DTM'en er konstruert fra kartleggingen i 2013. I periodene 1997-2007 og 2007-2013 har det skjedd betydelige endringer med breen. Den har krympet både i volum og areal, og krympingen har skjedd jevnt i begge periodene. Det betyr at beregningene for perioden 2003-10 skal baseres på DTM_{2007}, mens årene 2011-2013 skal baseres på DTM_{2013}. En homogenisering av måleserien vil dermed omfatte re-beregning av årene 2003-07 og 2011-13.

4.2 Resultater

4.2.1 Original måleserie

Massebalansen for perioden 2003-2013 er beregnet til et akkumulert underskudd på −11,1 m vannekvivalenter på Breidablikkbrea og −10,0 m v.ekv. på Gråfjellsbrea. I løpet av 11 års målinger er det målt signifikant overskudd bare to ganger, i 2007 og 2012. I 2013 er det målt kun årlig balanse. Gjennomsnittlig vinter- (b_v), sommer- (b_s) og årlig balanse (b_a) for 2003-12 er 2,41 (b_v), −3,41 (b_s) og −1,01 (b_a) (2003-13) m v.ekv. for Breidablikkbrea og 2,34 (b_v), −3,23 (b_s) og −0,91 (b_a) (2003-13) m v.ekv. for Gråfjellsbrea.

4.2.2 Homogenisert måleserie

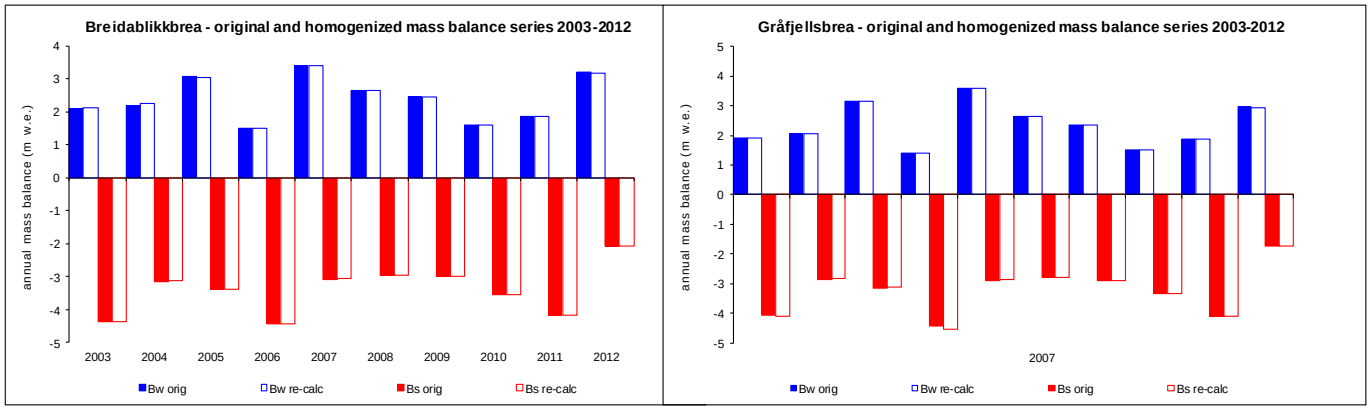
En homogen måleserie for perioden 2003-13 er oppnådd ved re-beregning av årene 2003-07 og 2011-13 (tab. 12 og fig. 21). Alle punktmålinger av snødyp og staker er gitt høyder fra gyldig DTM. De årlige tabellene som viser høydefordelt massebalanse er også endret slik at høydefordelingen samsvarer med gjeldende DTM. Homogenisert massebalanse-serie for hele måleperioden 2003-2013 er vist i tabell 12 og figur 22.

Tabell 12
Original og homogenisert massebalanseserier for Breidablikkbrea (øverst) og Gråfjellsbrea (nederst) i perioden 2003-2013.

	Original mass balance series								Homogenized mass balance series							
Year	B_w	B_s	B_a	ΣB_a	ELA	AAR	DEM	Area	B_w	B_s	B_a	ΣB_a	ELA	AAR	*DEM	Area
2003	2,08	-4,35	-2,27	-2,27	>1659	0	1997	3,61	2,12	-4,38	-2,26	-2,26	>1651	0	2007	3,37
2004	2,21	-3,16	-0,95	-3,22	1605	17	1997	3,61	2,25	-3,12	-0,87	-3,13	1595	19	2007	3,37
2005	3,09	-3,37	-0,28	-3,50	1500	48	1997	3,61	3,04	-3,37	-0,33	-3,45	1510	45	2007	3,37
2006	1,49	-4,43	-2,94	-6,44	>1659	0	1997	3,61	1,49	-4,44	-2,95	-6,40	>1651	0	2007	3,37
2007	3,41	-3,10	0,31	-6,13	1420	66	1997	3,61	3,42	-3,07	0,36	-6,05	1410	68	2007	3,37
2008	2,66	-2,96	-0,30	-6,43	1515	44	2007	3,37	2,66	-2,96	-0,30	-6,34	1515	44	2007	3,37
2009	2,47	-2,98	-0,52	-6,94	1565	30	2007	3,37	2,47	-2,98	-0,52	-6,86	1565	30	2007	3,37
2010	1,60	-3,53	-1,94	-8,88	>1651	0	2007	3,37	1,60	-3,53	-1,94	-8,80	>1651	0	2007	3,37
2011	1,87	-4,16	-2,29	-11,17	>1651	0	2007	3,37	1,88	-4,16	-2,28	-11,08	>1648	0	2013	3,22
2012	3,21	-2,06	1,15	-10,02	1295	92	2007	3,37	3,19	-2,06	1,13	-9,95	1290	90	2013	3,22
2013			-1,11	-11,13	>1651	0	2007	3,37			-1,11	-11,06	>1648	0	2013	3,22

	Original mass balance series								Homogenized mass balance series							
Year	Bw	Bs	Ba	ΣBa	ELA	AAR	DEM	Area	Bw	Bs	Ba	ΣBa	ELA	AAR	*DEM	Area
2003	1,90	-4,07	-2,17	-2,17	>1659	0	1997	8,94	1,91	-4,09	-2,18	-2,18	>1651	0	2007	8,41
2004	2,04	-2,85	-0,81	-2,98	1565	24	1997	8,94	2,05	-2,82	-0,76	-2,95	1565	19	2007	8,41
2005	3,16	-3,15	0,01	-2,97	1460	67	1997	8,94	3,15	-3,13	0,02	-2,93	1460	67	2007	8,41
2006	1,40	-4,44	-3,04	-6,01	>1659	0	1997	8,94	1,40	-4,55	-3,15	-6,07	>1651	0	2007	8,41
2007	3,58	-2,90	0,68	-5,33	1390	79	1997	8,94	3,60	-2,85	0,75	-5,32	1395	80	2007	8,41
2008	2,66	-2,80	-0,14	-5,47	1490	56	2007	8,41	2,66	-2,80	-0,14	-5,46	1490	56	2007	8,41
2009	2,34	-2,88	-0,54	-6,01	1540	31	2007	8,41	2,34	-2,88	-0,54	-6,00	1540	31	2007	8,41
2010	1,51	-3,35	-1,84	-7,85	>1651	0	2007	8,41	1,51	-3,35	-1,84	-7,84	>1651	0	2007	8,41
2011	1,87	-4,11	-2,24	-10,09	>1651	0	2007	8,41	1,89	-4,09	-2,20	-10,05	>1647	0	2013	8,05
2012	2,97	-1,74	1,23	-8,86	1300	90	2007	8,41	2,94	-1,73	1,21	-8,84	1280	93	2013	8,05
2013			-1,17	-10,03	>1651	0	2007	8,41			-1,15	-9,99	>1647	0	2013	8,05

*The ice divide from 2007 is used for all DEMs.



Figur 22
Homogeniserte massebalanseserier for Breidablikkbrea (venstre) og Gråfjellsbrea (høyre) i perioden 2003-2012.

Som tabell 12 og figur 22 viser utgjør re-beregningen av årene 2003-07 og 2011-13 liten forskjell i massebalansen. Verken vinter- eller sommerbalansen blir nevneverdig endret. Den totale nettobalansen for hele måleperioden ble endret mindre enn 0,1 m v.ekv. for begge brefeltene.

4.2.3 Kvalitet og feilkilder

Generelle feilkilder ved massebalansemålinger er beskrevet i kapittel 4.1.3. Å bestemme den konkrete nøyaktigheten av målingene på Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea er vanskelig, om ikke umulig. Noen faktorer bør likevel nevnes.

I løpet av årene 2003-12 er det stort sett målt 3-5 m snø med et gjennomsnitt på 4,7 m på de to breene. Sonderingsforholdene har stort sett vært gode med lett påviselig

sommeroverflate. I enkelte år har det imidlertid vært litt vanskelig å bestemme snødypet i noen områder øverst på breen. Det har også vært til dels store variasjoner i målte snødyp, spesielt på Breidablikkbrea. Om variasjonene er reelle, eller skyldes målefeil er usikkert. Enkeltmålinger som har framstått som tydelige avvik fra de andre målingene er utelatt fra beregningene. Overgangen fra snødyp målt langs rette profillinjer til målinger i et rutenett burde ikke påvirke resultatet vesentlig. Begge målesystemene ivaretok at det ble gjort målinger over hele brefeltet og at antall målepunkt var omtrent likt.

Smeltingen har vært målt på seks staker på Gråfjellsbrea og 5-9 staker på Breidablikk-brea. Vanligvis er det god sammenheng mellom smelting og høyde over havet, minkende smelting med økende høyde. I grove trekk finner vi igjen denne sammenhengen også på disse to brefeltene. Måleresultatene viser imidlertid større eller mindre avvik på minst én stake i hvert eneste år. Om disse avvikene er reelle, eller skyldes målefeil er ikke verifisert. Enkeltstaker som viser store avvik fra de andre stakene er utelatt fra beregningene. Tettheten til gjenværende snø er ikke målt. Målinger fra fire år på Nigards-breen viste at tettheten varierte fra 561 til 635 kg m^{-3} med middel på 594 kg m^{-3}. Et estimat på tettheten til gjenværende snø på 600 kg m^{-3} er derfor antatt å være nøyaktig nok. I år med stor avsmelting kan flere år gammel firn smelte bort. Tettheten til denne firnen er vanskelig å estimere. I beregningene er det antatt en tetthetsøkning på 0,05 kg m^{-3} per år. Det betyr at avsmeltet ett år gammel firn er gitt en tetthet på 650 kg m^{-3}, to år gammel firn 700 kg m^{-3} osv.

4.2.4 Sammenligning av glasiologisk og geodetisk massebalanse

Glasiologisk og geodetisk massebalanse for brefeltene Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea er sammenlignet for perioden 2007-2013. Begge metodene gir resultater som viser negativ massebalanse for begge brefeltene (tab. 13). Glasiologisk massebalanse ble −4,7 m v.ekv. for Gråfjellsbrea og −5,0 m v.ekv. for Breidablikkbrea. Tilsvarende tall for geodetisk massebalanse ble −5,9 m og −6,5 m v.ekv.

Tabell 13
Glasiologisk og geodetisk massebalanse for Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea for perioden fra høsten 2007 til høsten 2013.

Brefelt	Massebalanse		Diff. glas. – geod.	
2007-2013	Glas.	Geod.	Akkum.	Årlig
Gråfjellsbrea	-4,67	-5,88	1,22	0,20
Breidablikkbrea	-5,02	-6,45	1,43	0,24

Sammenligningen av glasiologisk og geodetisk massebalanse for perioden 2007-2013 gir en midlere årlig forskjell på 0,20 m v.ekv. for Gråfjellsbrea og 0,24 m for Breidablikkbrea. Når forskjellen er større enn 0,20 m per år er det anbefalt å foreta en kalibrering og korrigering av måleserien (Zemp et al., 2010). Massebalanseseriene for både Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea er derfor kalibrert og korrigert.

4.2.5 Kalibrering og korrigering av glasiologisk massebalanse

Glasiologisk massebalanse er målt i perioden 2003-2013, mens sammenligningsperioden med geodetisk massebalanse, også kalt kalibreringsperioden, er 2007-2013. Med unntak av overgangen fra profilsystem til rutenettsystem av snødypmålinger i 2009, er metodikk og omfang homogen for hele måleperioden. Det er antatt at endringen av målesystemet i 2009 ikke har vesentlig innvirkning på resultatene. Det er derfor grunn til å anta at

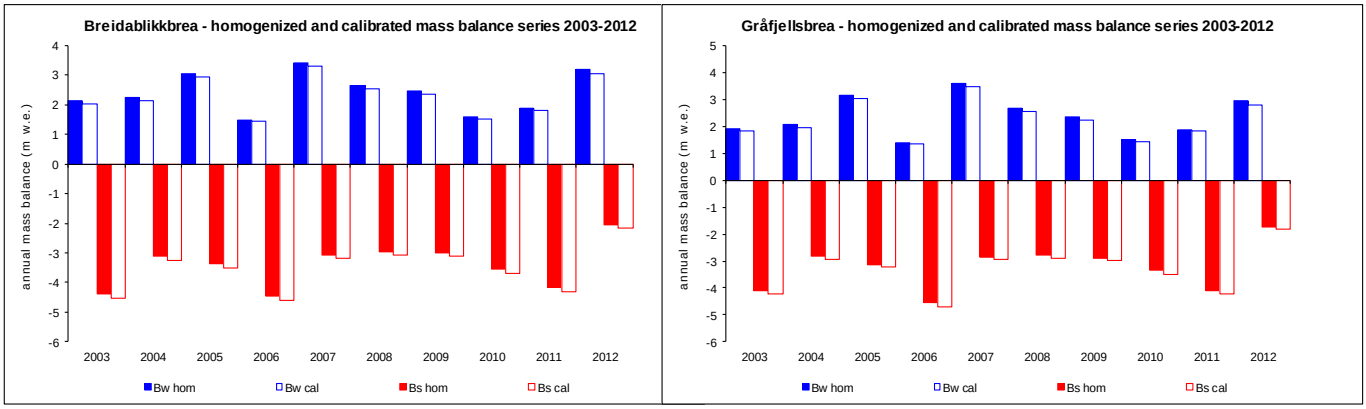
forskjellen mellom glasiologisk og geodetisk massebalanse i kalibreringsperioden 2007-2013 også er den samme for årene 2003-2007. Dermed er den glasiologiske massebalanseserien korrigert for hele måleperioden 2003-2013.

Den årlige balansen er korrigert med −0,20 m v.ekv. for Gråfjellsbrea og −0,24 m for Breidablikkbrea. Om avvikene skyldes overestimering av vinterbalansen eller underestimering av sommerbalansen er ikke kjent. Det er derfor valgt å gjøre korreksjoner på både vinter- og sommerbalansen. Fordelingen (vinter versus sommer) av de årlige korreksjonene kan gjøres på ulike måter. Her er korreksjonene bestemt i forhold til størrelsen av balanseverdiene, altså jo større balanseverdi, jo større korreksjon. Korrigerte massebalanseserier er vist i tabell 14 og figur 23.

Tabell 14
Homogeniserte og korrigerte massebalanseserier for Breidablikkbrea (øverst) og Gråfjellsbrea (nederst) for perioden 2003-2013.

Homogenized mass balance series									Corrected mass balance series							
Year	B_w	B_s	B_a	ΣB_a	ELA	AAR	DEM	Area	B_w	B_s	B_a	ΣB_a	ELA	AAR	*DEM	Area
2003	2,12	-4,38	-2,26	-2,26	>1651	0	2007	3,37	2,05	-4,54	-2,50	-2,50	>1651	0	2007	3,37
2004	2,25	-3,12	-0,87	-3,13	1595	19	2007	3,37	2,15	-3,26	-1,11	-3,60	1630	7	2007	3,37
2005	3,04	-3,37	-0,33	-3,45	1510	45	2007	3,37	2,93	-3,50	-0,57	-4,17	1545	37	2007	3,37
2006	1,49	-4,44	-2,95	-6,40	>1651	0	2007	3,37	1,43	-4,62	-3,19	-7,36	>1651	0	2007	3,37
2007	3,42	-3,07	0,36	-6,05	1410	68	2007	3,37	3,30	-3,18	0,12	-7,24	1445	61	2007	3,37
2008	2,66	-2,96	-0,30	-6,34	1515	44	2007	3,37	2,55	-3,09	-0,54	-7,77	1550	36	2007	3,37
2009	2,47	-2,98	-0,52	-6,86	1565	30	2007	3,37	2,36	-3,11	-0,76	-8,53	1630	7	2007	3,37
2010	1,60	-3,53	-1,94	-8,80	>1651	0	2007	3,37	1,52	-3,70	-2,18	-10,71	>1651	0	2007	3,37
2011	1,88	-4,16	-2,28	-11,08	>1648	0	2013	3,22	1,80	-4,32	-2,52	-13,23	>1648	0	2013	3,22
2012	3,19	-2,06	1,13	-9,95	1290	90	2013	3,22	3,05	-2,16	0,89	-12,34	1310	86	2013	3,22
2013			-1,11	-11,06	>1648	0	2013	3,22			-1,35	-13,69	>1648	0	2013	3,22
Homogenized mass balance series									Corrected mass balance series							
Year	Bw	Bs	Ba	∑Ba	ELA	AAR	DEM	Area	Bw	Bs	Ba	∑Ba	ELA	AAR	*DEM	Area
2003	1,91	-4,09	-2,18	-2,18	>1651	0	2007	8,41	1,84	-4,23	-2,38	-2,38	>1651	0	2007	8,41
2004	2,05	-2,82	-0,76	-2,95	1565	19	2007	8,41	1,97	-2,94	-0,97	-3,35	1605	5	2007	8,41
2005	3,15	-3,13	0,02	-2,93	1460	67	2007	8,41	3,05	-3,23	-0,19	-3,54	1480	60	2007	8,41
2006	1,40	-4,55	-3,15	-6,07	>1651	0	2007	8,41	1,35	-4,70	-3,35	-6,89	>1651	0	2007	8,41
2007	3,60	-2,85	0,75	-5,32	1395	80	2007	8,41	3,49	-2,94	0,55	-6,34	1410	78	2007	8,41
2008	2,66	-2,80	-0,14	-5,46	1490	56	2007	8,41	2,56	-2,90	-0,34	-6,68	1505	49	2007	8,41
2009	2,34	-2,88	-0,54	-6,00	1540	31	2007	8,41	2,25	-2,99	-0,74	-7,42	1580	13	2007	8,41
2010	1,51	-3,35	-1,84	-7,84	>1651	0	2007	8,41	1,45	-3,49	-2,04	-9,47	>1651	0	2007	8,41
2011	1,89	-4,09	-2,20	-10,05	>1647	0	2013	8,05	1,82	-4,23	-2,41	-11,87	>1647	0	2013	8,05
2012	2,94	-1,73	1,21	-8,84	1280	93	2013	8,05	2,81	-1,80	1,01	-10,87	1315	88	2013	8,05
2013			-1,15	-9,99	>1647	0	2013	8,05			-1,35	-12,22	>1647	0	2013	8,05

*The ice divide from 2007 is used for all DEMs.



Figur 23
Homogeniserte og korrigerte massebalanseserier for Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea for perioden 2003-2012.

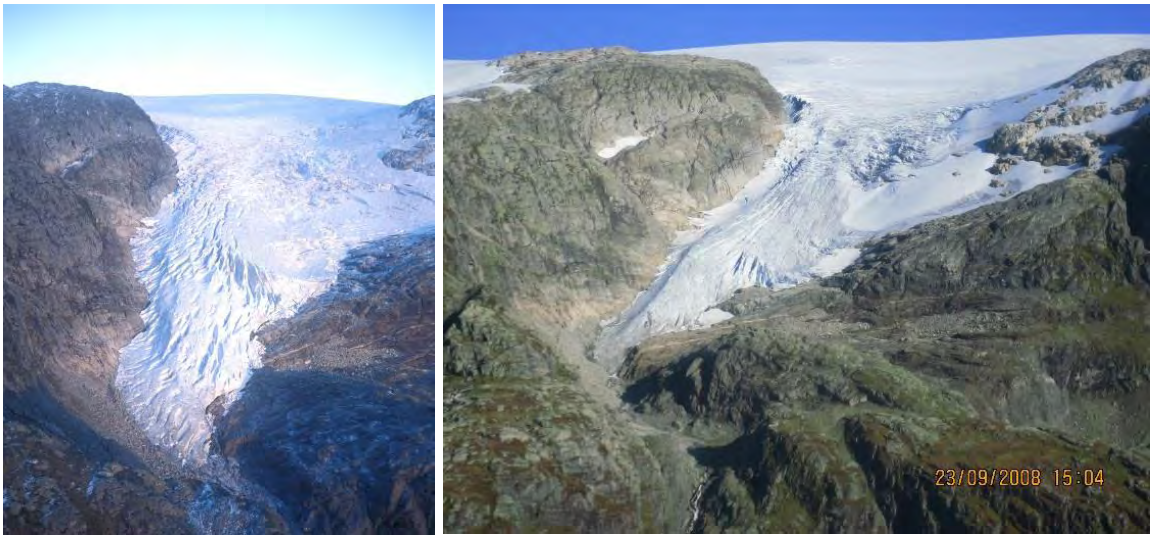
5 Frontendringer

Frontendringer er målt på Botnabrea på Nordre Folgefonna, og på Bondhusbrea, Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea på Søndre Folgefonna (fig. 1).

Årlige endringer av brefrontens posisjon utføres ved lengdemålinger fra faste punkt (varder, fastmerker el.) i faste retninger mot brefronten. For at målingene skal være sammenlignbare, utføres de alltid om høsten. Resultatene av frontmålingene er satt sammen med endringer i lengde fra kartlagte brefronter i figur 32.

5.1 Botnabrea

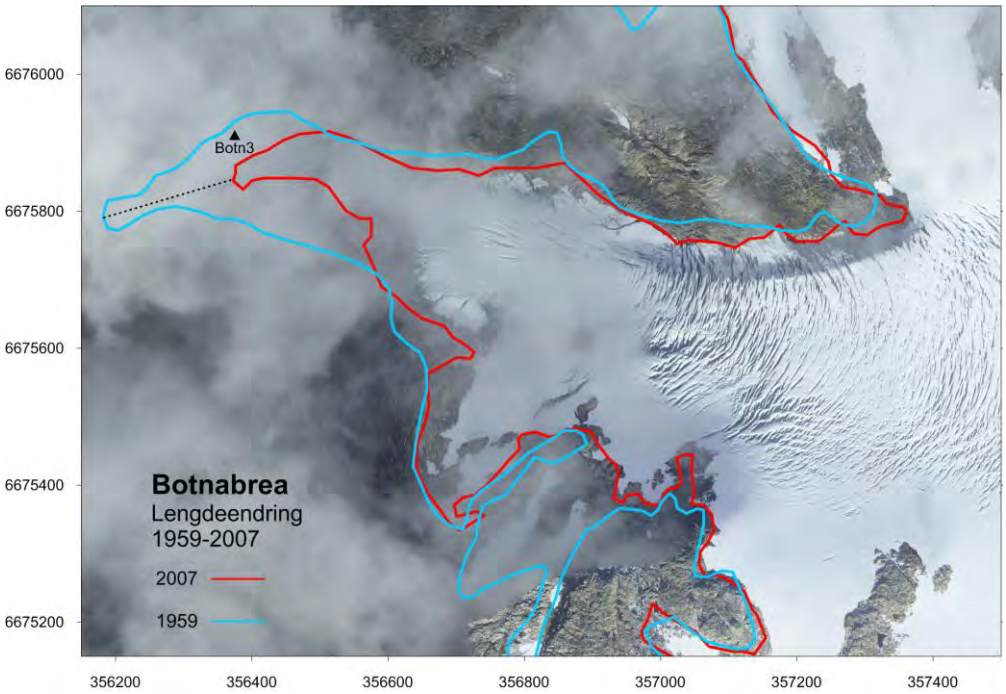
Årlige frontmålinger på Botnabrea (fig. 24) startet i 1996. Målingene ble tatt ut av det hydrologiske pålegget i 2006, men har siden fortsatt i regi av NVE.



Figur 24
Botnabrea fotografert den 9. oktober 2002 (venstre) og 23. september 2008 (høyre). Fotografer: Bjarne Kjøllmoen (venstre) og Geir Knudsen (høyre).

De årlige målingene viser at breen gikk fram 28 meter fra høsten 1996 til høsten 2001. Siden 2001 har breen stort sett smeltet tilbake og for perioden 2001-2013 viser målingene en tilbakesmelting på 76 meter (tab. 15). Totalt for hele måleperioden 1996-2013 har Botnabrea hatt en tilbakegang på 48 meter.

Frontendringer kan også bestemmes ut fra flybilder, laserdata (høydedata og intensitets-verdier) og ortofoto. På flybildene fra 1997 ligger det igjen en del snø utenfor breen og på bildene fra 2013 er nedre del av bretunga delvis dekket av skyer. Brekanten er vanskelig å definere i disse bildene, og 1997 og 2013 er derfor utelatt i denne sammenheng. Ved hjelp av kartleggingene fra 1959 og 2007 er frontendringene i den mellomliggende perioden målt langs en tenkt flytelinje (fig. 25). Målingene viser en tilbakegang på ca. 200 meter i perioden 1959-2007.



Figur 25
Brekanten på Botnabrea bestemt fra kartleggingene i 1959 og 2007. Målinger langs en tenkt flytelinje (.....) viser en tilbakesmelting på ca. 200 meter i denne perioden. De årlige målingene ble gjort fra fastpunktet Botn3 fra 1996 til 2005. Bakgrunnsbildet er ortofoto fra 2013.

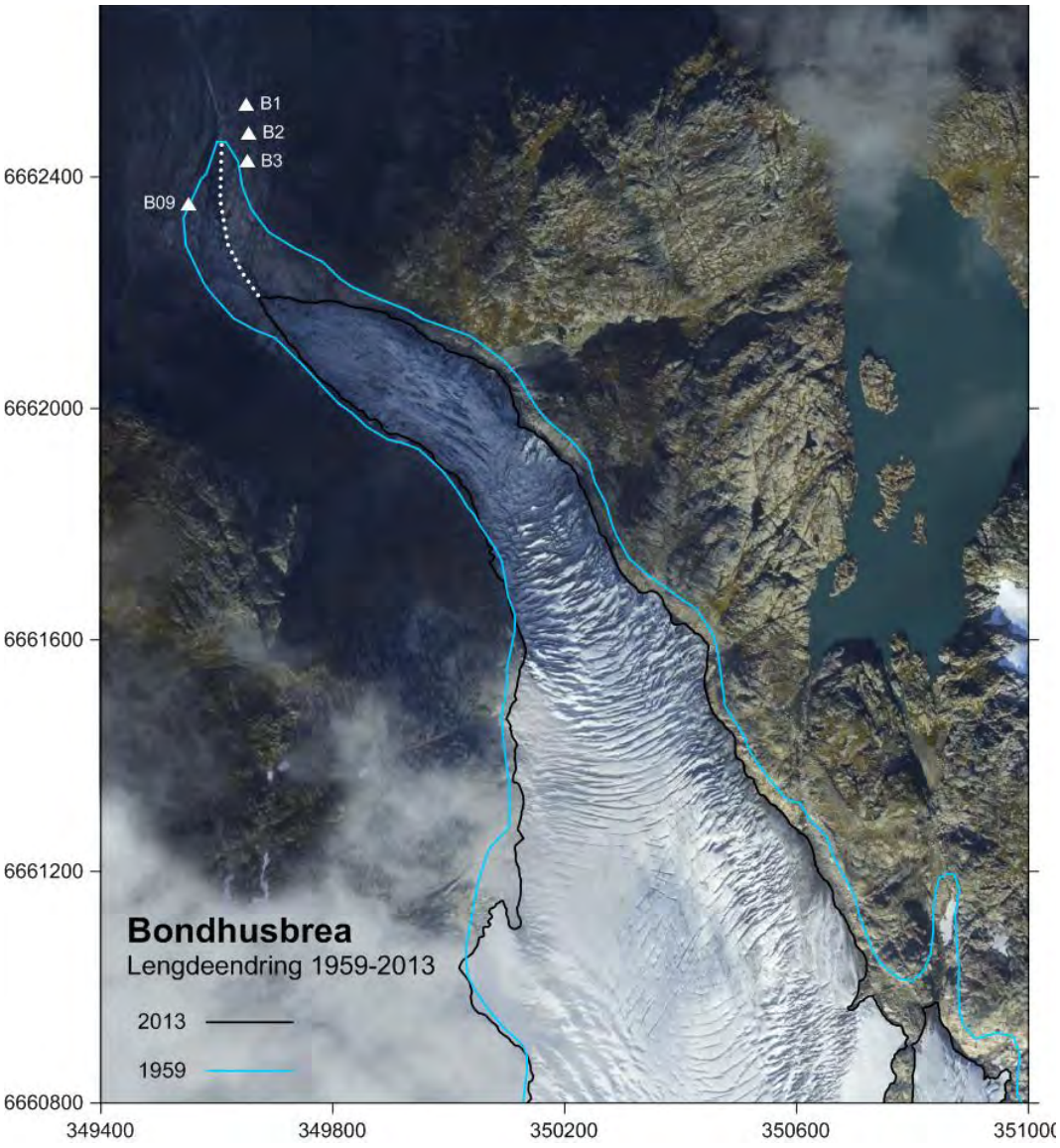
5.2 Bondhusbrea

Frontmålinger på Bondhusbrea (fig. 26) ble startet i 1902 og pågikk fram til 1942. Etter noen års opphold ble målingene satt i gang igjen fra 1950 og pågikk fram til 1983. Etter et nytt opphold ble målingene gjenopptatt i 1996. Måleserien er komplettert ved hjelp av kart.

Figur 26
Bondhusbrea har smeltet tilbake flere hundre meter siden frontmålingene startet i 1902. Tidspunkt og fotograf for dette bildet er ukjent, men det antas at bildet er fra 1950-tallet.

De årlige målingene viser at breen smeltet tilbake drøye 400 meter i den første perioden fra 1902 til 1942. I den andre perioden fra 1950 til 1983 viser målingene bare mindre variasjoner av brefronten. I den siste perioden fra 1996 til 2013 smeltet breen tilbake 355 meter. Den kompletterte måleserien (ved hjelp av kart) viser at Bondhusbrea har smeltet tilbake 800 meter fra 1902 til 2013.

På flybildene fra 1997 ligger nedre del av bretunga i svært mørk skygge og på bildene fra 2007 mangler det dekning nederst på breen. Målinger fra 1997 og 2007 er derfor ikke med i denne sammenheng. Ved hjelp av kartleggingene fra 1959 og 2013 er front-endringene i den mellomliggende perioden målt langs en tenkt flytelinje (fig. 27). Målingene viser en tilbakegang på ca. 290 meter i perioden 1959-2013. De årlige målingene (kompletterte) viser en tilbakesmelting på 303 meter i samme periode.



Figur 27
Brekanten på Bondhusbrea bestemt fra kartleggingene i 1959 og 2013. Målinger langs en tenkt flytelinje (.....) viser en tilbakesmelting på ca. 290 meter i denne perioden. De årlige målingene ble gjort fra fastpunktene B1, B2 og B3 gjennom 1990-tallet og fram til 2009. Siden den gang er frontendringene målt fra B09. Bakgrunnsbildet er ortofoto fra 2013.

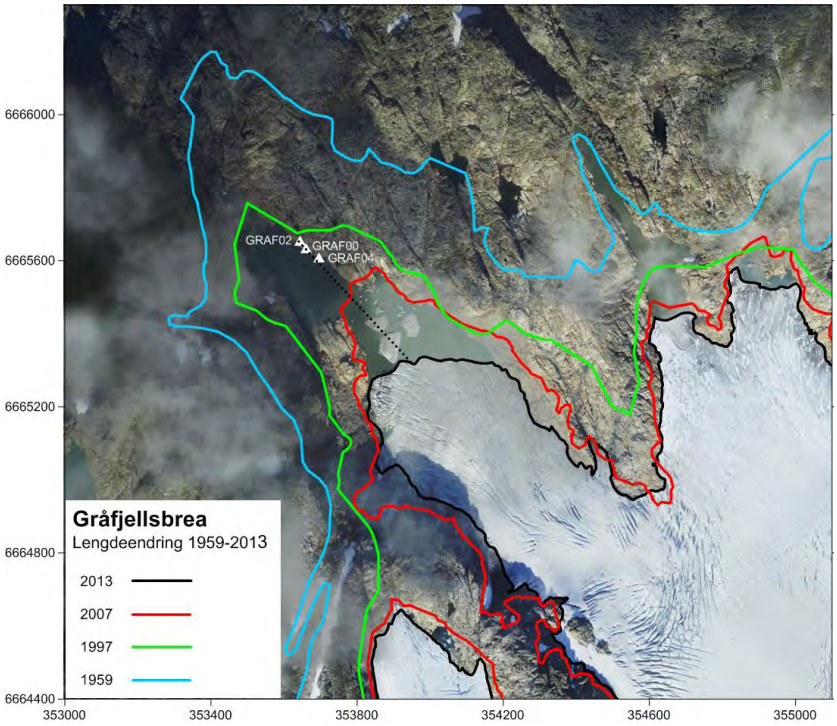
5.3 Gråfjellsbrea

Årlige frontmålinger på Gråfjellsbrea (fig. 28) ble satt i gang i 2002.

Figur 28
Gråfjellsbrea fotografert den 23. september 2008 (venstre) og 15. august 2012. Foto: Bjarne Kjøllmoen.

De årlige målingene viser at breen smeltet tilbake 330 meter fra høsten 2002 til høsten 2013 (tab. 15). For perioden fra 2007 til 2013 viser målingene en tilbakegang på 140 meter.

Kartleggingene fra 1959 og 1997 viser en tilbakegang på ca. 400 meter. Fra 1997 til 2007 er tilbakegangen ca. 350 meter. Fra 2007 til 2013 er tilbakegangen ca. 250 meter, hvilket avviker en del fra de årlige målingene (140 m). Ved kartleggingen i 2007 ble det ikke tatt flybilder. Brekanten dette året er bestemt ut fra DTM'en med støtte i intensitetsverdiene fra lasermålingene. Denne metoden anses som rimelig sikker, men brekanten kan ikke verifiseres med flybilder. Det er derfor usikkert om kartlagt brekant for 2007 er korrekt, og lengdeendringen på 140 meter antas som mest pålitelig.



Figur 29
Brekanten på Gråfjells-brea bestemt fra kart-leggingene i 1959, 1997, 2007 og 2013. Målinger langs en tenkt flytelinje (.....) viser en tilbake-smelting på ca. 1 km fra 1959 til 2013. De årlige målingene ble gjort fra ulike fastpunkt foran breen (▲). Bakgrunns-bildet er ortofoto fra 2013.

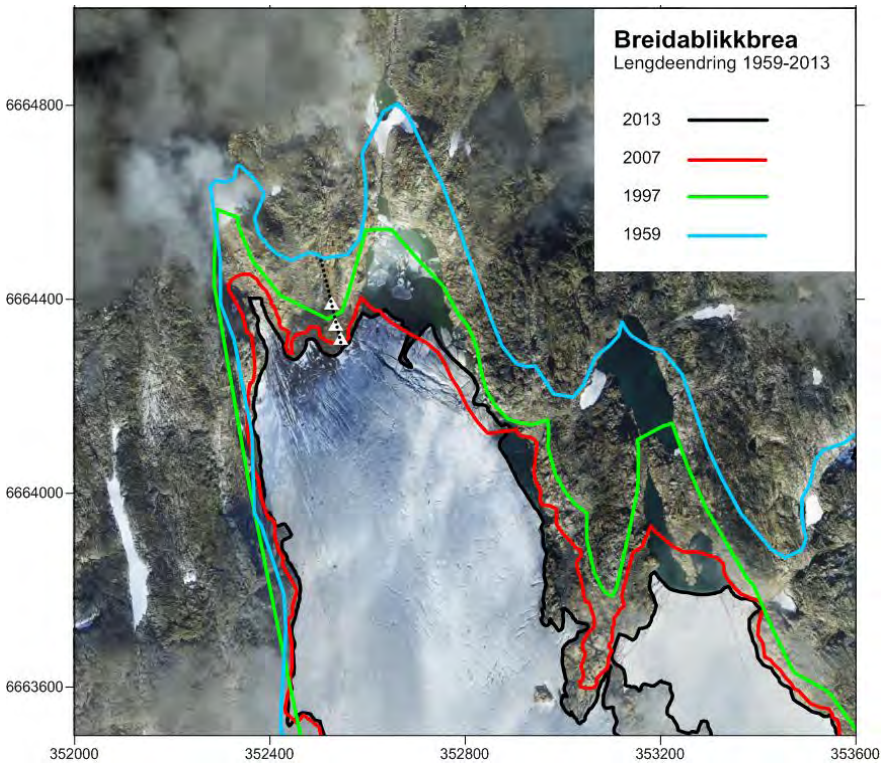
5.4 Breidablikkbrea

Årlige frontmålinger på Breidablikknrea (fig. 30) ble satt i gang samtidig med målinger på Gråfjellsbrea i 2002. Målingene ble avsluttet i 2006 på grunn av at bretunga ender i et vann, og det er vanskelig å definere en tydelig brefront.

Figur 30
Breidablikkbrea fotografert den 10. oktober 2006 (venstre) og 15. august 2012. Foto: Hallgeir Elvehøy (2006) og Bjarne Kjøllmoen (2012).

De årlige målingene viser at breen smeltet tilbake 9 meter fra høsten 2002 til høsten 2006 (tab. 15).

Kartleggingene fra 1959 og 1997 viser en tilbakegang på ca. 125 meter. Fra 1997 til 2007 er tilbakegangen ca. 55 meter, og fra 2007 til 2013 er ca. 15 meter.

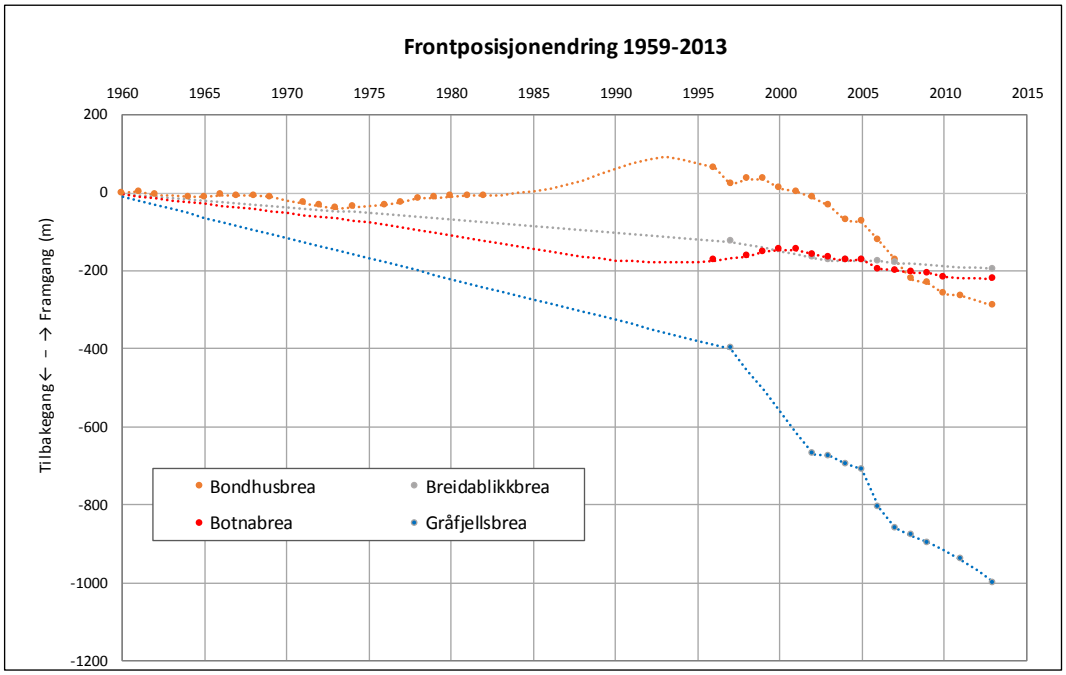


Figur 31
Brekanten på Breidablikkbrea bestemt fra kart-leggingene i 1959, 1997, 2007 og 2013. Målinger langs en tenkt flytelinje (.....) viser en tilbake-smelting på ca. 200 m fra 1959 til 2013. De årlige målingene i perioden 2002-06 ble gjort fra fastpunkt foran breen (▲). Bakgrunnsbildet er ortofoto fra 2013.

Tabell 15
Lengdeendringer for Botnabrea, Bondhusbrea og Gråfjellsbrea.

Periode	Botnabrea	Bondhusbrea	Gråfjellsbrea	Breidablikkbrea
1996-2013	-48	-355	*-330	**-9
1959-2007***	-200			-180
1959-2013***		-290	-1000	-195

*Måleperiode 2002-2012
**Måleperiode 2002-2006
**Beregnet fra kartlegginger



Figur 32
Frontposisjonendringer i perioden 1959-2014. Sammenstillingen er basert på tradisjonelle frontposisjonmålinger sammenbundet med kartlegginger i 1959, 1997, 2007 og 2013.

6 Konklusjon

6.1 Kartlegging av brefeltene

Brefeltene som ligger innenfor Statkrafts reguleringsområde på Folgefonna er kartlagt i 1959, 1997, 2007 og 2013. I denne sammenheng er brefeltene inndelt i seks delfelt; Nordre, Midtre, Blådal, Gråfjell, Breidablikk og Bondhus. En nøyaktig areal- og høydefordeling er beregnet for hvert av årene innenfor hvert brefelt.

6.2 Volumendringer og geodetisk massebalanse

På bakgrunn av kartleggingene er det beregnet volumendring og geodetisk massebalanse for periodene 1959-1997, 1997-2007 og 2007-2013. Beregningene er foretatt på de brefeltene som ligger innenfor Statkrafts reguleringsområde. Beregningene viser at samtlige brefelt i reguleringsområdet har hatt negativ massebalanse i alle tre periodene.

I perioden 1959-1997 var midlere årlig massetap mellom −0,05 m (Bondhus) og −0,46 m vannekvivalenter (Gråfjell). Gjennomsnittlig årlig massetap for de seks brefeltene i denne perioden var −0,29 m vannekvivalenter. I perioden 1997-2007 var midlere årlig massetap mellom −0,64 m (Bondhus) og −1,09 m v.ekv. (Breidablikk). Gjennomsnittlig årlig massetap for alle brefeltene i denne perioden var −0,91 m v.ekv. I perioden 2007-2013 var midlere årlig massetap mellom −0,61 m (Bondhus) og −1,08 m v.ekv. (Breidablikk). Gjennomsnittlig årlig massetap for alle brefeltene i denne perioden var −0,87 m v.ekv.

For hele perioden 1959-2013 var årlig massetap mellom −0,23 m (Bondhus) og −0,63 m v.ekv. (Gråfjell). Gjennomsnittlig årlig massetap for alle seks brefeltene i perioden 1959-2013 var −0,47 m v.ekv.

6.3 Glasiologisk massebalanse

Glasiologisk massebalanse er målt og beregnet på Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea i årene 2003-2013. Datasettene er homogenisert ved å bruke gyldig DTM og isskille. Videre er datasettene sammenlignet og kalibrert med geodetisk massebalanse. Kalibreringsperioden er 2007-2013, mens hele serien (2003-2013) er kalibrert.

Homogenisert og kalibrert massebalanse for Gråfjellsbrea og Breidablikkbrea i perioden 2003-2013 viser negativ kumulativ massebalanse med hhv. −12,2 og −13,7 m vannekvivalenter. Midlere årlig massebalanse for perioden 2003-2013 blir hhv. −1,11 og −1,24 m vannekvivalenter.

6.4 Frontendringer

Årlige frontendringer er målt på Botnabrea og Bondhusbrea fra 1996 til 2013. På Bondhusbrea ble det målt frontendringer også i periodene 1902-1942 og 1951-1983. På Gråfjellsbrea er det målt årlige frontendringer fra 2002 til 2013. Målingene viser at Botnabrea smeltet tilbake 48 meter fra 1996 til 2013. Bondhusbrea smeltet tilbake 355 meter i samme periode. Gråfjellsbrea smeltet tilbake 330 meter fra 2002 til 2013. Kartlegginger i 1959, 1997, 2007 og 2013 viser betydelig tilbakegang av alle tre breutløperne. Fra 1959 til 2013 har tilbakegangen vært 248 meter på Botnabrea (1959-2007), 290 meter på Bondhusbrea, 1000 meter på Gråfjellsbrea og 195 meter på Breidablikkbrea.

Referanser

Haakensen, N.
1984: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1981. *NVE Rapport 1 1984*, s. 18-23.

Kjøllmoen, B.
2013: Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. *Oppdragsrapport serie B nr. 2 2013*, s. 7-15.

Kjøllmoen, B.
2008: Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. *Oppdragsrapport serie B nr. 4 2008*, s. 12-31.

Kjøllmoen, B.
2007: Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. *Oppdragsrapport serie B nr. 1 2007*, s. 19-29.

Kjøllmoen, B.
2006: Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. *Oppdragsrapport serie B nr. 2 2006*, s. 18-41.

Paterson, W.S.B.
1994: The physics of glaciers. 3rd edition. *Pergamon, Oxford*, 480 s.

Pytte, R. (red.)
1969: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1969. *NVE Rapport 5 1970*, s. 17-25.

TerraTec AS
Rapport for luftbåren laserskanning. 12 s.

Tvede, A.
1978: Blomsterskardbreen. In: Wold, B og N. Haakensen (red.). Glasiologiske undersøkelser i Norge 1977. *NVE Rapport 3 1978*, s. 11-12.

Tvede, A. (red.)
1973: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1971. *NVE Rapport 2 1973*, s. 18-20.

Wold, B. og J.O. Hagen
1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1975. *NVE Rapport 2 1977*, s. 13-15.

Zemp, M. et. al.
2013: Reanalysing glacier mass balance measurements series. *The Cryosphere, 7*, s 1227-1245.

Zemp, M.
2010: Reanalysis of multi-temporal aerial images of Storglaciären, Sweden (1959–99) – Part 2: Comparison of glaciological and volumetric mass balances. *The Cryosphere, 4*, s 345-357.

Østrem, G. og M. Brugman
1991: Glacier mass-balance measurements. A manual for field and office work. National Hydrology Research Institute, *Scientific Report, No. 4*. Environment Canada, N.H.R.I., Saskatoon and Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo, 224 s.

Utgitt i Oppdragsrapport A-serien i 2014

Nr. 1 Filefjell - Kyrkjestølane (073.Z). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser. Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 2 Groset forsøksfelt (016.H5). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 3 Lappsætra tilsigsfelt (156.DC). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 4 Skurdevikåi tilsigsfelt (015.NDZ). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2012-13. Per Alve Glad.
Nr. 5 Manøvrering av Reinforsen/ Langvatn i forkant av potensiell isgang. Ånund Kvambekk.
Nr. 6
Nr. 7 Flomberegning for Lundeelva ved Kielland. Per Ludvig Bjerke.
Nr. 8 Storglomfjordutbyggingen – Hydrologiske undersøkelser 2014. Margrethe Elster.
Nr. 9 Glasiologiske undersøkelser på Folgefonna 2002-2013. Sluttrapport. Bjarne Kjøllmoen.
Nr. 10 Måling av snø ved hjelp av gammasensor. Heidi Bache Stranden.

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no