

# Flom i Atna gjennom 10000 år

- *Ein studie av flom frå 9950 (BP) til 2011(AD), bygd på paleohydrologiske undersøkingar og instrumentelle målingar.*



Master i naturgeografi

Av Bjørn Dyregrov Haukeland

Institutt for Geografi

Februar 2013





## Forord

---

Det har teke si tid, men no er endelig stunda komen då eg kan skrive følgjande ord: eg ferdig med masteroppgåva. Eg er ikkje i tvil om at det stemmer det som venar og kjende seier: «om nokre år, når du har jobba litt, er det ingen som spør deg om masteroppgåva di, og det heile vil virke som ein bagatell». Men for meg her og no betyr det noko, og eg er glad over å endelig vere i mål. Eg er 30 år, eg kjenner meg ikkje lenger som ein student, og eg er klar for å jobbe.

Det er mange eg må takke for å ha ført meg fram til der eg er i dag, og for å ha lånt ei hjelpande hand med gjennomføringa av masteroppgåva. Eg vil takke Institutt for Geografi som har vore ein flott stad å studere. Eg har gjennom åra her hatt mange gode medstudentar og forelesarar, og eg likar spesielt at det alltid finnes ei opa dør der ein kan snakke med dei tilsette om ein lurar på noko. Eg vil takke Svein Olaf Dahl som har rettleia meg med masteroppgåva, og som gav meg muligheit for å komme tilbake til instituttet for å fullføre studiet.

Eg vil takke Eivind Nagel Støren og Henrik Jansen ved Institutt for Geografi, og Bjørn Kvisvik ved Bjerknæssenteret for gode diskusjonar, hjelp med å finne kjelder, hjelp på paleo-laben og i felt. Takk til Kaja, Karl, Ben, Anne-Berit og Tore for hjelp i felt, og ei trivelig tid i Folldal under feltopphaldet i 2008.

Takk til Julio Pereira ved NVE i Oslo som lærte meg om korleis ein lagar flomsonekart, og samstundes at enkelte ting som til dømes flomsonekart, er for mykje å pakke inn som ein del i masteroppgåve. Avgrensing er ein kunst, og det er aldri for seint å lære det.

Eg vil takke vennane mine som har hatt trua på meg, og som alltid har vore tilgjengelig for ein kaffi eller ein øl. Og eg vil takke mamma og pappa for all støtte gjennom heile studietida, både mental og økonomisk. Utan dykk kunne eg ikkje fullført studiet.

Sist men ikkje minst vil eg takke mi kjære Silje. Denne oppgåva er til deg. Då ting såg mørkt ut fekk du meg på rett spor, og du har vore ein stor inspirasjon for meg, gjennom sjølv å jobbe hardt og vere ein så flink og god person som du er. Eg gleder meg til eit liv saman med deg!

# Innholdsliste

---

Forord.....	III
Innholdsliste .....	IV
Figurliste.....	VI
Tabellar.....	VII
Bilder .....	VIII
1. Innleiing.....	1
1.1    Introduksjon .....	1
1.2    Introduksjon til studieområdet .....	5
1.3    Avgrensing av feltområde, samt utgreiing om Hesseljørna .....	8
1.4    Problemstilling .....	10
1.5    Tidlegare studiar i Atna og i regionen .....	11
1.6    Flom på austlandet.....	13
1.7    Paleohydrologi .....	15
2. Metode.....	17
2.1    Djupnekart.....	17
2.2    Elveprofilmåling .....	17
2.3    Piston corer – prøvekjernetakar for innsjøsediment .....	19
2.4    HTH-kjernetakar (gravitasjonskjernetakar).....	19
2.5    Snitt .....	20
2.6    Vassinnhald og massetettleik.....	22
2.7    Glødetap – Loss on ignition.....	22
2.8    Kornstorleiksanalyse .....	23
2.9    Magnetisk suceptibilitet.....	23
2.10    CT – X-ray Computed tomography.....	24
3. Instrumentelt målte flommar i Atna 1917-2011AD.....	27

3.1 Vassføring i Atna .....	29
3.2 Flom i Atna .....	34
4. Paleohydrologi - Funn og analyse .....	39
4.1 Glødetap – identifisering av flomlag i HTP108.....	41
4.2 Kornfordeling i utvelde flomlag .....	43
4.3 CT-scan .....	45
4.5 Dei ulike fasane av HTP108 .....	49
4.6 Hestetjørna som lokalitet, kvar er storofsen? .....	52
4.7 Holosene flomregime i Atna .....	53
4.8Funna i Hestetjørna sett opp mot andre studiar i regionen.....	55
5. Oppsummering.....	57
Etterord .....	59
Referanseliste.....	60

## ***Figurliste***

Figur 1 - Kart over Atna og Atnsjøen, med avgrensingar for feltområdet. Kjelde for grunnkart: NVE-Atlas.....	6
Figur 2 - Bergrunnskart over feltområdet med innteikna elver og stadnamn. Kjelde: NGU .....	7
Figur 3 - Kvartærgeologisk kart over feltområdet med innteikna elver og stadnamn. Kjelde: NGU .....	7
Figur 4 - Djupnekart over Hessesjøerna. Lokalitet for boring med modifisert Piston corer - 2008	9
Figur 5 - Eksempel på relevante funnområde med tanke på SWD-PSI innan paleoflom. Kjelde: Benito & Thorndycraft 2005 .....	16
Figur 6 – Tverrsnitt av Atna like nord for Straumbu. Kartreferanse manglar. ....	18
Figur 7 - Årsavrenning Atnsjøen.....	29
Figur 8 - Q Avvik frå normalperiode.....	29
Figur 9 - Plott av vassføring Atnasjø kontra Li bru. Trendene er hovudsakelig like, men vassføringane er som oftast høgst ved Atnsjøen.....	31
Figur 10 - Den faktiske skilnaden mellom vassføringa ved Li bru og i Atnsjøen. Positive verdiar tyder at det er høgare vassføring i Atnsjøen enn ved Li bru.....	31
Figur 11 - Snittnedbør ved Atnsjøen 1917-2010. Verdiane er mm snittnedbørnedbør pr.månad i eit år .....	32
Figur 12 - Nedbør i Atnadalen delt etter sesong/årstid. Begge årstidene syner ei stigande trend. ....	32
Figur 13 - Endringar i vassføringa ved Atnsjøen 1916-2011. Den einaste trenda som er stigande er vinteravrenninga. Dei andre årstidene, samt årsavrenninga er synkande.....	33
Figur 14 - 50-årsflommen i Atna Mai 1966 .....	36
Figur 15 - Vesleofsen Mai/Juni 1995.....	36
Figur 16 - Vassføringsskilnad/flomutvikling - Regnflom 2003 .....	37
Figur 17 - Samanstilling av analysane som er utført på HTP108.....	40
Figur 18 - Glødetapverdiar frå HTP108 innanfor 4%glødetap .....	41
Figur 19 - HTP108-Kumulativ prosentfordeling for endringsrate i glødetap. Prosent av prøvar (y-aksen), mot faktisk endringsprosent (x-aksen).....	42

Figur 20 - HTP108 - Dei 57 flomlaga i HTP108. Figuren syner observasjonane i kjernen med endringsrate lik eller over over 118%. Den horisontale aksene i figuren med verdiar 1-276 syner djupna i kjernen. ....	42
Figur 21 - Sedigrafplot + 125-250um. Syner prosentvis fordeling mellom dei ulike laga. ....	44
Figur 22 - Absolutte verdiar frå CT-scan av HTP108. Verdiane er i HU, og tyder tettleik, på den horisontale aksene er djupna i cm. ....	45
Figur 23 - Aldersmodell for HTP108 – dei brune laga lengts til venstre er Fase 6 av kjernen, og som forklart seinare, er dette ikkje eit flomlag.....	47
Figur 24 - Akkumulasjonsrate for HTP108. Den blå lina er aldersmodellen basert på c14-datering og flomlag. Den raude lina er akk.rate i år.pr. cm sediment.....	49
Figur 25 - Debris flows i Leirdalen i 1000-årsklassar. Kjelde: Matthews et al. 2009.....	53
Figur 26 - Flomsignaturar frå Atna sett opp mot Sagbekken og Grimsa. Modifisert frå Killingland (2009) .....	56

## ***Tabellar***

Tabell 1 - Større naturskader i Norge 1992-2011 (Forsikringsutbetalingar).....	2
Tabell 2 - Topp naturkatastrofer i Norge 1900-2012 .....	2
Tabell 3 - Snitttemperatur og snittnedbør i feltområdet.....	8
Tabell 4 - Flomtersklar for NVE sine målestasjonar i Atna.....	28
Tabell 5 - Snittavrenning Atnasjø. Verdiar i m3/sek for kvar månad, og totalt for heile perioden. ....	29
Tabell 6 - Flomepisodar målt ved Atnsjøen .....	34
Tabell 7 - Fordeling av flomhendingar Atnsjøen .....	35
Tabell 8 - Kornstorleik på 15utvalde djupner i HTP108 .....	43
Tabell 9 - C14prøvar HTP108 og ARB108 .....	46
Tabell 10 – Dei mest markerte flommane pr årtusen BP.....	53
Tabell 11 - - Flommar i Hestetjørna - samanlikna med Atnsjøen, Grimsa og Sagbekken. Merknad: For sagbekken og Grimsa var det påvist fleire flommar, men berre dei daterte flomlaga er tatt med. ....	55

## ***Bilder***

Bilde 1-På veg bort til Hesseljørna med piston corer flåten.....	19
Bilde 2 - - Innsjøsediment tekne opp med HTH-stempelprøvetakar .....	20
Bilde 3 - Snitt ved Nordre Sandom.....	21
Bilde 4 - - Illustrasjon av korleis kornstorleiken vert målt .....	23
Bilde 5 - Skjerm bilde frå Osirix. Biletet syner HTP108 2/3. Raudt tyder høgt/tett minerogent innhald, blått tyder hødt organisk innhald. ....	25
Bilde 6 - HTP108 3/3 Biletet syner HU-verdien gjennom kjernen. ....	26
Bilde 7 - Flomstøtta på Elverum.....	38

Framsdebilde: Hesseljørna på Atnsjømyrane. Fotografert av Bjørn D. Haukeland 2008



## Abstract

Knowledge about past environmental extremes such as river floods, can help planners and politicians make better decisions for the future, and improve forecasting of future flood events. This paper presents a paleohydrological study of river floods in the Atna river, southeast Norway, near the mountains of Rondane. Atna is a tributary river to Glomma, the largest river in Norway.

A 3 meter long sediment core (HTP108) was extracted from lacustrine sediments from the lake Hesseljørna. The core was analysed with multiple methods; CT-scan, loss on ignition and grain size, and through these and several other analyses 57 individual flood events was detected. 6 organic macro fossils was analysed and dated (AMS-C14) by Poznan radiocarbon laboratory. The macro fossils was dated from 8840 to 1380C14 years with one inverted result, and based on these dates an age model was made for the deposition of the sediments found in HTP108.

The recurrence interval for floods the entire core is 175years, however the age model shows that the Atna catchment has experienced changing flood regimes. The most active flood periods are detected in: 9800-9580BP, 8380-7600BP and 5260-1200BP. The results carry some similarity with previous studies carried out in the region (Nesje et al. (2001), Bøe et al. (2006), Matthews et al. (2009) and Killingland (2009)), especially in the earliest and the latest period from 5260-1200BP. The floods that are found both in Hesseljørna and in the studies from other catchments are interpreted as being the largest floods due to a regional rather than a local spatial extent.

Storofsen (1789AD) is the largest river flood ever detected in Norway, and it has also been detected in the Atna catchment by Nesje et al. (2001) and by a second river bed sediment core in this study (ARB108). However, the upper part of HTP108 where the inverted macro fossil was found, leads to the conclusion that there has been a large flood after 1300BP which has both eroded in Hesseljørna, and deposited the inverted macro fossil. The erosion has removed parts of the younger flood history. This is probably Storofsen, but this remains to be tested.

Due to the erosion in the upper part of HTP108, and lack of C14dates above the eroded level, there is little evidence to link the flood layers detected in the upper part of the

core with historical known or gauged floods. However, as there are no river gauging stations in Atna, with hourly records from 1916 and 1997 to present, a brief presentation of the gauged floods can be found in chapter 3. The gauging stations show that Atna has experienced 25 minor flood events (annual magnitude), 14 large floods (5-year recurrence interval), and 2 extreme floods (50-year recurrence interval) from 1916 to 20011. Of these floods both 50-year, and 2 of the 5-year floods can also be found at a flood gauge for Glomma at Elverum. This leads to that only the largest river flood events found in Atna is of a regional character, and that Atna like most other rivers more often experience floods that is of a local character.

Of the 41 flood event found in Atna, only two occurs during late summer/early autumn and is solely caused by rainfall. This means that river floods in Atna catchment follows the typical pattern of inland Norway where floods are mainly snowmelt related.

# 1. Innleiing

---

## 1.1 Introduksjon

Kunnskap om klima og ekstremhendingar er i dag betre enn den nokon gong har vore. Gjennom rapportane frå FNs klimapanel (IPCC), har breidda av klimaforskarar samla kunnskapen sin, og formidla den med omverda. Dei klimarelaterte utfordringane som vert presentert frå IPCC rører ved alle, og interessa for temaet er derfor stor både frå politisk hald, i næringsverksemdar, og i samfunnet generelt. I media er oppslag relatert til klima mangedobla utover 2000-talet (CSTPR, 2012), men trass det auka fokuset på klima, vær og miljø, aukar framleis skader og økonomiske tap knytt til flom og andre ekstremhendingar (Baker, 2006 og Emdat.be, 2012).

House et al. (2002), hevdar at «*Flom er den mest omfattande og kostbare naturkatastrofa samfunn vert utsett for regelmisseg*». Dette stemmer til ein viss grad også i her Norge, kor me erfarer ekstremvær og skadeflommar av større omfang nesten årleg. Samanlikna med til dømes skredulykker, er det normalt færre forulykka og skadde i skadeflommane, men bygningar, industri og infrastruktur vert råka i større omfang, og dei økonomiske tapa er større. I Norge hendte den største kjende flommen i 1789. Den er kalla Storofsen, og råka store delar av austlandet. I nyare tid er det vårflommen på austlandet i 1995, kalla Vesleofsen, som er den største skadeflommen. Likevel syner tal frå Norsk Naturskadepool (Tabell 1.1) at det i perioden 1992-2011 hendte fleire skadestormar enn skadeflommar, og at utbetalingane samla er større for stormar enn dei er for flommar. Ein viktig merknad, er at tala frå Norsk Naturskadepool berre dekkjer eigedelar som kan forsikrast mot naturskade, og ikkje til dømes infrastruktur som vegar, bruer og kraftliner, då dei er dekka gjennom Statens naturskadefond. Tek ein med erstatningane derifrå, samt andre samfunnskostnadar som stopp og forseinking i drift og produksjon for private og offentlege verksemdar, vert Vesleofsen den mest kostbare naturkatastrofa / ekstremværhendinga Norge har opplevd etter år 1900 (Tabell 1.2) (Emdat.be, 2012).

Tabell 1 - Større naturskader i Norge 1992-2011 (Forsikringsutbetalinger)

Større naturskader 1992 - 2011 (Skader over 50 millioner)							
År/Namn/Type		Storm	Stormflo	Flom	Overflateflom	Nedbør	Skred
1992	Nyttårsorkan	1300					
1994	Storm-vestl.	174					
1995	Vesleofsen			940			
1996	Frode	178					
2000	Tora	111	97	47			
2001	Storm-østl.	75					
2005	Gudrun/ Hårek/Inga	158	*	*			
*	Kristin			75		20	
*	Loke			61		30	
2006	Narve	153					
*	Flom-Trønd.			75			
2007	Per	51					
*	Nedbør-østl.					50	
*	Flom-østl.			81	35		
2008	Storm-div.	50					
*	Skred-Ålesund						60
2009	Skred-Namsos						41
2011	Flom-div.			49			
*	Flom-div.			110			
*	Berit	282	*	*			
*	Dagmar	876	*				
	Tal hendinger:	11	4	10	1	3	2
	Sum:	<b>3408</b>	<b>97*</b>	<b>1438*</b>	<b>35</b>	<b>100</b>	<b>101</b>
Tal frå Norges Naturskadepool - Oppdatert 8/2-2012. Tala er i millionar norske kroner. * Skadene tatt med under storm							

Tabell 2 - Topp naturkatastrofer i Norge 1900-2012

Topp naturkatastrofer for Norge 1900-2012		
Katastrofe	Dato	Skader (000 US\$)
Flood	01.06.1995	300000
Storm	13.01.2005	130000
Storm	25.02.1990	120000
Storm	25.01.1990	10000
Storm	03.01.1993	3000
Kjelde:EM-DAT: OFDA/CRED disasterdatabase		

Norge er eit langstrekt land, med varierte regionar. Likt for dei alle er det at dei opplever store årstidsvariasjonar i vær og temperatur, og frå tid til anna vært råka av ekstremværhendingar. Anten det er storm langs kysten, flom eller leirskred i Trøndelag, ras og flomskred på vestlandet, eller storflom på austlandet, så er det ein del av den risikoen ein helst skulle vore utan, men har lært å leve med. Ein del av risikoen kan reduserast gjennom fysiske tiltak som flomverk og rassikring, samt gjennom betre arealplanlegging og varslings. Men ekstremværhendingane er komplekse, og kan vareire mykje frå stad til stad i effekt, storleik og utstrekking. Risikoen kan derfor aldri fjernast heilt, men med betre kunnskap, kan forståinga av ekstremværhendingane betrast, og risikodempeande tiltak utførast meir effektivt.

For å kunne varsle, og verne seg mot ekstremværhendingane må dei studerast. Sett i høve til flom, er det hovudsakeleg hydrologar og meteorologar som står bak flomvarslings, flomfrekvensanalyse og risikoanalysar. Desse ulike tenestene byggjer i stor grad på komplekse digitaliserte modellar, frå instrumentelt innsamla data. I Norge finn ein systematiske værobservasjonar tilbake til 1866 då Meteorologisk institutt vart starta, og somme stader finn ein vassmålingar tilbake til 1847 (*NVE.no*, 2009). Det er likevel berre eit fåtal stadar at måleseriar over så lange tidsrom finnes. Flommodellane utviser stor presisjon, men sidan datagrunnlaget strekkjer seg over eit kort tidsrom, kan tidlegare flommar, og naturlege variasjonar i vassføringa som skil seg frå dei observerte datasetta, gje eit feil resultat frå modellen. Det er derfor naudsynt å finne ut meir om flomhistoria i eit lengre perspektiv, med det målet å kalibrere eksisterande modellar, samt seie noko om klimaet over eit lengre tidsrom, og kanskje også inn i framtida.

Denne oppgåva presenterer ein paleohydrologisk studie av flommar i elva Atna i Hedmark og Oppland. Flomhistoria strekkjer seg over 10000 år, og syner endringane, frå flomfattige til flomrike periodar, som har funne stad i løpet av tidsrommet. Etter presentasjonen av funna frå Atna, vert det også diskutert kor vidt funna frå Atna er av ein lokal eller regional karakter.

Ved sidan av den paleohydrologiske undersøkinga som er hovuddelen av denne studien, vil eg på bakgrunn av instrumentelle vassmålingar frå Atna, kaste lys over den moderne flomhistoria. Dette vert gjort for å forstå kva typar flom som finnest i Atna, og for å sjå korleis flomfrekvensen har utvikla seg over måleperioden.

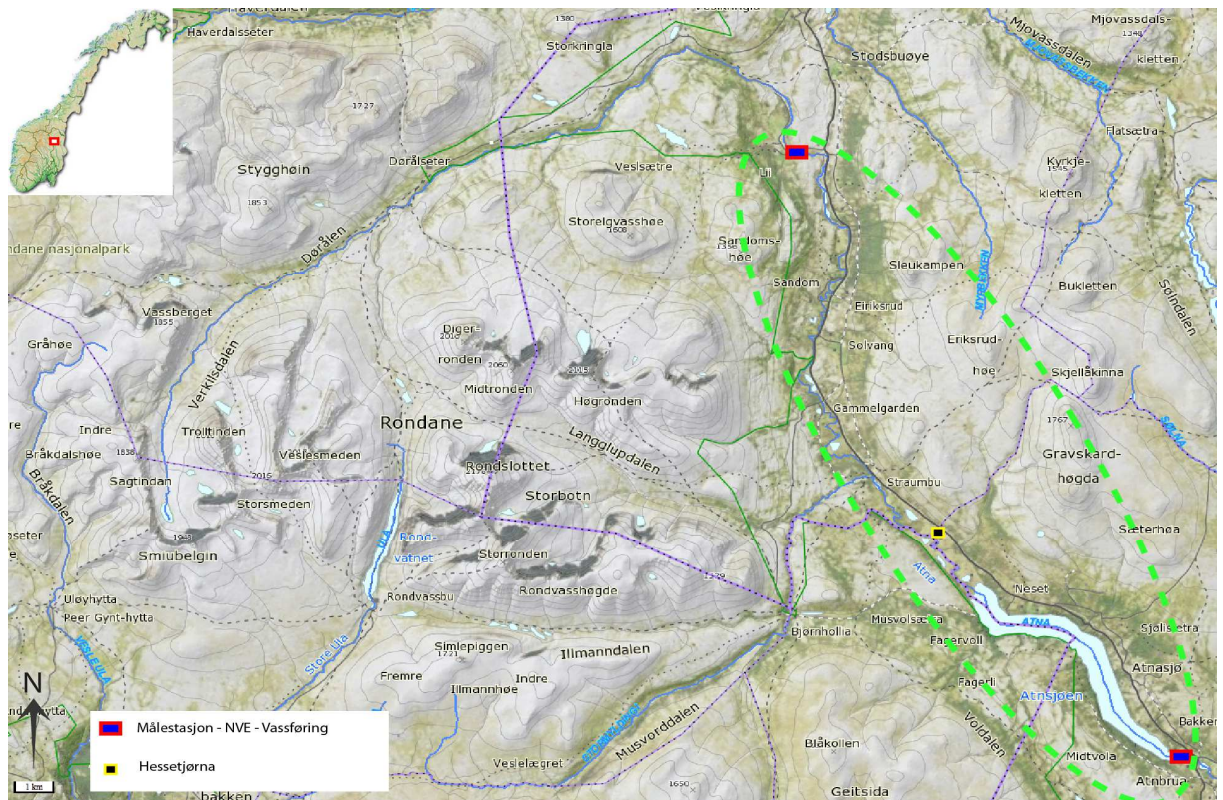
Sjølv om den instrumentelle og den paleohydrologiske tilnærminga ikkje er lik metodologisk, i form av å ha ulik tilnærming til observasjonane og funna (instrumentelle; direkte måling, paleohydr.; tolking av proxyar), og vil dermed ha ulike typar av feilkjelder, vil det vere monaleg om funna frå dei to datasetta overlappar. Overlappet vil knytte saman dei to datasetta, og gje ei komplett flomhistorie for Atna.

Funna frå dei instrumentelt målte flommane finn ein i kapittel tre, som er ei samla skildring og utgreiing av flom i Atna frå 1916 og fram til i dag. Funna frå eventuelle overlapp, samt tilhøyrande vurdering står i kapitel fem.

## ***1.2 Introduksjon til studieområdet***

Atna er ei 102 kilometer lang sideelv til Glomma. Den renn frå Verkildsdalsvatn (1446 meter over havet) ved Trolltinden i sentrale Rondane, og sør-austover til Atnosen (338 m o.h.) ved Atna, der den møter Glomma. På sin veg renn den gjennom dei fem kommunane Sel, Dovre, Folldal, Sør-Fron og Stor-elvdal. Elva får i tillegg tilført vatn frå Nord-Fron, gjennom sideelva Stormyldingi.

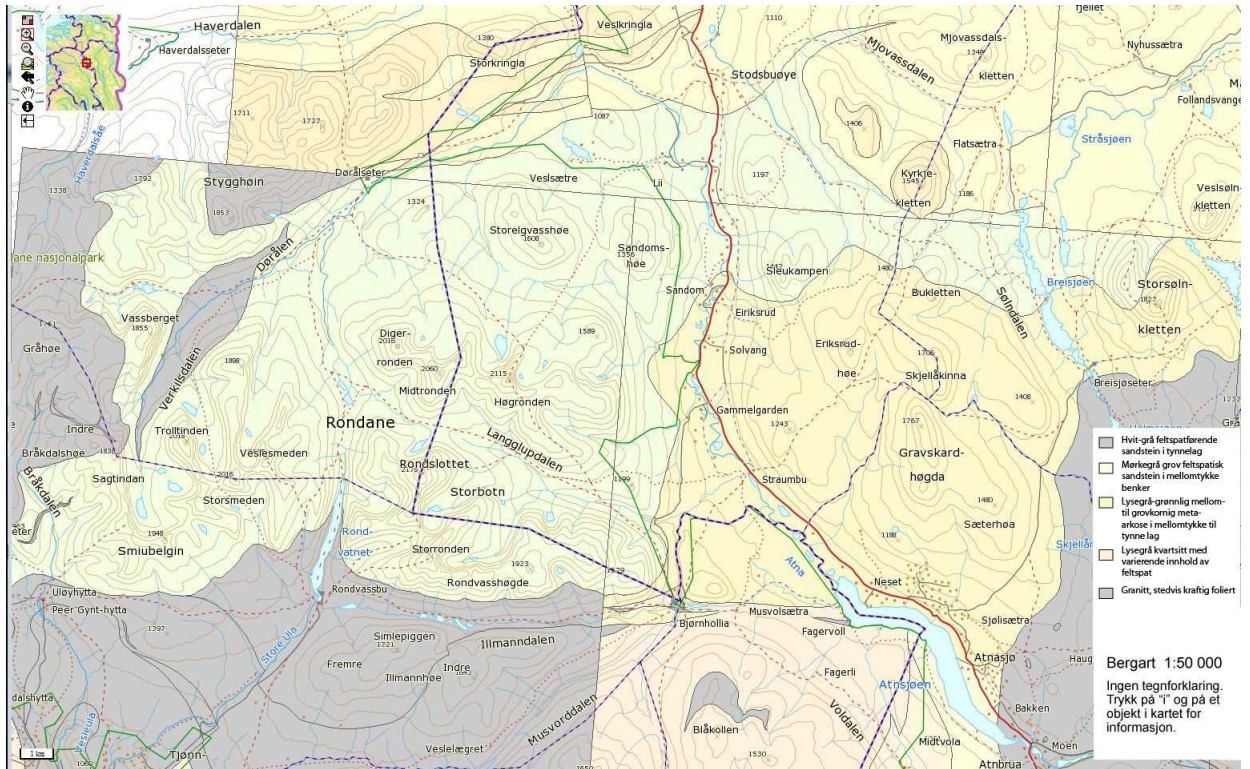
Frå sitt startpunkt ved Verkildsdalsvatn heiter elva Verkildsåe, og renn fyrst nordover i bratt terreng. Etter om lag sju km skiftar elva både retning mot nord-aust, og namn til Døråe. Ferda gjennom Dørålen er om lag 16km, og det er ved enden av Dørålen, mellom Storelgvasshøe og Stodsbuøye, at elva får namnet Atna, og bøyer av mot sør/sør-aust nedover Atndalen. På vegen sørover renn elva forbi Li bru der Norges vassdrag og energidirektorat (NVE) har ein målestasjon for vassføring som har vore operativ sidan 1997. Ved målestasjonen er det nokre små stryk der elva renn gjennom fast fjell, men hovuddelen av ferda går i slakt terreng over Atnsjømyrene. Frå punktet der Atna vender sørover til den når Atnsjøen er det om lag 20km. Fallgradienten her er lågare enn, enn i den øvste delen av elva ( $0,22\% = 2,2\text{m stignig pr. } 1000\text{m}$ ). Ved Straumbu renn elva Stormyldingi inn i Atna frå vest, før elva møter sin lokale erosjonsbasis Atnsjøen (701 m o.h.) ved enden av Atnsjømyrane. Ved Atnas utløp i Atnsjøen har elva laga eit delta frå dei medfrakta sedimenta. Atnsjøen er omkring 10km lang, har eit overflateareal på  $5,3\text{km}^2$  (Eie, 1982), og er 80m djup på det djupaste. Det totale nedbørsfeltet til Atnsjøen er  $457\text{km}^2$ . I den sørlige enden av Atnsjøen, ved Atnsjøens utløp, har NVE enda ein målestasjon, og den har vore operativ sidan 1916. Atna er eit varig verna vassdrag (frå 1983), og det er derfor ei uregulert elv, som eignar seg godt for observasjonar av naturlige variasjonar.



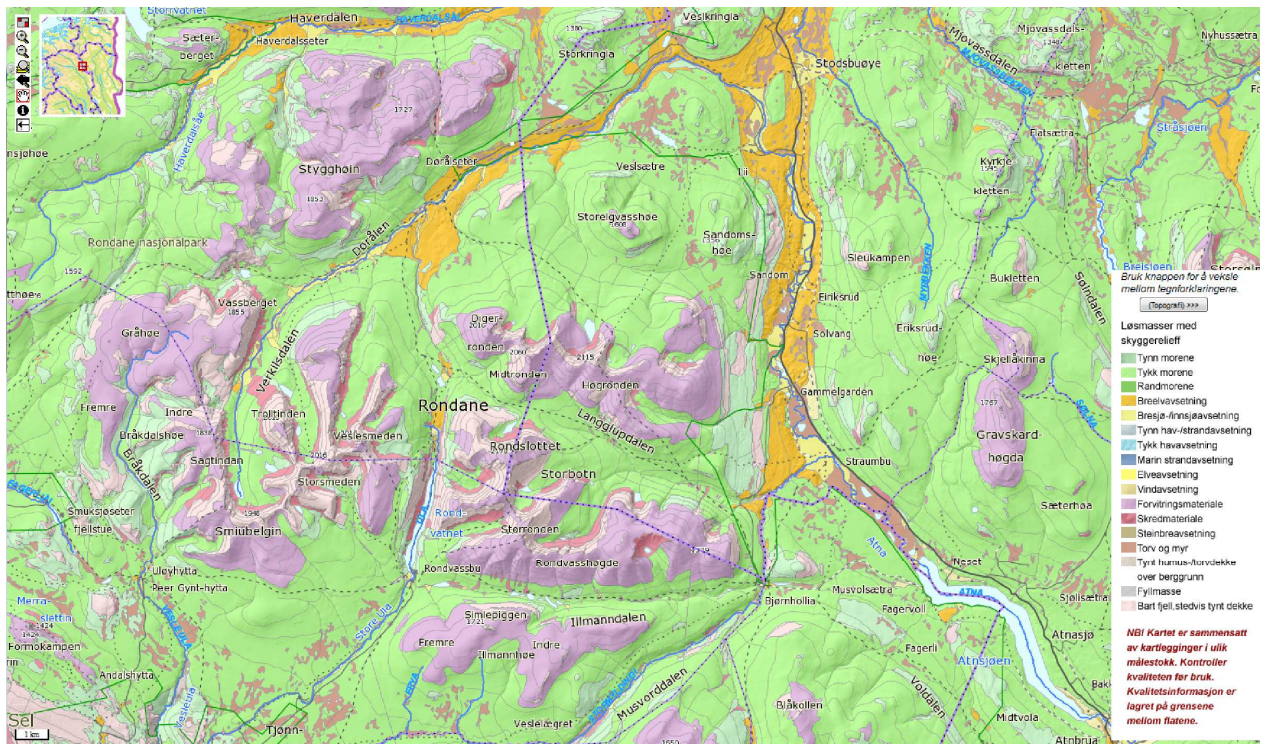
**Figur 1 - Kart over Atna og Atnsjøen, med avgrensingar for feltområdet. Kjelde for grunnkart: NVE-Atlas**

Berggrunnen i feltområdet er metasandstein/glimmerskifer, og er i hovudsak rikt dekket i dalbotnen og langs elveløpet av ulike sediment og jordsmonn. I øvre delar av elveløpet fram til Li bru, renn Atna gjennom morenemassar, samt glasifluvialt og fluvialt materiale. Etter Li bru, der elveprofilen får slakare gradient er området dominert av fluviale avsetjingar samt torv/myr. Sjølv elvebotnen er hovudsakeleg sand, men det finnes innslag av små og større steinar langs sidene av elveleiet. Somme av stadar er elvebotnen/kanalen forsterka med stein for å unngå utgraving eller skade på infrastruktur og eigedom. Den rike tilgangen på sediment, gjer at Atna vil frakte med seg store mengder sediment under flom.





Figur 2 - Bergrunnkart over feltområdet med innteikna elver og stadnamn. Kjelde: NGU



Figur 3 - Kvartærgeologisk kart over feltområdet med innteikna elver og stadnamn. Kjelde: NGU

**Tabell 3 - Snitttemperatur og snittnedbør i feltområdet**

Stasjon 8710 Sørneset	JAN	FEB	MARS	APR	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	Årsgj.snitt:		
Snitttemperatur 1961-90:	-	10,2	-8,1	-4,5	-0,1	6,0	10,7	12,0	10,9	6,5	2,2	-4,6	-8,3	1,0	C
													Årsnedbør:		
Snittnedbør 1961-90:	29,1	21,6	23,6	24,3	40,5	65,5	86,0	70,7	54,5	53,2	40,1	31,2	540,3	mm	

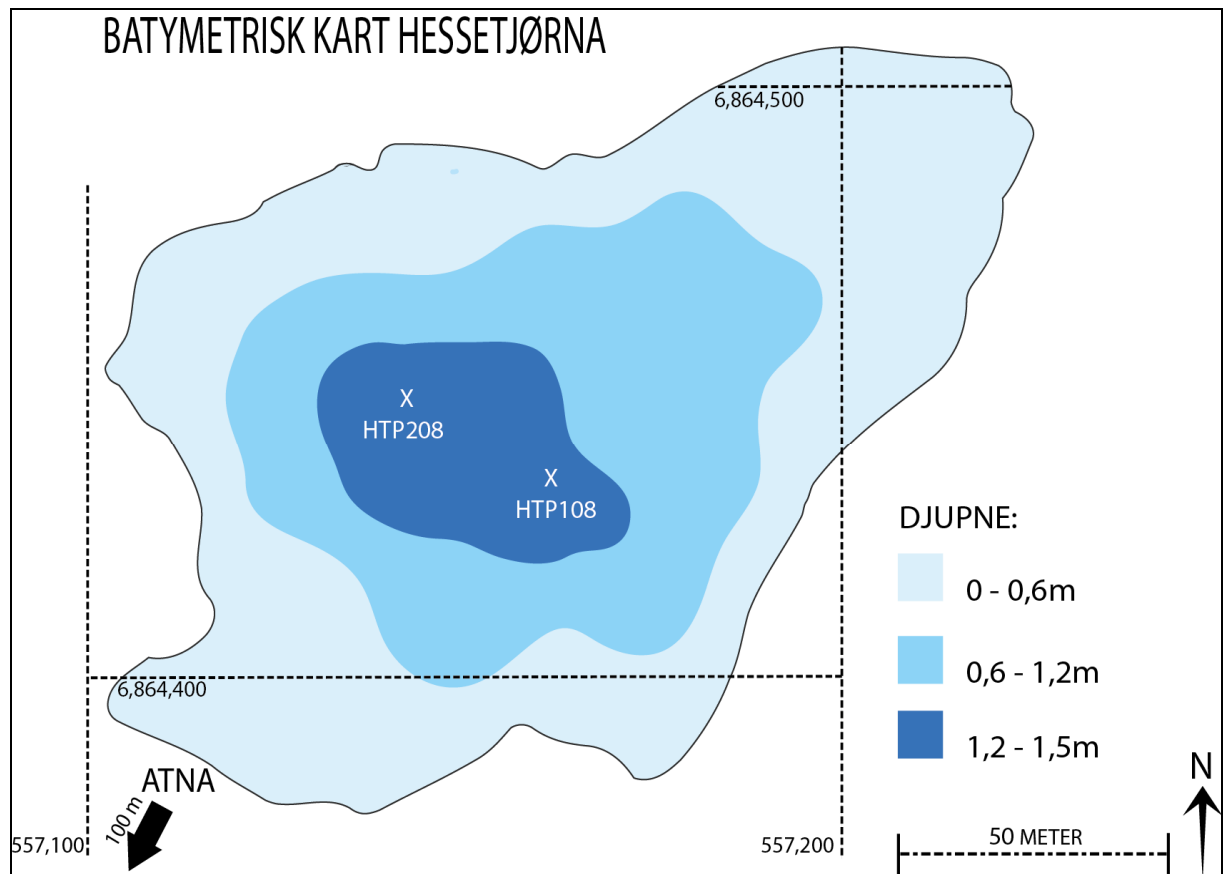
Som synt i tabell 3 er middeltemperaturen på årsbasis i Atndalen ein plussgrad, med månadssnitt under null grader i månadane frå november til april. Det fell meir enn 20mm nedbør i alle månadar, men mest i månadane med snitttemperatur over null grader, og aller mest på sommaren frå juni til september. Nedbøren som fell frå november til april, og truleg også i delar av oktober, vil komme i form av snø, og vil danne grunnlaget for smeltevassflommar under snøsmeltinga i mai og juni. Sidan store delar av nedbørsfeltet til Atna ligg høgare (Rondslottet 2176m o.h.) enn målestasjonen på Sørneset (ca 720m o.h.) i Atndalen, vil ikkje temperatur- og nedbørsdata i tabell 3 samsvare med lokale faktiske tilhøve. Nesje et al. (2001) refererer til mellom anna Haakensen (1989) og skriv at det har blitt berekna at nedbør aukar med 8-10% pr. 100 meter. Tabell 3 gjev likevel ein indikator på innlads klimaet som dominerar feltområdet.

### ***1.3 Avgrensing av feltområde, samt utgreiing om Hesseljørna***

Den direkte avgrensinga for feltområdet til denne studien er Atnas elveløp, inklusiv Atnsjøen, mellom dei to målestasjonane til NVE ved Li Bru og Atnsjøen. Hovudlokaliteten for den paleohydrologiske undersøkinga er Hesseljørna, eit lite vatn på Atnsjømyrene, 2km nordaust for Atnsjøen. Dalbotnen er 750m brei ved Hesseljørna, og Atna sitt elveløp ligg 100 sørvest for vatnet.

Langs dalbotnen i Atndalen finn ein om lag 30 mindre vatn. Dei fleste av desse er isolert frå det normale elveløpet, men ligg samstundes så lågt over den normale vasslina, at Atna renn inn i dei under større flommar, og vil avsetje sediment i dei. Årsaka til at sedimenta blir avsett i vatna, er at hastigheta til elva blir redusert då den møter ein irregularitet som til dømes ein vassmasse/djupare vatn (NRC, 1988).

Sedimenta vil då legge seg på botnen, og over tid vil dei dekkast av nye organiske eller minerogene lag. Er vatnet for grunt, vil ikkje vatnet bremse tilstrekkelig, og i verste fall vil det føre til at flommar med sær stor vassføring vil erodere botnen av vatnet, framfor å avsette materiale. Fleire vatn vart djupnekartlagt, og til slutt vart Hesseljørna vald som den mest egna lokaliteten i Atndalen for å undersøke botnavsetjingane.



Figur 4 - Djupnekart over Hesseljørna. Lokalitet for boring med modifisert Piston corer - 2008

Som det går fram av djupnekartet (figur 3), er Hesseljørna eit grunt vatn. Men sidan dei andre undersøkte vatna, enten var grunnare, mangla eit djupare basseng, eller låg utilgjengelig til, fall valet på Hesseljørna.

## ***1.4 Problemstilling***

Denne studien er ei paleohydrologisk undersøkning av flommar i Atna. Studien vil samla svare på følgjande punkt:

- Kva er flomhistoria til Atna?

For å rekonstruere flomhistoria til Atna, vil eg analysere lakustrine sediment frå Hesseljørna for å identifisere flomlag. Eg vil vidare lage ein aldersmodell for flommane og avsetjingane i Hesseljørna gjennom å datere eit utval makrofossil kring flomlaga. Gjennom aldersmodellen, vil ein kunne finne flomfrekvensen, samt sedimentasjonsraten i Atna. Ein kan dermed sjå om avsetjingsmønsteret og flomfrekvensen har endra seg, eller vore stabil gjennom den observerte perioden.

Eg vil vidare samanlikne flomhistoria frå Hesseljørna med funna frå Nesje et al. (2001), Bøe et al. (2006) og Killingland (2009), for å sjå om flomsignala er lokale, eller om dei også representerer lokale flomsignal.

Som skrive i innleiinga vil eg også presentere den moderne flomhistoria til Atna i kapittel tre. Bakgrunns materialet for dette arbeidet er instrumentelle målingar av Atna utført av Norges Vassdrag og Energidirektorat. Sjølv om spørsmåla under vert diskutert og besvart, vil eg presisere at denne delen av studien ikkje er ein hovuddel av oppgåva. Kapitel tre vil i så måte stå meir som ei utdjuping for å forstå utviklinga i den moderne flomhistoria, og feltområdet generelt, enn som ein fullstendig og avslutta analyse.

- Kor ofte finn ulike flomepisodar stad i Atna?
- Er det berre smeltevassflommar i Atna, eller finnes det regnflommar også?
- Finnes det periodar med meir flom i løpet av observasjonstida?

## ***1.5 Tidlegare studiar i Atna og i regionen***

Grunna nærleiken til Rondane og Atnavassdraget som varig verna vassdrag, har Atndalen, og elva Atna vore område for ei rekkje studiar innan ulike fagdisiplinar. Tilbake i 1960 skreiv J.Gjessing *Issmeltingstidens drenering i Nordre Atnedalen*, og i 1965 skreiv J. Sulebak rapporten *Massebevegelse og fluviale prosesser...i Nordre Atnedalen*. Seinare vart vassdraget utgreia i samanheng med at Atna skulle vernas (NOU 1983:42, Eie 1982, Bogen 1983). I nyare tid finn ein mellom artiklane *Erosion and sediment yield in the Atna river Basin* av J. Bogen (2004), og *Hydrology of Lake Atnsjøen and River Atna* av A. Tvede (2004). Dei to sistnemnde artiklane har vore nyttig bakgrunns litteratur for oppgåva, og for forståinga av vassdraget. Dette er berre eit utval av studiar frå Atna, og det finnes mange fleire, spesielt innan ferskvassøkologi.

Artiklane med høgst relevans for denne oppgåva er frå Nesje et al. (2001) og Bøe et al. (2006). *A ~4500-yr record of river floods obtained from a sediment core in Lake Atnsjøen, eastern Norway* av Nesje et al. (2001) presenterer ein studie i artikkelen som er ei samanstilling av historisk kjende flommar i Glomma, og nye funn gjennom ei paleohydrologisk undersøking av innsjøsediment i Atnsjøen. Sidan Atnsjøen er lokal erosjonsbasis for nordre Atna, er studieområdet det same som denne studien omhandlar. Metoden for uthenting av sedimenta (piston corer 110mm), og dei fleste analysane er også like. Nesje et al. fann i alt 30 flomlag i kjernen, med gjentaksintervall på  $150 \pm 30$  år. Dei øvste flomlag overlappar med historisk kjende flommar, derunder Storofsen, men det vart ikkje funne nokon samanheng mellom flomlag, og snøskred/grove massestrømmar (sørpeskred) frå Møre og Jotunheimen. Dette vert forklart med at flom i Atna, og skred i Jotunheimen og på Møre truleg oppstår ved ulike værthøve, og har ulike utløysingsfaktorar/mekanismar. Borekjernen som vart nytta i artikkelen vart henta opp frå Atnsjøen, 2 månadar før Vesleofsen fann stad.

Det er sannsynlig at kjernen frå Hesseljøerna har ein tilsvarande flomsignatur som kjernen frå Atnsjøen. Det vil i tillegg vere monaleg om den dekkjer eit lengre tidsrom, både tilbake i tid for å dekkje ein større del av holosen, men også med å inkludere Vesleofsen.

*Holocene river floods in the upper Glomma catchment... a multiproxy record from lacustrine sediments* av Bøe et al. frå 2006, presenterer ein studie av flomsediment frå Butjønnå i Folldal, 27km nord for Atnsjøen. I studien som dekker frå 9800BP til notid, blir det identifisert 115 distinkte flomlag, som varierer frå 1mm til 620mm i tjukn. Gjentakintervallet på flommane er 90år. Om funna frå Hesseljørna korrelerer med funna frå Butjønnå, vil det tyde at signala i dei respektive vatna er av meir regional enn lokal karakter.

## ***1.6 Flom på austlandet***

Flom i Norge vert normalt delt inn etter to typar; smeltevassflom eller regnflom. Smeltevassflommane kjem som følgje av at store mengder snø smeltar, grunna brå temperaturauke og innimellom også kraftig nedbør, medan regnflommane finn stad etter kraftig nedbør. På folkemunne seier ein gjerne at regnflommane finn stad på vestlandet, medan smeltevassflommane finn stad på austlandet. Dette stemmer i stor grad med lokale og instrumentelle observasjonar, men ein finn også regnflommar på austlandet. Under undersøkingane i felt sommaren 2008 informerte ein av dei fastbuande i Atndalen at det mellom anna var ein regnflom i Atndalen tidleg på hausten 2003. Informanten fortalde vidare at regnværet dagane rundt flommen var så kraftig at det gjekk fleire ras i Atndalen.

Støren et al (2011) refererer til Gottschalk et al. (1979), og skriv at sjølv om det er kjend at kraftig regn på seinsommaren kan forårsake flommar, er flommaregimet i sørlige innlands-Norge klassifisert som smeltevassdominerte. Vidare refererer dei til Wold (1992), og forklarar smeltevassdominansen i Sør-Norge med at om lag halvparten av årsnedbøren vert lagra i snø. Men kva tilhøve gjev grunnlag for den stor snøpålaging?

Klimaet i Norge er i stor grad påverka av trykksystema over havområda utanfor Sentral- og Nord-Europa. Grunna den nordatlantiske osillasjonen (NAO) som er trykkgradienten mellom høgtrykket over Azorene, og lågtrykket over Island, kjem lågtrykka under normal NAO frå vest innover mot norskekysten der dei i Sør-Norge møter fjella på vestlandet og slepp frå seg mesteparten av regnet. Høgste årsnedbør i Norge finn ein på Takle (Brekke) i Gulen i Sogn og Fjordane med 5546mm (1990), medan ein øst for Breheimen kan finne årsnedbør under 300mm i året. Grunnen til dette er at fjella på vestlandet og innover mot til dømes Jotunheimen lagar ein regnskugge for austlandet. Støren et al. (2011) viser til Nesje et al.(2000) samt Hansen-Bauer og Førland (2000), og skriv at påverkinga av NAO minkar mykje langs transektet frå vest til aust, og at austlandet får mesteparten av nedbøren sin under tilhøve med meir sørlig sirkulasjonssystem. Vidare viser Støren et al. til at dei to studieområda i artikkelen; Skåbu og Follidal, kan få tilført vinternedbør ulikt, frå ulike trykksystem sjølv om dei

begge ligg på austlandet, og dei berre ligg 70km frå kvarandre. I tilfellet der det er eit lågtrykk over vest-Russland og høgtrykk over Storbritannia vil Folldal få meir vinternedbør enn Skåbu. Vinternedbøren kjem i dette tilfellet nordfrå. Samla sett tyder dette at NAO-indeksen har lite å seie for nedbør på austlandet, og det kan vere fleire ulike sirkulasjonssystem som gjev vinternedbør og flom i Atndalen. Dei rådande trykktilhøva er ved sonale trykksystem som sender lågtrykk sørfrå mot austlandet, men nedbør kan også komme frå nord, under andre tilhøve.



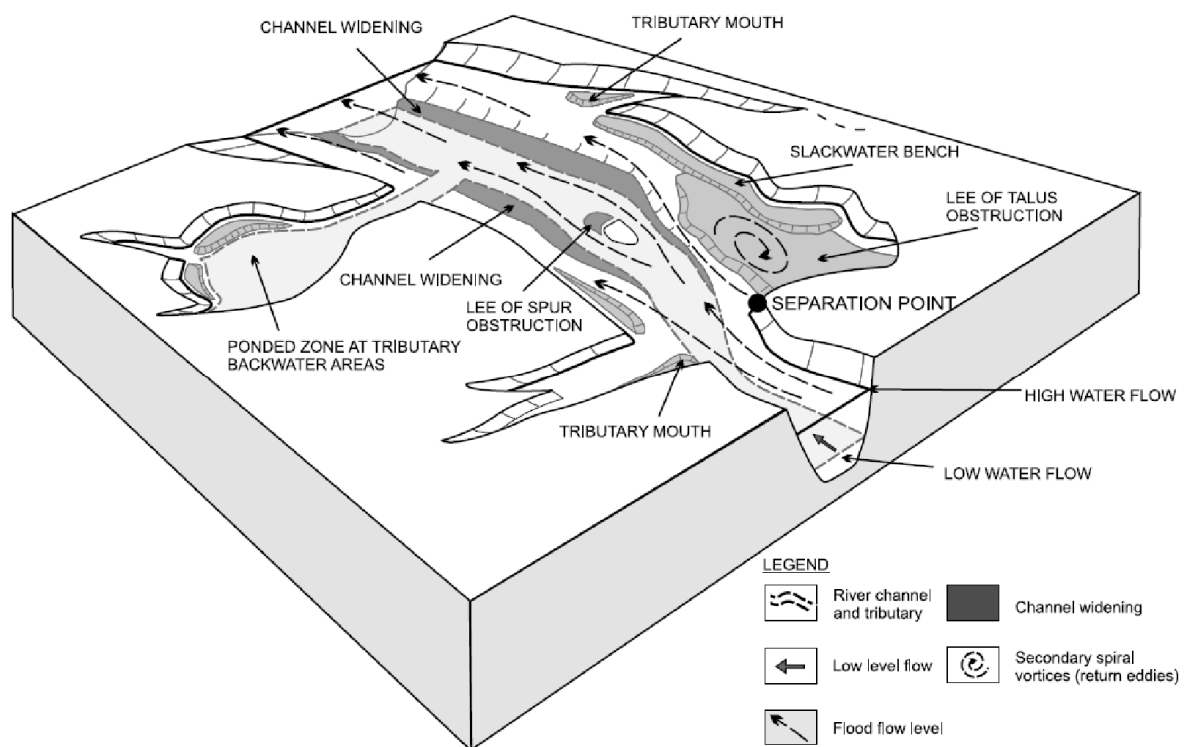
## ***1.7 Paleohydrologi***

Omgrepet paleohydrologi, eller rettare paleoflomhydrologi, vart fyrst nemnd av Kochel og Baker i 1982. Det er ei vitenskapsgrein som studerer flommar som ikkje har blitt observert, historisk dokumentert eller instrumentelt målt av menneske (Baker, 2006). Baker et al. ( i House et al. 2002), skriv at liknande studie hadde også blir gjort tidlegare. Mellom anna av Tarr (1892) som skildra det som seinare vart kjend som slackwater deposits (SWD), og Stewart (1922) som argumenterte for nytta av paleostage indicators (PSI) (Sjå lenger nede for forklaring av «SWD-PSI»). Men det er Bretz, 1929, & Bretz et al., 1956, som gav dei største bidraga til det som seinare vart formalisert som paleohydrologi. Omgrepet vert ofte feiltolka grunna «paleo», som tyder urgammal eller forhistorisk, og mange trur derfor at dei studerte flommane må vere veldig gamle (Benito & Thorndycraft, 2005). Men som det går fram av definisjonen over, fortel også Benito og Thorndycraft, at det er ikkje alderen på flommane som definerer vitenskapen, men heller det faktum at flomdokumentasjonen vert henta frå fysiske spor flommane avsett. Likefult er det vanleg at paleohydrologi omhandlar forhistoriske flommar, men det er meir ei trend enn eit krav. Det vanlegaste datagrunnlaget for paleoflomundersøkingane er «SWD-PSI». SWD er grovkorna sediment som vert avsett under flom langs elvekanalen, til dømes i lommer/holer i fjellsider eller tilstøytane vatn (jamfør Nesje et al. 2001 og Bøe et al, 2006). PSI er nivåindikatorar som syner kor høgt vassmassane/vasslina har stått ved høgste vassføring. Dette kan vere sediment som er oppsamla i lommer og på hyller i dalsider, merker på trær, eller erosjonsmerker i terrenget. Baker (2006) hevdar at dei beste lokalitetane for SWD-PSI-studier, ofte er smale dalar/canyonar i fast fjell, der elva har rik tilgang på sanddominerte sediment. Dei vanligaste studia relatert til paleohydrologi inkluderar gjerne flomfrekvensanalysar, maks avrennings-modelleringar, sedimenttransport, regimeendringar, og samanhengar mellom regimeendringane og klima.

Det har lenge vore lite samarbeid mellom hydrologar som nyttar instrumentelle og statistiske metodar for å finne resultatane sine, og paleohydrologar. Hydrologar argumenterer for at deira funn er absolutte målingar, og der dei kan kalibrere modellane sine korrekt vil det ikkje vere behov for lengre dataseriar, der berre dei

største flommene er registrert. Paleohydrologoar argumenterer på si side med at ein ikkje kan få ei god nok kalibrering av modellar sidan dei byggjer på relativt korte tidsseriar, og på den måten kan gå glipp at tidlegare forekomne ekstremflommar.

Som skrivne i innleiinga vil det derfor vere interessant og monaleg om funna i denne studien kan finne eit overlapp mellom flommene i den paleohydrologiske og den instrumentelle delen.



**Figur 5 - Eksempel på relevante funnområde med tanke på SWD-PSI innan paleoflom. Kjelde: Benito & Thorndycraft 2005**

## 2. Metode

---

I studien har ei rekkje metodar vorte nytta, både under innsamling av data, og under analysen av dei. Under kjem ei forklaring av dei enkelte metodane, samt ei skildring om korleis dei vart nytta.

### 2.1 Djupnekart

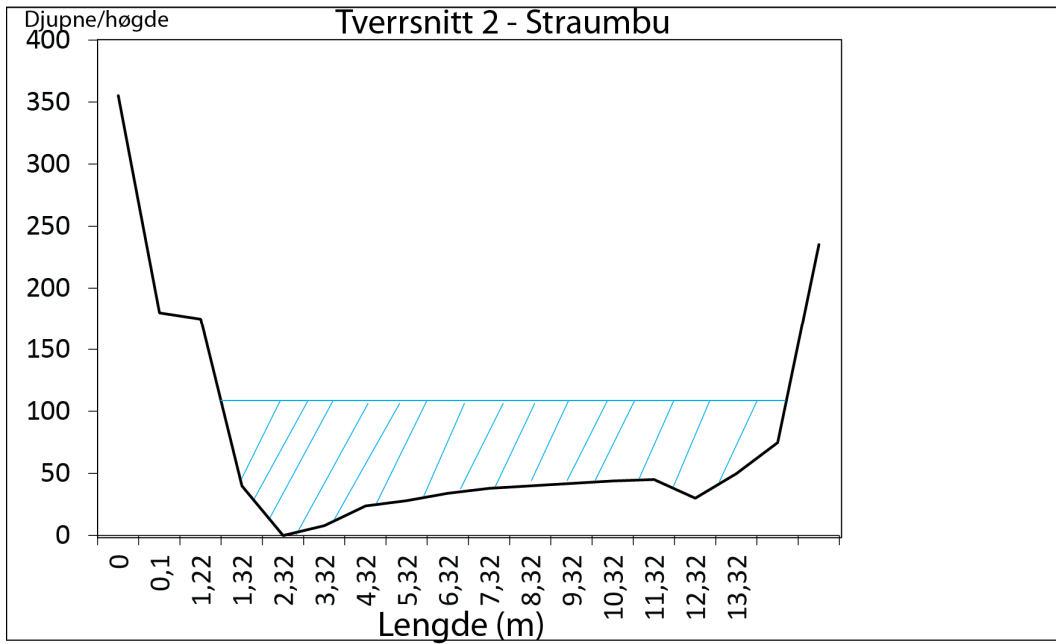
Djupnekart/batymetrisk kart er til for å danne seg eit bilete av korleis botnforholda er i det respektive vatnet. Målet er å finne eit vatn som er djupt, med eit definert djupare parti/basseng. Dette bassenget vil i forbindelse med SWD fungere som ei sedimentfelle, då vatnet bremsar i den djupare vassøyla.

For å lage djupnekartet vart det nytta ein *Garmin Csx60 GPS* som posisjonslogger/høgdemålar, saman med eit *Garmin fish finder* ekkolodd. Det vart kjørt rundt i transekt på vatnet, samstundes som posisjonen og djupna vart logga i faste intervall. Somme av vatna synt seg å vere uaktuelle utan vidare analysar, då dei ikkje hadde eit einaste punkt djupare enn 1m. I Hesseljørna, og dei andre vurderte vatna sitt tilfelle, vart posisjonane lagt over i eit GIS-verktøy, og kopla med djupneverdiane som Z-verdi. Utifrå dette vart det laga djupnekart, og noko som var med å velje Hesseljørna som lokalitet. I samanheng med denne teksten har djupnekartet (figur 3) blitt justert i Adobe illustrator.

### 2.2 Elveprofilmåling

I felt vart det målt tre tverrprofilar av elveløpet. Intensjonen med målingane var å måle ein serie tverrprofil, for seinare å kunne modellere terskelvasslina for hovudeløpet på utvalde stadar, og presentere funna i eit flomsonekart. Grunna manglande utstyr, tid og

kunnskap om dette arbeidet vart det berre målt tre tverrprofil, og det vart heller ikkje laga eit flomsonekart for området.



Figur 6 – Tverrsnitt av Atna like nord for Straumbu. Kartreferanse manglar.

### ***2.3 Piston corer – prøvekjernetakar for innsjøsediment***

Prøvekjernetakaren som vart nytta for å hente ut bunnsedimenta i Hessesjøerna var ein modifisert piston corer (Nesje, 1992), som er laga for å hente ut opp til 6m lange kjernar frå innsjøar. Systemet fungerer ved at eit 110mmØ rør etter ønska lengde vert hengt opp i ein talje med ei sedimentfelle nedst, og eit lodd på toppen. Loddet bevegar seg fritt frå røret, og blir nytta til å dunke røret ned i botnen. Ein held fram med å banke røret ned til røret er heilt fullt, eller til ein møter motstand så røret ikkje kan komme lenger ned. Prøvetakaren kan opererast frå is, eller frå ein flåte, og 2-3 personar kan sjølvstendig utføre operasjonen, og hente ut opp til fleire kjernar på ein dag.



**Bilde 1-På veg bort til Hessesjøerna med piston corer flåten**

### ***2.4 HTH-kjernetakar (gravitasjonskjernetakar)***

For å sikre at funna frå Hessesjøerna ikkje var ein anomali frå sedimentsignaturen elles i Atndalen, samt med eit ønske om å finne utbreiinga av 1995-floppen i Atndalen, vart det tatt sedimentprøvar frå fleire av vatna i dalen med ein liten stempelprøvetakar.

Prøvetakaren kan opereras av ein person. Prøven ein får opp er om lag 5cm Ø, og 50cm lang. Grunna den korte lengda får ein berre med seg ein kort fase av sedimenta, men den vert ofte nytta saman med piston corer kjernen, for å sikre at ein får med seg topplaget av dei lakustrine sedimenta, jamfør Killingland (2009). Etter at sedimenta har blitt visuelt analysert og fotografert, er det vanleg å dele sedimenta opp i lag på 5-10mm, for å frakte dei med seg for vidare undersøkingar. Prøvane frå Atndalen har ikkje blitt studert vidare, og er ikkje med i denne studien.



Bilde 2 -- Innsjøsediment tekne opp med HTH-stempelprøvetakar

## ***2.5 Snitt***

For å sjå nærare på SWD-stadar og elvesletta si oppbygging, vart det gravd fleire snitt langs dagens elveleie. Det største snittet vart gravd på elvesletta ved Nordre-Sandom, 10km nordvest for Atnsjøen. Her vart det gravd eit 2,5m djupt snitt, om lag ein meter inn i det eksisterande elveleiet. Det vart også banka ned eit 2m langt 110mm Ø, plastrør, som vart kalla ARB108, og denne vart tatt med tilbake til Bergen for vidare analysar.

Etter at røret vart tatt ut, vart det tatt ut 5 osl-prøvar for å datere dei ulike laga nedover i elvesletta.



**Bilde 3 - Snitt ved Nordre Sandom**

Herunder følg skildringar av dei ulike labanalysane som har blitt nytta for å tolke kjernen.

## ***2.6 Vassinnhald og massetettleik***

Vassinnhaldet i kjernen blir målt ved å tørke prøvar frå kjernen ved 105°C 12 timar/over natta. Prøvane er henta ut frå overflata av kjernen for kva 5mm, og prøven blir vege både før og etter tørkinga. Kvar prøve er om lag 1cm<sup>3</sup>. Vassinnhaldet kan seie noko om pakningsgrada/kornfodeliga eller mengda organisk materiale.

Vassinnhaldet vert rekna ut med formelen:

$$W\% = (W_w * 100) / W_d$$

Dar  $W_w$  vekta av vatnet i prøven, og  $W_d$  er vekta av den tørre prøven.

Massetettleiken finn ein med å dele tørrvekta av prøven på volumet av prøven.

$$M = \text{Tørrvekt} / \text{Volum}$$

Massetettleiken seien noko og porevolumet til prøven, og dermed også i stor grad det same som vassinnhaldet.

## ***2.7 Glødetap – Loss on ignition***

Glødetap er ein metode for å finne kor stor mengda er av organisk materiale i sedimenta. Målet med metoden i denne samanhengen er å underbygge funna frå den visuelle analysen av kjernen, og kanskje også identifisere nye minerogene signaturar, som ikkje er synlege ved å studere overflata av kjernen. Metoden blir utført like etter at prøvane som er nemnd i kapittel 2.6 er ferdig vege etter å ha blitt tørka. Prøvane blir då sett inn i ein spesialovn der dei over 1,5 time blir brent på 550 °C. Det organiske materialet vil då brenne opp, og ved å vege prøvane vil ein finne vekttapet, som fortel mengda organisk sediment, samt forholdet organisk/minerogene sediment. Metoden er

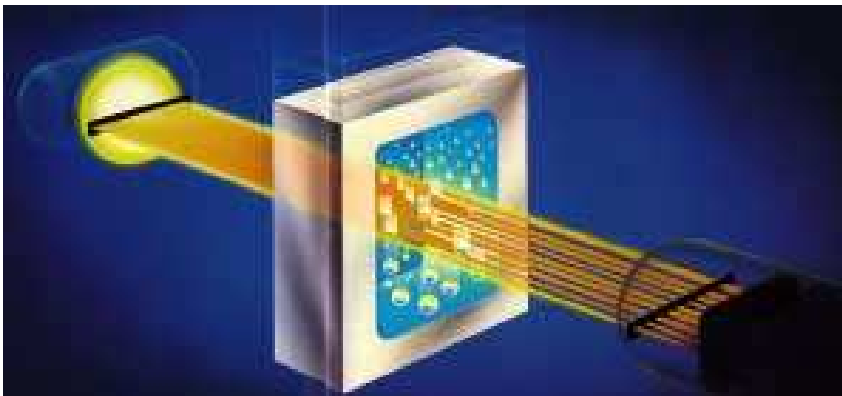


skildra i Heiri et al. (2001). Kvar tiende prøve vart i tillegg brent på 950 °C i ein time, for å finne karbonatinnholdet i prøven.

Utrekning av glødetap:  $LOI_{550} = ((DW_{105} - DW_{550}) / DW_{105}) * 100$

## ***2.8 Kornstorleiksanalyse***

Kornstorleiksanalyse vart utført for å finne trekk ved flomlaga i kjenen HTP108 frå Hesseljørna. Flomlaga vart fyrst silt gjennom ei 250µm og ei 125µm sikt. På denne måten vart organisk materiale som kvistar og bladrestar fjerna frå prøvane. Materialet mellom 250µm og 125µm, og materialet under 125µm vart først tørka og vege, før materiale under 125µm vart tilført vatn og calgon, miksa sånn at sedimenta er i suspensjon, og målt i ein Micromeritics®SediGraf 5100. Dette apparatet måler kornstorleik mellom 0,1µm (leire), og 125µm (veldig fin sand) gjennom ein lavrøntgenstråle. Erfaringa etter at prøvane var kjørt er at veldig fine partiklar (under 2-4 µm) kan bli overrepresentert då dei er flate, framfor større partiklar som er runda.



**Bilde 4 - - Illustrasjon av korleis kornstorleiken vert målt**

## ***2.9 Magnetisk suceptibilitet***

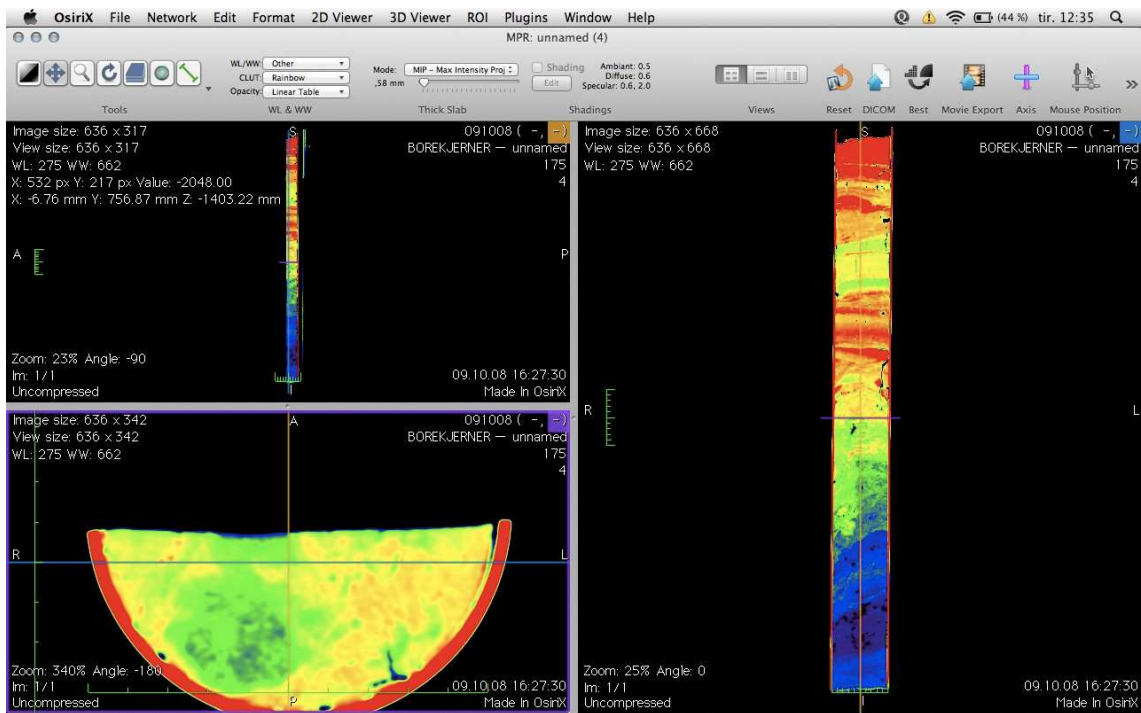
Magnetisk suceptibilitet (ms) er ein målemetode, som finn sedimentas evne til å ta opp magnetisme, når det blir eksponert for eit magnetisk felt. Det er normalt ein samanheng

mellom ms og minerogene sediment, men det fordrar at sedimenta har eit visst nivå/høgt nivå av jern i seg. Det vart målt ms på alle kjernane, men grunna ein feil, vart dei ulike delane av hovudkjernen HTP108 målt med ulike intervall (0,5cm og 0,2cm). Verdiane er derfor ikkje nytta vidare i analysen av sedimenta. Det kan likevel nemnast at av førebelse resultat, virker det som om HTP108 har lave ms-verdiar jevnt over, og syner lite samsvar med funna av minerogene sediment frå LOI. I likskap med CT er ms ein analysemetode der ein kan analysere kjernar utan å øydelegge/fjerne delar av dei.

## ***2.10 CT – X-ray Computed tomography***

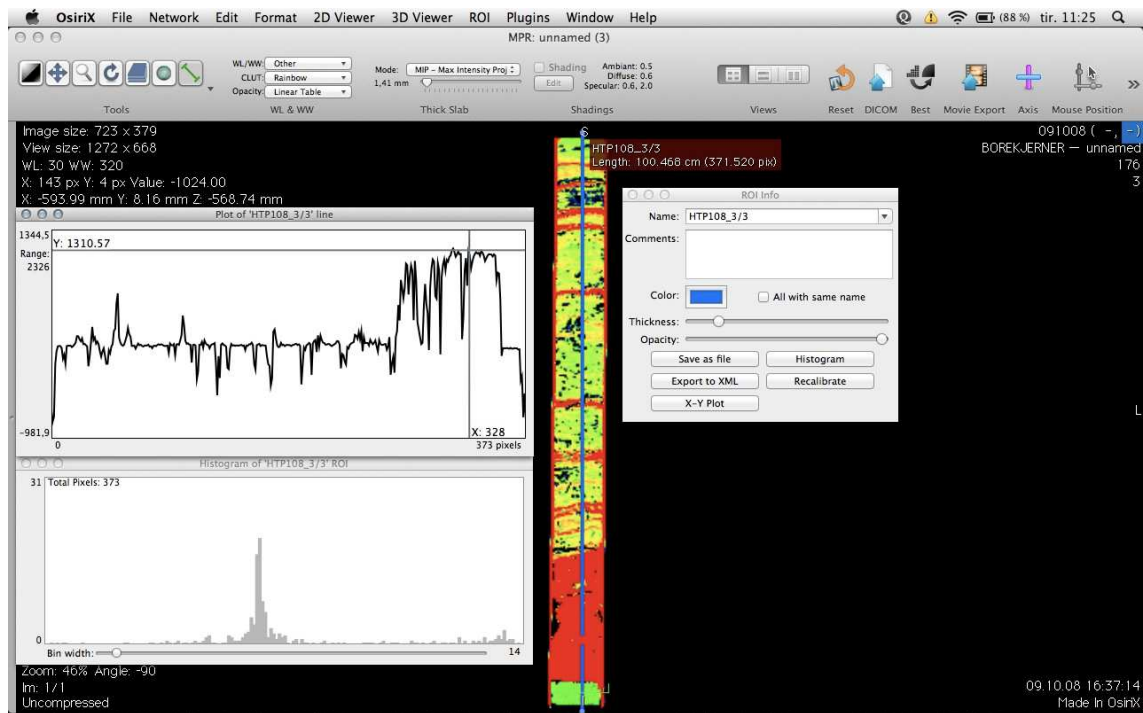
CT, eller X-ray computed tomography, er ein målemetode der kjernane blir scanna i ein høgoppløyselig 3d-røntgen-scannar. Scannaren som vart nytta tilhøyrrer Haukeland sjukehus (Helse Bergen), og er ein «Toshiba Aquilion 64 slice third-gen. multislice spiral CT-scanner». Bilda vart analysert i gratisversjonen av Osirix ([www.osirix-viewer.com](http://www.osirix-viewer.com)). Scannaren, og teknologien er i utgangspunktet tiltenkt helse-føremål, men det finnes fleire eksempel på at CT kan nyttast innan geovitskap, og Støren et al. (2010) har i tillegg nytta scannaren på innsjøsediment, likt med denne studien.

Scannaren måler tettleik i betar på 512\*512 (1 voxel), og kvar voxel får tildelt eit tettleiksnummer, (Hounsfield-HU, etter oppfinnaren av CT) som fortel kor mykje av røntgenstrålinga som blir blokkert av massen. Til høgare HU-verdi, til tettare masse. Merk at i kontekst av flomlag i ein innsjøkjerne, vil ikkje det høgaste HU-verdien tyde den største flommen, eller den flommen med høgst kompetanse, men snarare peike mot flomlag med finare/usortert materiale, der det er få porer i sedimentet. Ein kan sjølvsgatt også identifisere objekt/lag i kjernen med lave HU-verdiar til dømes kvistar eller andre makrofossil.



**Bilde 5 - Skjerm bilde frå Osirix. Biletet syner HTP108 2/3. Raudt tyder høgt/tett minerogent innhald, blått tyder hødt organisk innhald.**

Fordelane med CT-scanning er fleire. For det fyrste er oppløysinga veldig høg. Scannaren kan ta målingar for kvar millimeter. For det andre er det ein fordel at kjernane kan forbli inntakte, og for det tredje er det tidsbesparande. I løpet av eit par timar kan ein scanne, og analysere kjernane for sedimentlag/organiske lag osb. Sett i samanheng med LOI kan ein spare mykje tid, men inntil vidare er CT berre ein suppleringsmetode, og har ikkje erstatta til dømes glødetap. Skal det skje, må software tiltenkt geologiske studier utviklas, og det må standardiserast ein tettleikskurve mellom HU og ulike sedimenttypar.



**Bilde 6 - HTP108 3/3 Biletet syner HU-verdien gjennom kjernen.**

Ei ulempe med CT-scanning er at det er vanskelig å få tilgang til ein CT-scannar, og kostnaden med å nytte måleapparatet er høg. Ein scannar av denne typen er ei kostbar investering, og dei få forskingsinstitusjonar innan naturvitskap er i posisjon til å kjøpe ein.

I tida etter desse målingane vart gjort har ein XRF-scannar blitt gjort tilgjengelig på mat-nat-labben ved UiB. Dette er ein spesialisert scannar som kan identifisere fleire ulike parameter med høgare oppløysing enn det som var mulig med CT-scannaren. Det er derfor truleg, at den hadde blitt nytta framfor CT-scannaren om undersøkingane skulle bli gjort i dag.

### 3. Instrumentelt målte flommar i Atna 1917-2011AD

---

I denne delen av studien presenterer eg trender frå instrumentelle målingar av vassføringa i Atna. Målingane er systematisert i eigenproduserte tabellar, basert på større rådatasett frå NVE(Vassføringsmålingar) og Norges meteorologiske institutt (Temperatur, nedbør og snø). Tabellane og rådata vert lagt ved i den digitale utgåva.

Følgjande spørsmål blir besvart i dette kapittelet:

- Kor ofte finn ulike flomepisodar stad i Atna?
- Er det berre smeltevassflommar i Atna, eller finnes det regnflommar også?
- Finnes det periodar med meir flom i løpet av observasjonstida?
- Er det ein samanheng mellom flomutviklinga og nedbørsutviklinga i Atna?

NVE har to målestasjonar i nordre Atna. Ein ved Atnsjøen, og ein ved Li Bru. Stasjonen ved Atnsjøen har vore i drift sidan 1916, medan stasjonen ved Li bru har vore i drift sidan 1997. Begge stasjonane måler vasstand og vassføring, men det er vassføringa som er nytta som datagrunnlag for flom/vassanalysane i denne studien.

NVE har informert om at det finnes periodar i måleseriane der stasjonane ikkje har vore i drift grunna vedlikehald eller skader på måleutstyret. Ei av hendingane der måleutstyret ikkje var operativt var under Vesleofsen i 1995. Då vart målaren ved Atnsjøen ødelagt grunna dei store vassmassane, men det vart teke flommerke under flommen, og vassføringa har i ettertid blitt estimert og ført inn i tabellen som offisielle verdiar.

Verdiane som er nytta for vassføringsmålingane er døgnmålingar frå klokka 12.00 kvar dag. Det kan gje feilmargar sidan vassføringstoppen kan komme på eit anna tidspunkt enn måletidspunktet (ofte på ettermiddagen). Det gjev også rom for at kortare vassføringstoppar, til dømes momentanflom ikkje vert tekne med i min analyse. NVE opplyser om at momentanflom alltid vil vere større enn døgnmiddelflom, men målingane for Atnasjø og Li bru syner at sjølv middelflommar har signal i meir enn 24

timar, og eg vil hevde at det berre er mindre aukar i vassføringa lågare enn middelflomsnivå som ikkje vert registrert i mitt datasett.

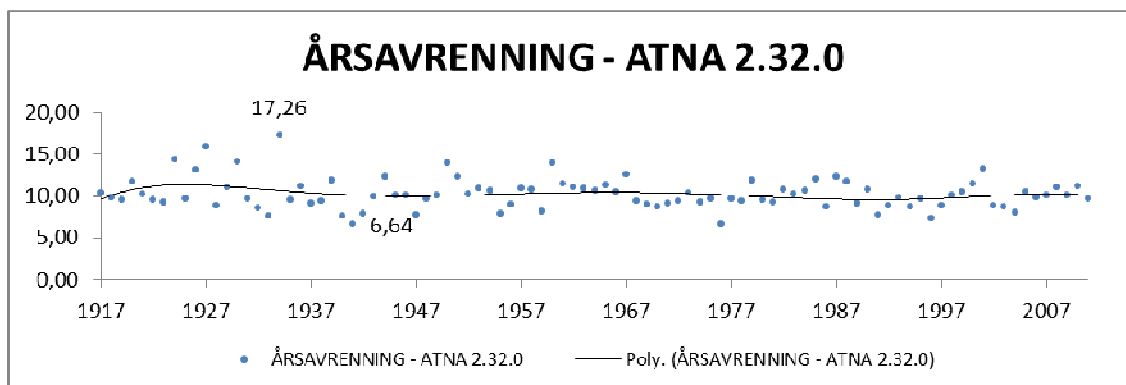
Gjennom regresjonsanalyser vart det funne eit forhold mellom vassføringa på Li bru og ved Atnsjøen på 0,76 med 99% konfidensintervall. Dette syner at sjølv om Atna får tilført vatn frå sideelvar mellom Li bru og Atnsjøen, er det ein korrelasjon mellom vassføringa ved Li bru og ved utløpet av Atnsjøen i 76% av tilfella. Trass samanhengen har stasjonen i Atnsjøen vore lengst i drift, og syner i tillegg ei meir relevant vassføring for Hestetjørna. Atnasjø er meir relevant enn Li bru grunna tilførselen frå sideelvar, til dømes Stormyldingi som renn inn i Atna etter Li bru, men før Atna renn forbi Hestetjørna. Flesteparten av analysane har derfor blitt gjort på datasettet frå Atnsjøen.

For Atnsjøen har vassføringsmålinga eksistert over eit langt nok tidsrom til at det er etablert terskelverdiar for middelflom, 5-årsflom og 50-årsflom. For Li bru har målingane pågått kortare, og det er berre etablert middelflomterskel.

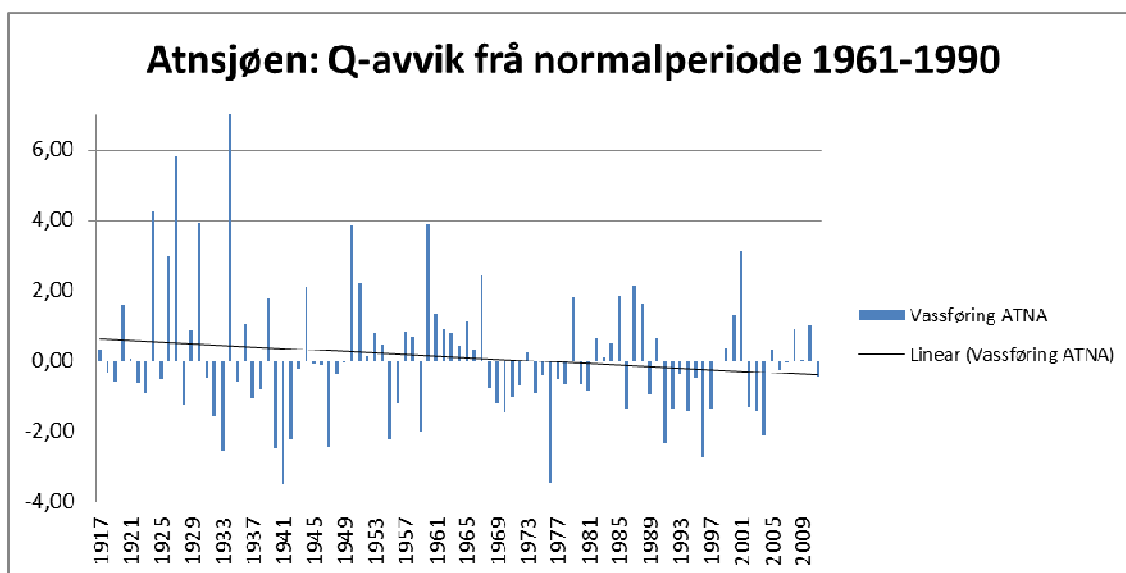
**Tabell 4 - Flomtersklar for NVE sine målestasjonar i Atna**

<b>Flomtersklar for ATNA</b>		Verdiar i m <sup>3</sup> /s	
Stasjon:	Middelflom	5-årsflom	50-årsflom
Atnasjø:	73	90	144
Li bru:	26		

### 3.1 Vassføring i Atna



Figur 7 - Årsavrenning Atnsjøen



Figur 8 - Q Avvik frå normalperiode

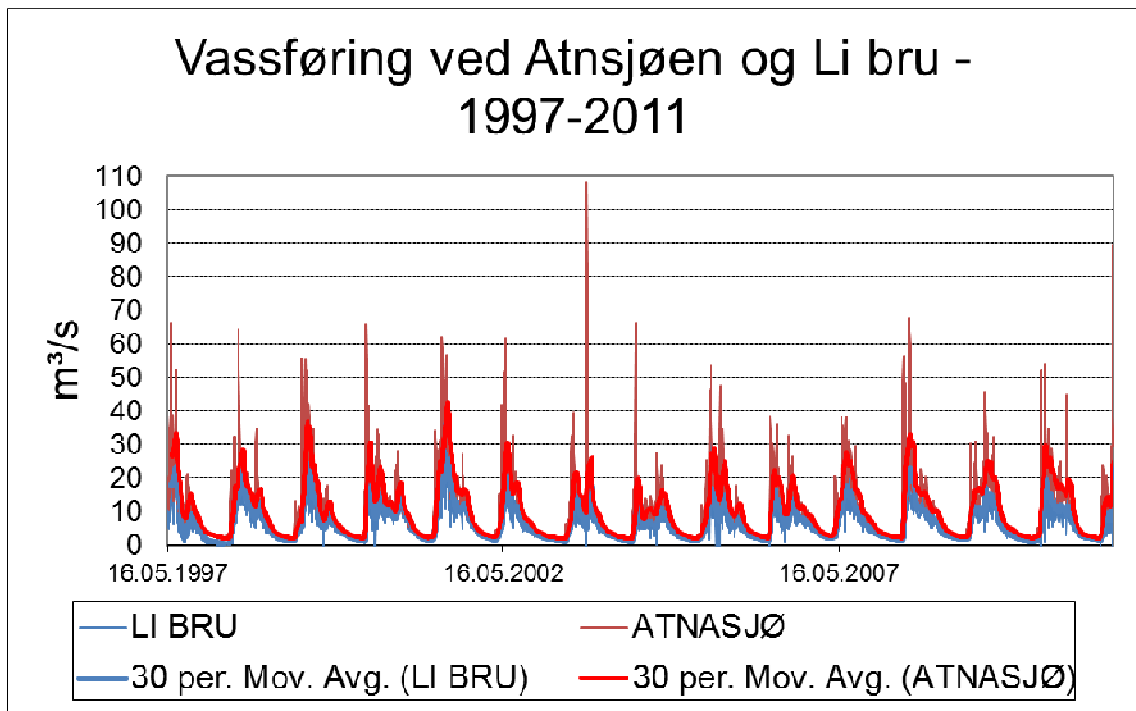
Tabell 5 - Snittavrenning Atnasjø. Verdier i m<sup>3</sup>/sek for kvar måned, og totalt for heile perioden.

SNITTAVRENNING M3/SEK ATNASJØ													
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	TOT
1917-2010:	2,8	2,2	1,9	2,9	19,4	25,4	19,0	15,9	13,1	10,3	6,0	3,9	10,2
1961-1990:	3,0	2,3	2,0	2,9	20,3	26,3	17,1	14,3	12,4	11,3	6,3	4,1	10,2
1981-2010:	2,9	2,4	2,0	3,7	19,6	23,6	17,3	14,8	12,5	10,9	6,3	4,1	10,0

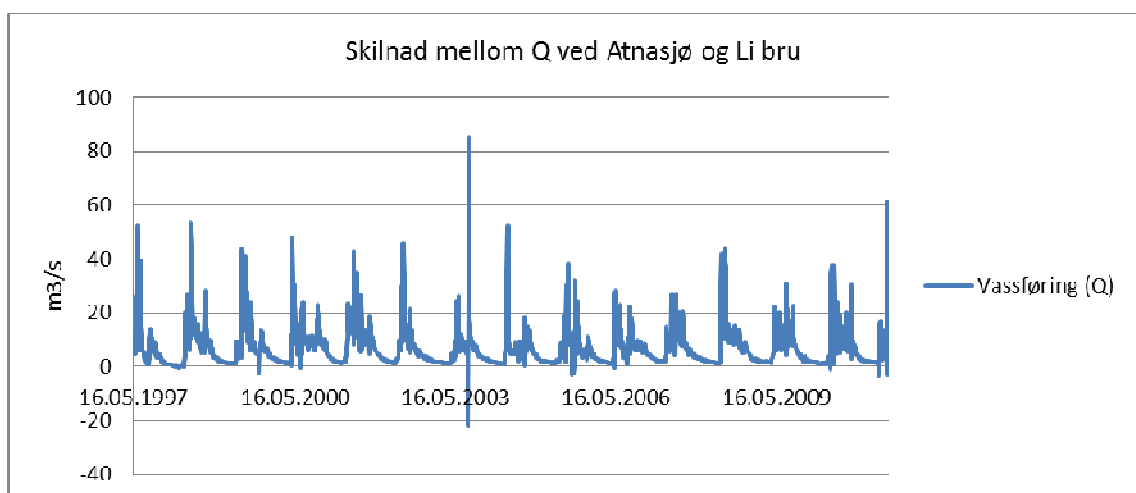
Atnasjø har ei midlare årsavrenning for heile observasjonsperioden på 10,2 m<sup>3</sup>/s. Dette er identisk som for gjeldande normalperiode: 1961-1990, men i siste normalperiode 1981-2010 er midlare årsavrenning minka til 10,0m<sup>3</sup>/s, nesten 2% lågare enn normalperioden 1961-1990. Det er vassføring i alle månadar, men det er markant høgste månadssnittet er i juni. Til samanlikning har Li bru ei middlere årsavrenning på 3,51m<sup>3</sup>/s, under halvparten av Atnsjøen.

Den største vassføringa som er målt ved Atnsjøen er 187,17m<sup>3</sup>/s, og det var i samanheng med vesleofsen den 1/6-1995. Medan den største vassføringa som er målt ved Li bru er: 57,74 m<sup>3</sup>/s, og det var den 10/6-2011. I følgje Tvede (2004), er det observert endå høgare vassføring den 18/6-1996. Då var den anslått til å vere rundt 90m<sup>3</sup>/s.

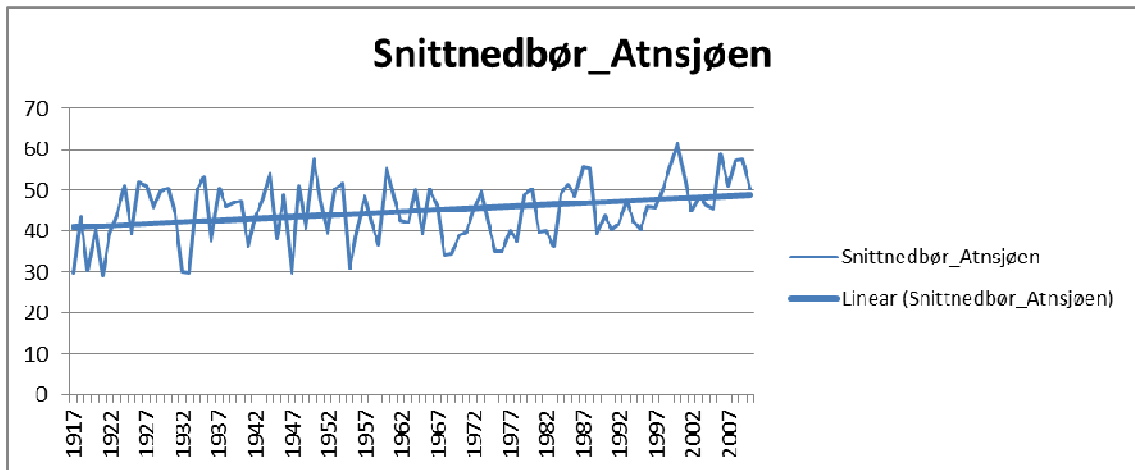




Figur 9 - Plott av vassføring Atnsjø kontra Li bru. Trendene er hovudsakelig like, men vassføringane er som oftast høgst ved Atnsjøen.

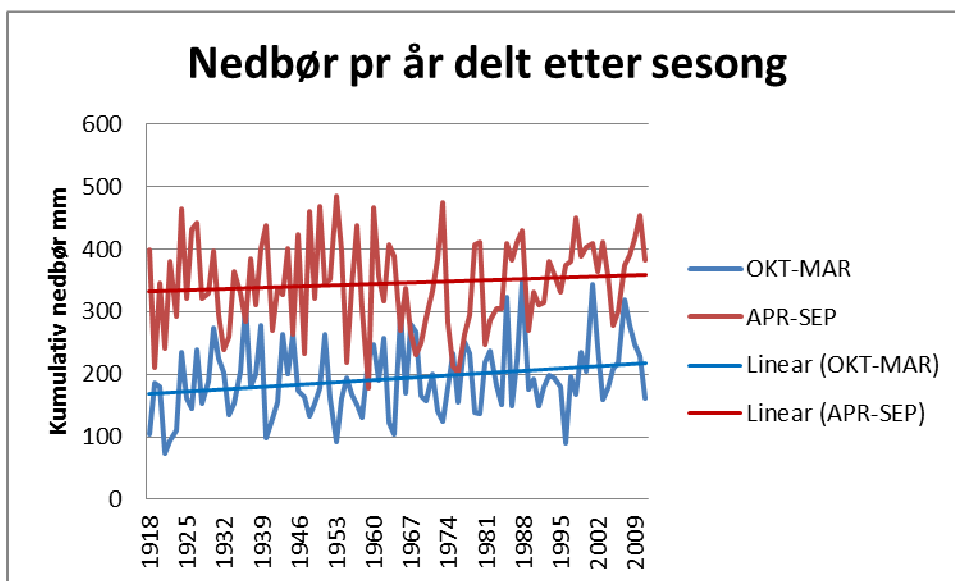


Figur 10 - Den faktiske skilnaden mellom vassføringa ved Li bru og i Atnsjøen. Positive verdiar tyder at det er høgere vassføring i Atnsjøen enn ved Li bru.

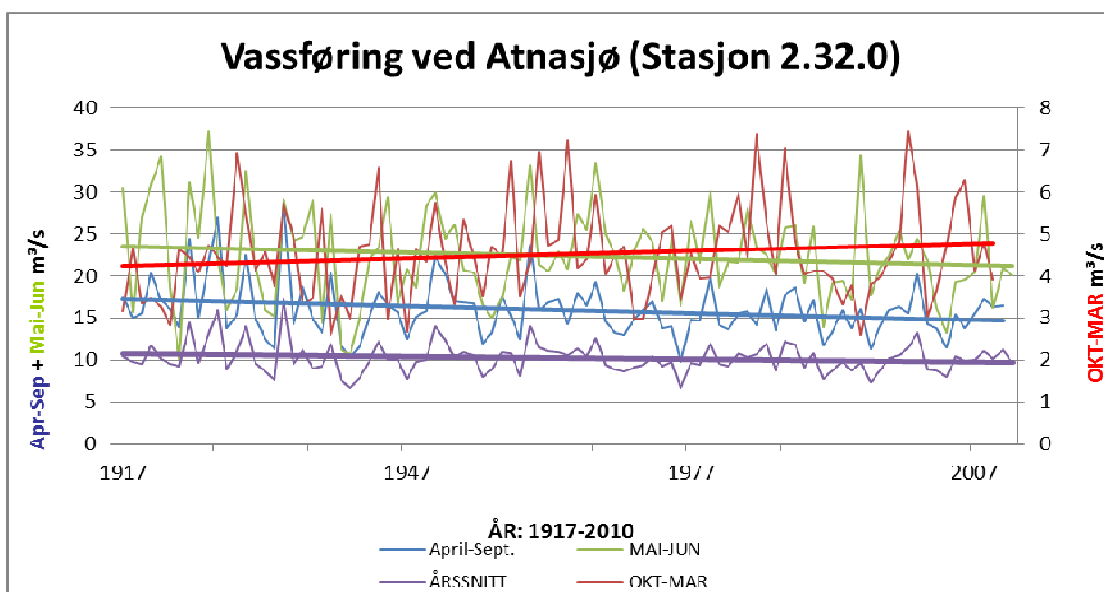


Figur 11 - Snittnedbør ved Atnsjøen 1917-2010. Verdiane er mm snittnedbørnedbør pr.månad i eit år

Figur 11 syner nedbørsutviklinga i Atndalen frå 1917 til 2010. Sjølv med variasjonar ser ein ei klar trend, og gjennomsnittsnedbøren aukar med nesten 20% i løpet av måleserien. Dette står i kontrast til utviklinga av vassføringa som vart vist i figur 7 og 8, samt tabell 5, som synte at årsavrenninga har gått ned i løpet av same måleperiode. Delar av forklaringa er synt i figur 13. Ved å dele opp årsavrenninga i sesongar, ser ein at avrenninga aukar i vinterhalvåret, men går ned i sommarhalvåret. Grunna den høge vassføringa om sommaren, samanlikna med vinteren, fører dette til at årssnittet også vert dratt ned.



Figur 12 - Nedbør i Atndalen delt etter sesong/årstid. Begge årstidene syner ei stigande trend.



**Figur 13 - Endringar i vassføringa ved Atnsjøen 1916-2011. Den einaste trenda som er stigande er vinteravrenninga. Dei andre årstidene, samt årsavrenninga er synkande.**

Likevel forklarar ikkje den auka vinteravrenninga fullt kvar den auka vinter- og sommarnedbøren forsvinn. Ei truleg forklaring er at auka sommartemperaturar i kombinasjon med auka tilgroing på Atnsjømyrane (plantesuksesjon), fører til at meir av vatnet blir samla opp i elvesystemet kring myrane, og delvis fordampar før det når fram til Atnsjøen.

### 3.2 Flom i Atna

Tabell 6 - Flomepisodar målt ved Atnsjøen

Flomepisodar målt ved Atnsjøen			Q=Vassføring m <sup>3</sup> /s på måletidspunktet										
Middelflom+			104D	5-årsflom+			37D	50-årsflom				5D	
Obs.nr.	Dato:	Q	Obs.nr.	Varig (D)	Månad	Dato:	Q	Obs.nr.	Varig (D)	Dato:	Q		
1	29.05.1917	89,29	1	3	Mai/Juni	31.05.1917	103,83	1	1	19.05.1966	158,83		
2	26.06.1918	75,06	2	1	Mai	29.05.1921	98,25	2	4	31.05.1995	154,94		
3	29.05.1921	98,25	3	1	Mai	30.05.1925	94,61						
4	23.06.1924	80,77	4	4	Mai/Juni	29.05.1926	101,96						
5	30.05.1925	94,61	5	1	Mai	26.05.1930	91,05						
6	29.05.1926	101,96	6	4	Mai (Tidl)	06.05.1934	133,04						
7	28.06.1927	78,3	7	1	Juni	17.06.1935	94,61						
8	05.05.1928	73,47	8	2	Juni	20.06.1939	134,12						
9	26.05.1929	80,77	9	1	Mai	15.05.1945	91,93						
10	26.05.1930	91,05	10	2	Mai	19.05.1966	158,83						
11	06.05.1934	133,04	11	6	Mai/Juni	30.05.1967	100,09						
12	19.07.1934	73,47	12	2	Mai	02.06.1973	136,28						
13	04.09.1934	78,3	13	1	Juni	02.06.1979	105,73						
14	17.06.1935	94,61	14	1	Mai	30.05.1985	91,73						
15	14.06.1936	77,48	15	6	Mai/Juni	30.05.1995	113,36						
16	19.06.1939	79,12	16	1	August	16.08.2003	108,05						
17	10.06.1944	87,55											
18	15.05.1945	91,93											
19	21.08.1951	77,48											
20	01.07.1958	77,48											
21	24.05.1960	79,12											
22	19.07.1960	75,06											
23	03.06.1961	87,55											
24	12.05.1963	75,06											
25	03.06.1965	73,47											
26	19.05.1966	158,83											
27	29.05.1967	75,06											
28	07.06.1968	83,28											
29	30.05.1969	81,6											
30	31.05.1971	75,06											
31	01.06.1973	89,29											
32	22.07.1973	87,55											
33	25.05.1978	78,3											
34	26.05.1979	79,12											
35	02.06.1979	105,73											
36	29.05.1985	74,16											
37	30.05.1988	78,39											
38	22.06.1990	75,84											
39	30.05.1995	113,36											
40	15.08.2003	77,53											
41	11.06.2011	89,39											

Tabell seks syner at Atnsjøen sidan målingane starta i 1916 har erfart mange flomepisodar. Det har vore 41 tilfelle av middelflom eller større, 16 tilfelle av 5-årsflom eller større, og 2 tilfelle av 50-årsflom. Desse ulike observasjonane er ikkje unike for kvar av flomklassane. Ser ein på til dømes observasjon 26 under middelflom, er det den same observasjonen som observasjon 10 under 5-årsflom, og observasjon ein under 50-årsflom. Ein kan derfor heller seie at det har vore 14 tilfelle av flom under 50-årsflom men over 5-årsflom, og 25 tilfelle av flom under 5-årsflom, men over middelflom. Sidan datoene ved kvar observasjon berre markerar dagen flommen starta, er det teke med talet på dagar Atna har erfart den spesifikke klassens flomnivå. Totalt har Atna hatt 104 dagar med middelflom eller meir fordelt på dei 41 hendingane. 37 dagar med 5-årsflom eller meir, og 5 dagar med vassføring lik eller over 50-årsflom. Av dei to registrerte 50-årsflommane var flommen i 1995 den største. Då var vassføringa over 50-årsnivå i fire dagar, medan den i 1966 berre var over 50-årsnivå i ein dag. Flomtoppen i 1995 var også større i 1995, enn den var i 1966, med 187,2m<sup>3</sup>/s mot 158,8m<sup>3</sup>/s.

Gjentaksintervalla for Atnsjø sett over heile måleperioden er middelflom: 2,2år, 5-årsflom: 5,87 år, og 50-årsflom: 47år.

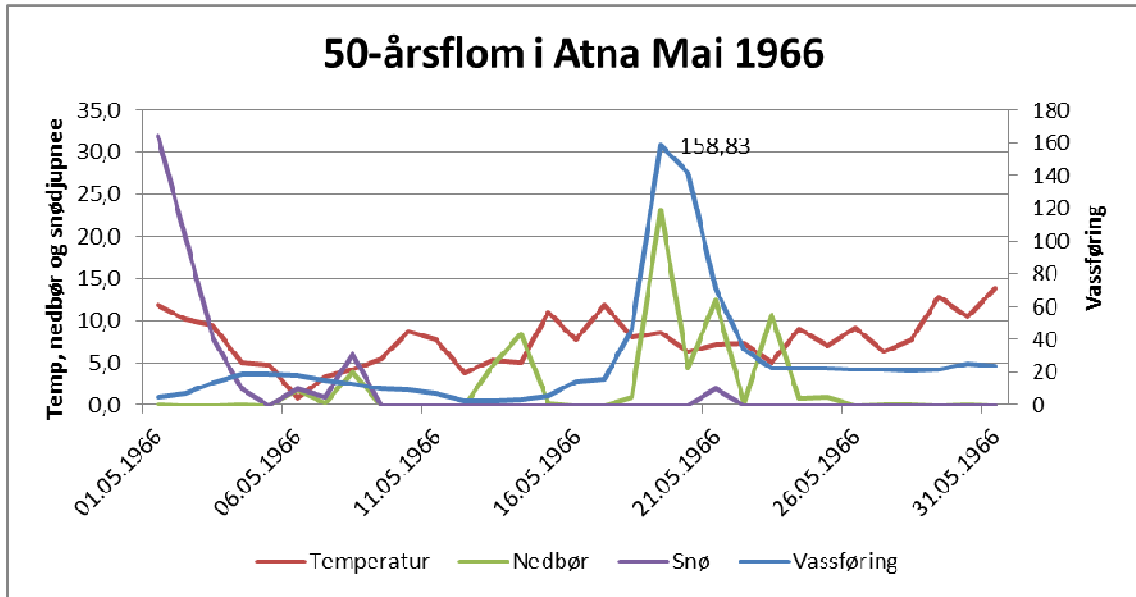
**Tabell 7 - Fordeling av flomhendingar Atnsjøen**

Flomhendingar fordelt etter type, tiår og sesong													
	20- 1910-20	30- 30	40- 40	50- 50	60- 60	70- 70	80- 80	90- 90	90- 2000	00- 10	2011	Vår	Haut
Middelflom	2	7	7	2	2	9	6	2	2	1	1	39	2
5-årsflom	1	3	4	1	0	2	2	1	1	1	0	15	1
50-årsflom	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0

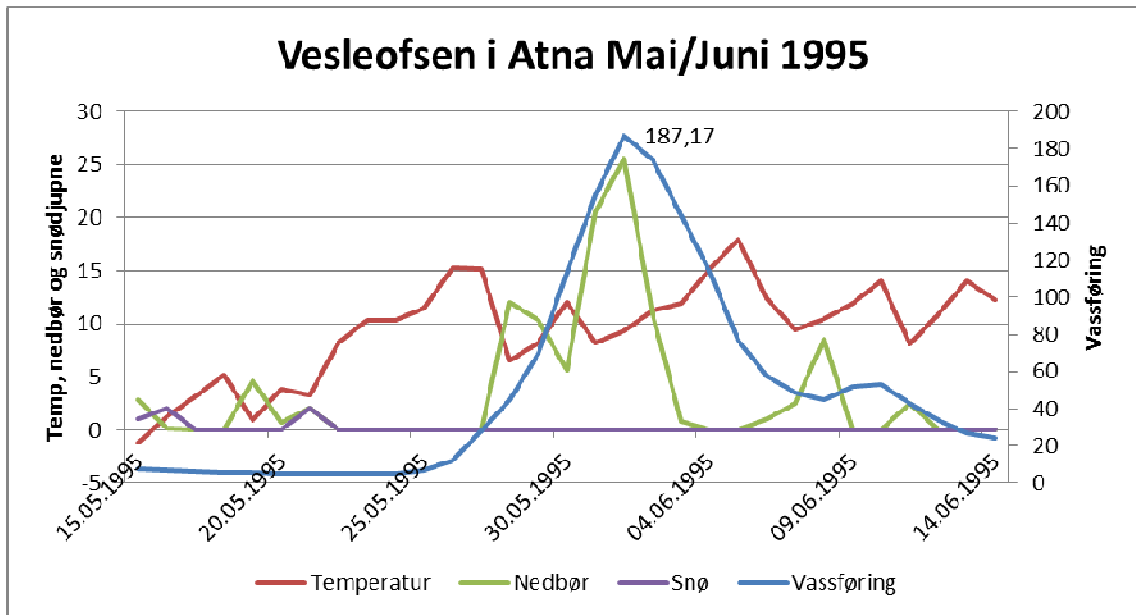
Tabell sju syner at det er to periodar som merkar seg som meir aktive enn resten av måleperioden. I periodane 1920-1940, og 1960-1980 finn ein at det er 3-4 gonger fleire tilfelle av middelflom, og 2-4 gonger fleire 5-årsflommar enn i dei andre tiårsperiodane.

Likevel finn ein at berre den eine av dei to 50-årsflommane fann stad innanfor desse periodane. Den andre femtiårsflommen fann stad i 1995 (Vesleofsen), eit tiår med berre eit anna tilfelle av flom, og den vart ikkje større enn ein middelflom. Det er overraskande å sjå at det ikkje er fleire tilfelle av flom i ein periode der ein 50-årsflom finn stad, men dette kan tyde mot at ein treng særst spesielle tilhøve for å få ein 50-

årsflom. Truleg må fleire faktorar som til dømes stor snøsmelte, regn og rask temperaturauke til for at ein flom av den storleiken skal finne stad.



Figur 14 - 50-årsflommen i Atna Mai 1966



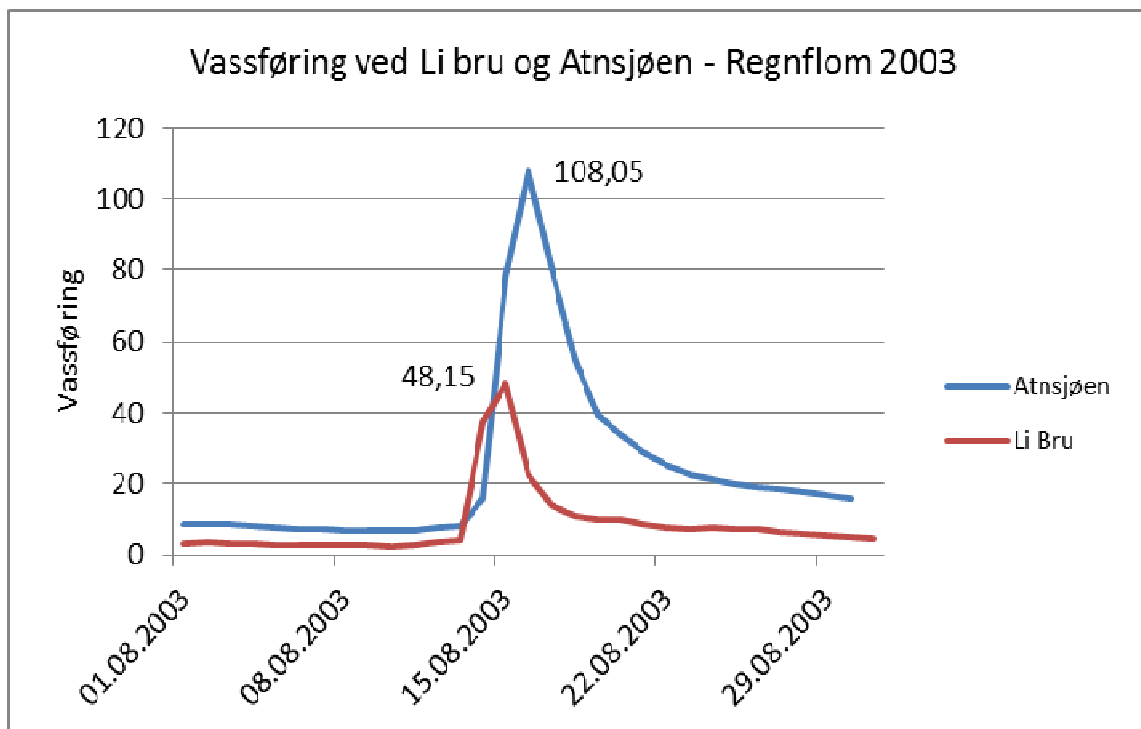
Figur 15 - Vesleofsen Mai/Juni 1995

Figurane frå dei to 50-årsflommene er i stor grad like, og ein kan sjå at både temperatur og nedbør aukar både i forkant og under flommen. Snø i dalbotnen er allerede vekksmelta, så det er snømengdene i fjellet, lenger oppe i elvesystemet som er

kjelda for dei store vassmassane. Det kan vere fleire grunnar til at 1995-flommen vart større enn 1966-flommen. Truleg er årsaka ein kombinasjon av større snømengder i fjellet, og høgare temperatur i forkant og under flommen.

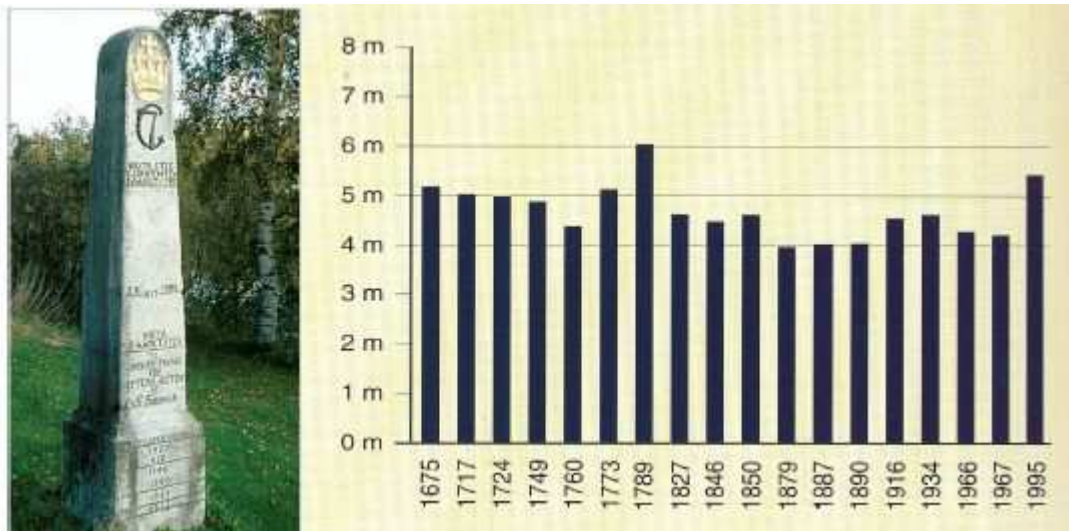
Ser ein på årstidfordelinga er biletet tydelig. Med berre to middelflommar og ein 5-årsflom registrert på hausten (etter juli), er så godt som alle flommar i Atna smeltevassflommar. Situasjonen kan sjølvstg ha endra seg frå andre klimatilhøve tidlegare i holosen, men innanfor måleperioden er rengflommar eit avvik frå normalen.

5-årsflommen som er registrert om hausten er truleg den same som informanten i felt fortalde om (kapittel 1.6). og som er synt under i figur 16.



**Figur 16 - Vassføringsskilnad/flomutvikling - Regnflom 2003**

Figur 16 syner at vassføringa ved Li bru og ved Atnsjøen under regnflommen hausten 2003. Vassføringa ved Li bru aukar og når flomtoppen om lag ein dag før den aukar i Atnsjøen. Sjølv om vassmengda meir enn doblar seg mellom Li bru og Atnsjøen, vitnar dette om kraftig nedbør i heile Atna sitt dreneringsfelt, ikkje berre i sjølve Atndalen der jordskreda var observert.



**Bilde 7 - Flomstøtta på Elverum**

Når ein samanliknar flommene som har funne stad i Atna, med dei som er rissa inn på flomstøtta på Elverum, ser ein at begge 50-årsflommene, men berre fire av 5-årsflommene er registrert på Elverum. Dette tyder på at dei resterande 12 5-årsflommene (75% av flommene), er av ein lokal framfor ein regional karakter. På den andre sida kan ein seie at dersom det er flom på Elverum, er det mest truleg flom i Atna også.



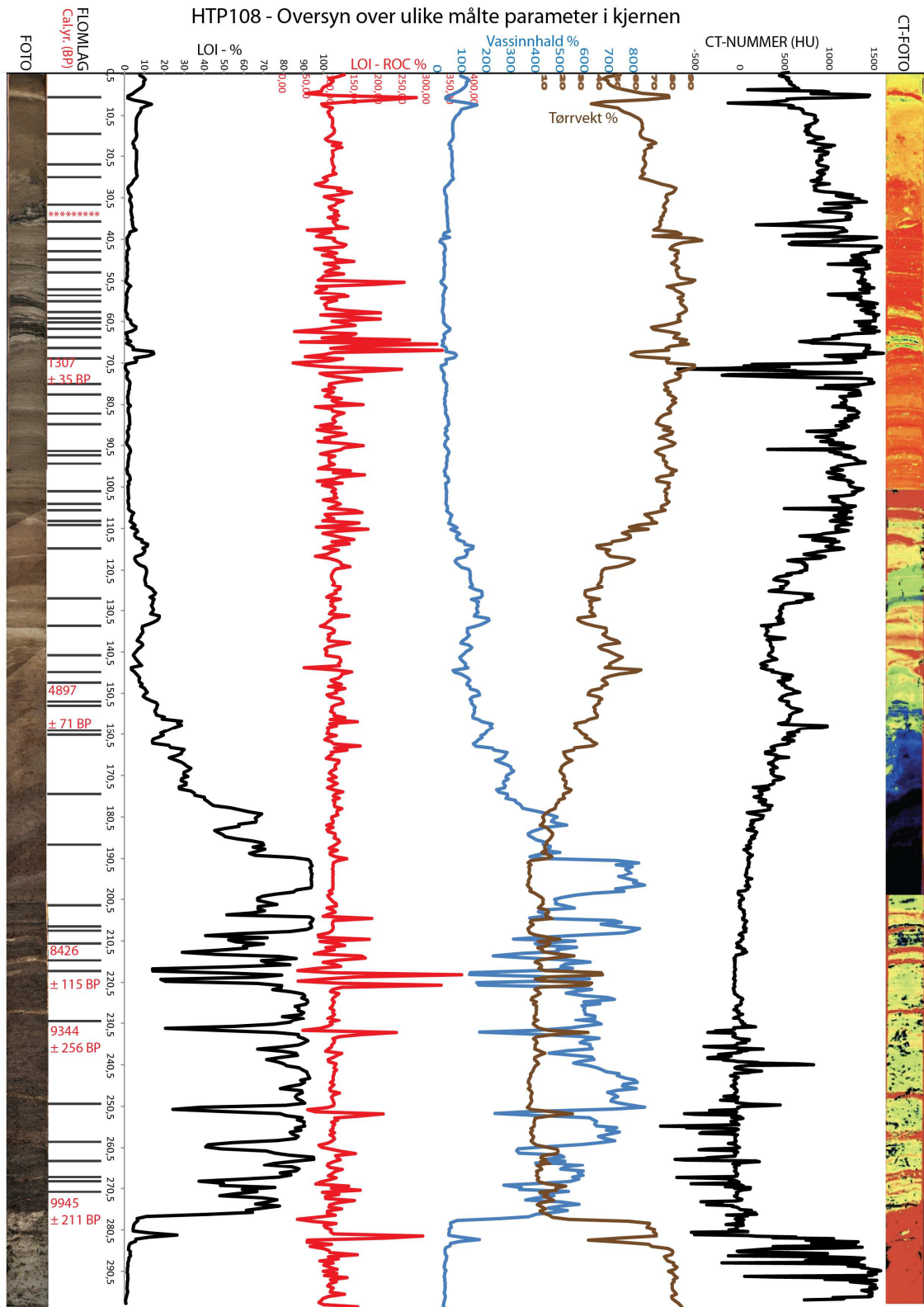
## 4. Paleohydrologi - Funn og analyse

---

Under feltarbeidet, sommaren 2008, vart det tatt ut tre borekjernar. To kjernar frå Hesseljørna (lokalitet 1), 2km nordvest for Atnsjøen, og ein frå elvesletta ved Nordre Sandom (lokalitet 2), 10km nordvest for Atnsjøen. Prøvane frå Hesseljørna vart henta ut med ein Piston-Corer, og prøven frå Nordre Sandom vart teken ved å banke eit vel 2m langt rør ned i bakken med ein hammar. Prøvane er merka etter lokalitet, prøvetakarmetode, og årstal, og har namna HTP108 (Hesseljørna piston corer, nummer 1, 2008), HTP208 og ARB108. Etter uthenting vart prøvane delt i meterlange seksjonar, og sikra for transport med oasis, duck tape og røyrcapslar. Prøvane vart deretter transportert til Bergen, og lagra på kjølerommet til Institutt for Geovitenskap. Før analysane fann stad vart kjernane delt på langs, klargjort for vidare analysar, og pakka med plastfolie for å hindre ureining og fordamping. Det fyrste som vart gjort av analysar var å fotografere kjernane. Deretter vart kjernane scanna for magnetisk suceptibilitet på paleomagnetismelabben, og med CT på Helse Bergen, Haukeland sjukehus. Vidare vart WBD/DBD, LOI og kornstorleiksanalyse utført på sedimentlaben på Institutt for Geovitenskap, UiB.

Etter at foto, scanning, og logging var utført på alle kjernane, vart HTP108 vald som hovudkerne på bakgrunn av førebelse resultat. Av kjernane frå Hesseljørna, er det berre denne kjernen som har blitt analysert vidare med WBD/DBD, LOI, korstorleiksanalyse og C14-dateringar.

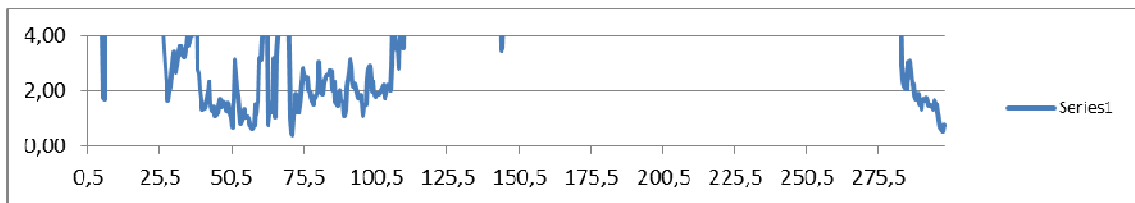
HTP108 er 299cm lang, og har høge innslag av både minerogene og organiske avsetjingar (sediment). Den fyrste delen av kjernen er dominert av minerogene sediment, men mengda organisk materiale aukar frå 150 til 190cm, der den forblir høg fram til kjernen igjen blir dominert av sediment frå 278 til 299cm. I parti av prøven finn ein innslag av lagdelte minerogene sediment, i ulik storleik og tettleik, som skil seg frå dei omliggjande sedimenta.



Figur 17 - Samanstilling av analysane som er utført på HTP108

## 4.1 Glødetap – identifisering av flomlag i HTP108

Resultata frå glødetapsanalysen, vassinnhald og tettleik avdekka detaljar i kjernen som ikkje kunne sjåast, og det vart lettare å skilje ut dei minerogene og organiske fasane i kjernen. Konkrete flomlag vart det derimot vanskeligare å få auge på etter desse parametera, ivertfall i den øvste delen av kjernen (0-150cm). Nesje et al. (2001), nyttar ein terskelverdi på 2% glødetap for å identifisere glødetap, men det ville ikkje vere eit passende parameter for HTP108 (sjå figur 18).



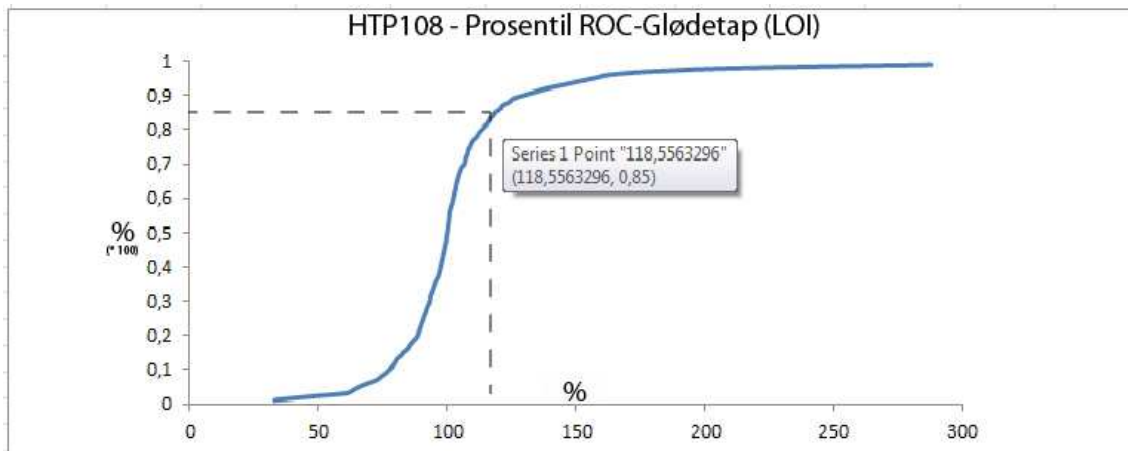
Figur 18 - Glødetapverdiar frå HTP108 innanfor 4%glødetap

Sidan kjernen så tydeleg er prega av ulike fasar, vart det klart at det er dei samanhengane laga sitt forhold til kvarandre som er avgjerande for å identifisere anomaliar/flomlag. Glødetapsdata vart derfor analysert i høve til endringsrate pr.0,5cm.

		KOLONNE-B	"=(B2*100)/B1"
	Djup	Glødetap	Endringsrate
1	5,5	1,77	
2	6	1,73	97,65
3	6,5	4,73	273,95
4	7	10,18	215,15

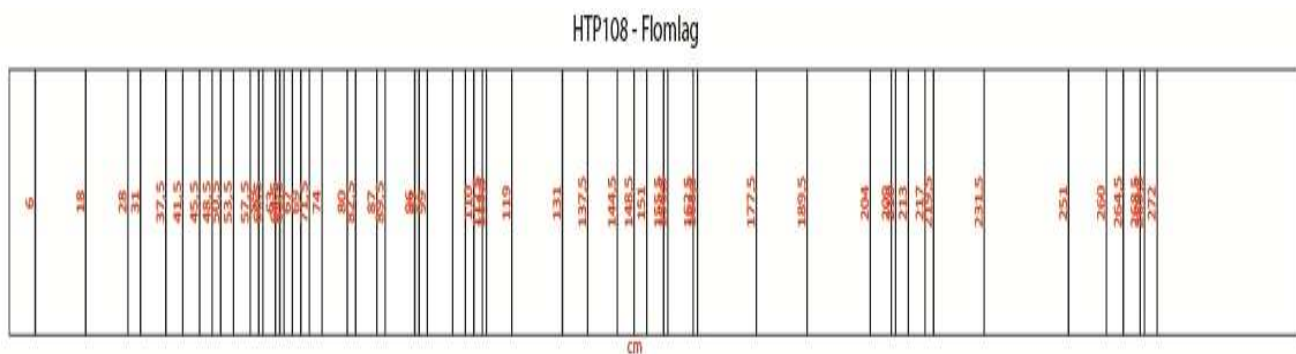
Endringsraten syner kor mykje glødetapsverdien endrar seg frå ein prøve til den neste. Hurtige endringar blir tolka som indikatorar på relativ høg sedimentakkumulasjon, i dette høvet flommar. Merk at formelen er sett opp sånn at det er overgangen frå B2 til B3 som gjev ein høg endringsrate. Dette tyder at B3 har 273% høgare glødetap enn B2, og det er derfor B2 som er det aktuelle nivået med brå/høg sedimentinput.

På bakgrunn av endringsraten i glødetapet, vart det sett opp ei prosentilutrekning for endringsraten i kjernen, og den syner følgjande kurve.



**Figur 19 - HTP108-Kumulativ prosentilfordeling for endringsrate i glødetap. Prosent av prøvar (y-aksen), mot faktisk endringsprosent (x-aksen)**

Kurva frå prosentilutrekninga i figur 19 syner kor stor del av alle prøvane frå HTP108, som finn seg innanfor ein spesifikk endringsrate. Knekkpunktet i kurva er tolka til å vere på 118/85. Det betyr at 85% av alle prøvane frå HTP108 har ei endringsrate på 118% eller mindre. Medan 15% av prøvane har ei endringsrate på 118% eller meir. Med andre ord, er ein prøve med endringsrate lik eller over 118%, tolka til å vere eit flomlag.



**Figur 20 - HTP108 - Dei 57 flomlaga i HTP108. Figuren syner observasjonane i kjernen med endringsrate lik eller over over 118%. Den horisontale aksen i figyren med verdiar 1-276 syner fjunpa i kjernen.**

På bakgrunn av glødetapsanalysane, samt visuell analyse vart kjernen delt inn i følgjande seks fasar. Fase 6; 299-277cm, Fase5; 277cm-190cm, Fase 4; 190-149cm,

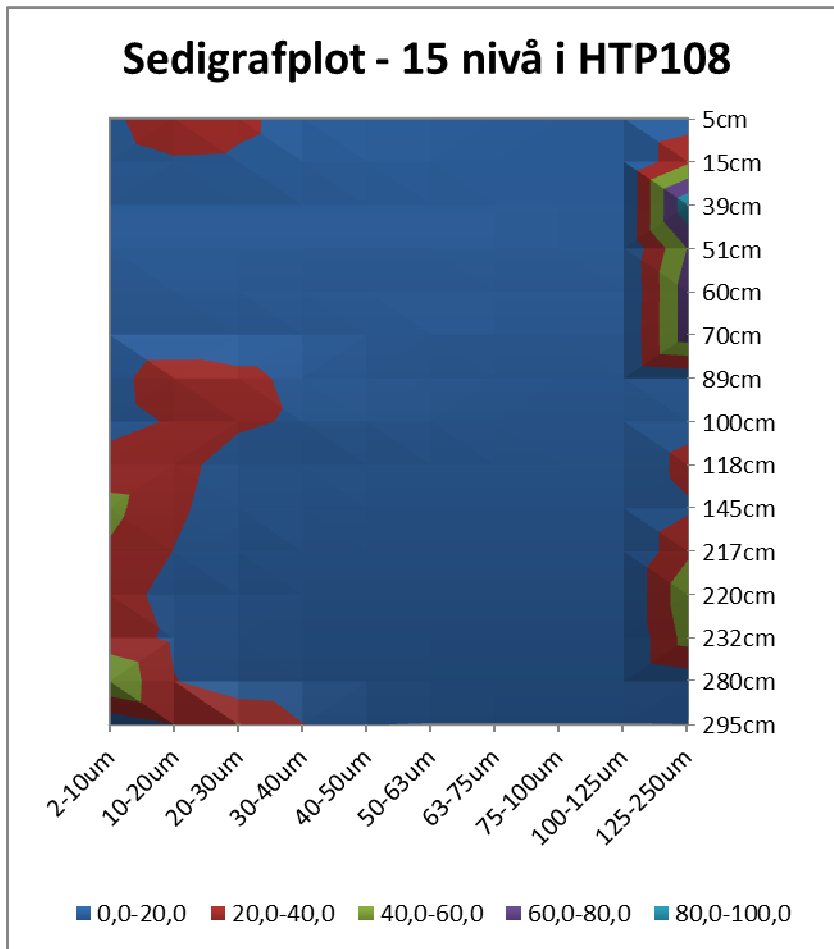
Fase 3; 149- 72cm, Fase 2; 72-37cm, og Fase 1; 37-0cm. Utgreiing om dei ulike fasane kjem i kapittel 4.5.

## 4.2 Kornfordeling i utvelde flomlag

Det vart henta ut 15 prøvar av minerogene sediment. Som skrive i kapittel 2.8 vart desse renska og delt i to grupper: sediment mellom 125-250 $\mu$ m, og sediment under 125 $\mu$ m. Sedimenta mellom 125-250  $\mu$ m , vart tørka og vege, medan sedimenta under 125 $\mu$ m vart tørka, vege, rehydrert med sterilisert vatn og calgon, før dei vart analysert i sedigrafen.

**Tabell 8 - Kornstorleik på 15utvalde djupner i HTP108**

	5cm	15cm	39cm	51cm	60cm	70cm	89cm	100cm	118cm	145cm	217cm	220cm	232cm	280cm	295cm
2-10um	15,2	9,3	0,4	6,0	4,4	2,5	12,5	11,3	30,1	45,7	37,3	30,7	29,0	58,8	5,6
10-20um	35,2	17,4	0,7	5,5	7,0	2,8	32,8	22,3	27,5	24,4	19,5	11,7	16,7	20,9	19,8
20-30um	25,4	16,3	0,8	5,1	4,7	3,3	26,5	23,7	10,1	7,7	3,6	1,3	4,8	5,9	40,8
30-40um	10,5	10,0	0,6	4,6	2,9	3,4	14,0	17,1	3,5	1,5	0,6	0,4	0,7	3,0	20,7
40-50um	3,6	5,8	0,4	4,5	1,9	3,9	5,5	8,9	0,7	0,0	0,3	0,0	0,3	1,1	4,7
50-63um	0,1	3,0	0,3	5,2	1,7	4,8	2,2	4,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	1,4
63-75um	0,0	0,9	0,1	3,1	0,7	2,8	0,7	1,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,6
75-100um	0,0	0,2	0,1	2,7	0,4	2,2	0,5	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	0,8
100-125um	0,0	0,0	0,1	1,1	0,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6
125-250um	10,1	37,0	96,3	61,0	71,7	71,7	5,4	10,7	28,2	16,8	36,4	54,8	48,2	8,0	3,1
SUM %	100,1	100,0	99,8	98,7	95,5	98,3	100,0	100,0	100,0	96,1	98,5	99,0	100,0	98,9	98,1

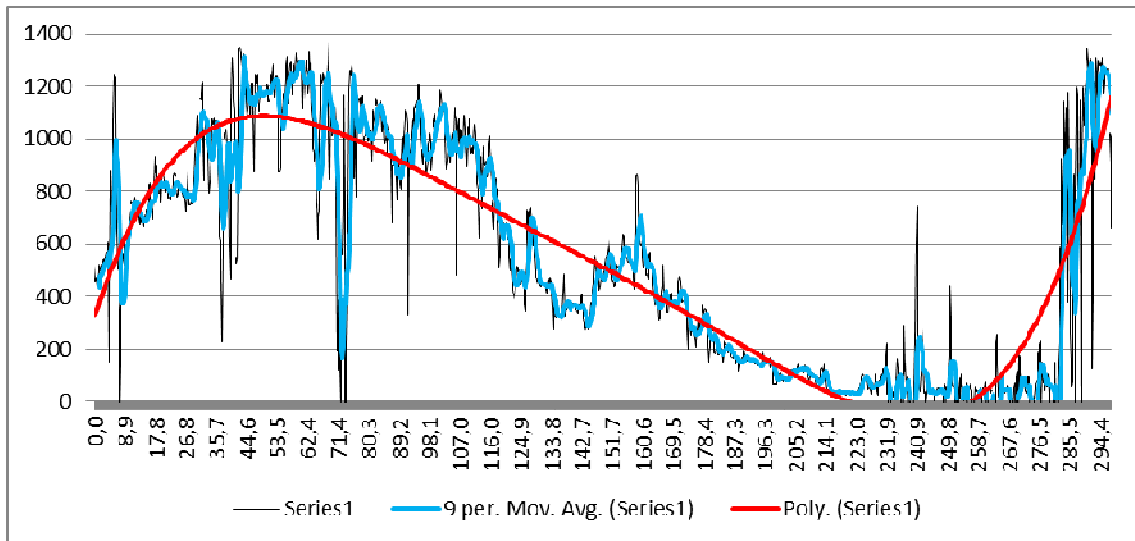


**Figur 21 - Sedigrafiplot + 125-250um. Syner prosentvis fordeling mellom dei ulike laga.**

Som tabell 8 og figur 21 syner, er det store skilnader mellom laga i kjernen. Laget på 5-6cm består i hovudsak av siltfraksjonar, medan lagen på 37-39cm nesten utelukkande består kornfraksjonar mellom 125-250um. Kornstorleiken kan vere eit indirekte signal på kompetansen i avsetjingsmiljøet, der større kompetanse tyder større vassføring som har evne til å frakte med seg større kornfraksjonar.

Kornstorleiken kan også tyde på at sedimenttilgangen har endra seg, eller i verste fall er kornstorleiken eit restsignal som ligg att i vatnet, etter at finare kornfraksjonar har blitt erodert vekk av elva.

### 4.3 CT-scan



**Figur 22 - Absolutte verdier frå CT-scan av HTP108. Verdiane er i HU, og tyder tettleik, på den horisontale aksa er djupna i cm.**

Som synt i figur 17, er det høg korrelasjon mellom tettleiksverdiane frå CT-scanninga, og massetettleik/tørrvekt% frå prøvane som seinare vart nytta til glødetapsanalyse. CT-scanninga syner seg i same høve motsett frå vassinnhaldet i kjernen, og nær motsett med glødetapsverdiane. Dette er som venta, og syner at ein kan spare mykje tid i førebelse studiar, eller om ein må velje mellom fleire kjernar, ved å scanne kjernen fyrst.

Som synt i kapittel 4.1, er det ikkje tilstrekkelig å påvise flommar utifrå dei absolute glødetapsverdiane, ein måtte nytte endringsrate for å finne dei skarpe horisontane mellom avsetjingane. Dette er også tilfelle for CT-scanninga. I seg sjølv er verdiane gode indikatorar på trendene og samansetjinga av kjernen, men for å finne flomlag som kan vere stokastiske og korte seriar, med tynne avsetjingar, treng ein eit objektivt mål som endringsrate for å finne endring over tid. Dette har blitt gjort av Støren et al. (2010), der individuelle flomlag vart identifisert gjennom å utrekne endringsrate pr. tidsenhet. Dette vart gjort på CT-scan og MS.

Endringsraten for CT, har ikkje blitt utrekna i denne studien grunna tidsavgrensingar, men det ville vore eit interessant mål i seg sjølv, og ein nyttig test for å sjekke flomidentifiseringa frå kapittel 4.1.

#### 4.4 C14-prøvar for Atna og aldersmodell

Det vart i alt henta ut over 20 C14-dateringane frå HTP108, og ein i frå snittkjernen ARB-108. Dateringane vil fortelje kortid makrofossila vart avsett, og gje eit tilnærma rett tidsbilete på kortid dei omliggande sedimenta vart avsett. Inverterte dateringane kan forkomme dersom eldre organisk materiale har blitt remobilisert og avsett på nytt i Hesseljørna. Inverterte data, kan også vitne om feil/røff behandling av kjernane under uthenting/transport, og dette vil bli avdekka av C14-dateringane.

Det vart sendt inn 6 dateringane frå HTP108 og ei datering frå ARB108 til Poznan Radiocarbon Laboratory i Polen. Då dei kom tilbake viste det seg at ein av prøvane var invertert, men dei andre synt seg å passe inn kronologisk med avsetjingane i kjernen.

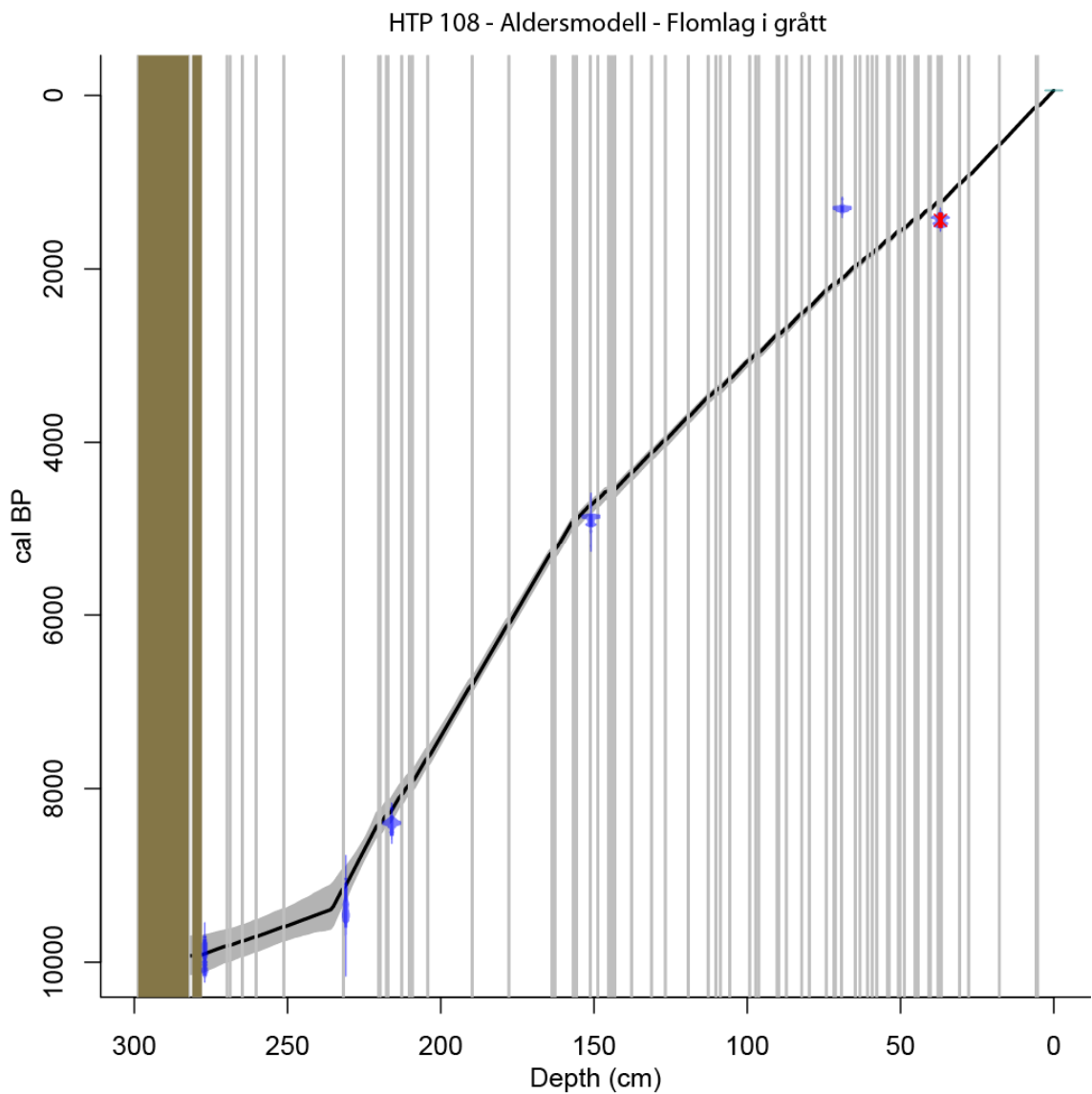
**Tabell 9 - C14prøvar HTP108 og ARB108**

C14-prøvar - HTP108 og ARB108				
Prøvenr	Djup	Materiale	C14dato	Cal yr BP
HTP108#1	37cm	Bork, blad, bjørkefrukt	1540± 30	1366-1519
HTP108#5	69,5cm	-//-	1380± 30	1272-1342
HTP108#15	151cm	Rumex acetosa, bork, blad frå betula nana	4300± 40	4826-4969
HTP108#16	216cm	Ukjent frøbelg, bladfragment, kvist	7590± 60	8311-8541
HTP108#18	231cm	Polarvier, bua gras - ukjent	8420± 120	9088-9600
HTP108#19	277cm	Rumex acetosa, bork	8840± 50	9734-10157
ARB108	226cm	Bork	330± 40	306-483

Alderskalibreringa og aldersmodellen vart laga i Clam, eit verktøy til R av Marten Blaauw (Blaauw, 2010).



Clam nyttar IntCal09 (northern hemisphere terrestrial) som standard kalibreringskurve (men om ein ynskjer kan ein stille inn verktøyet til å nytte andre kalibreringskurver).



**Figur 23 - Aldersmodell for HTP108 – dei brune laga lengts til venstre er Fase 6 av kjernen, og som forklart seinare, er dette ikkje eit flomlag**

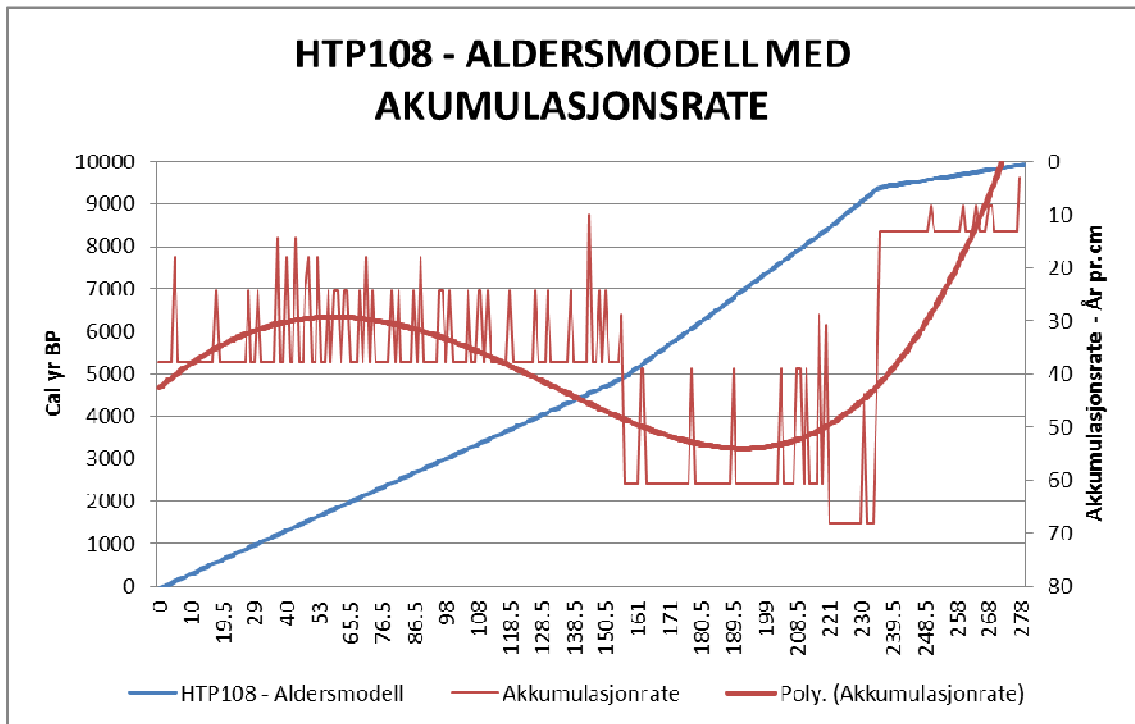
Aldersmodellen nyttar alderane frå c14-dateringane og kombinerer dei med djupna i kjernen. Flomlaga blir tatt vekk, men sidan alderskurva blir utglatta (smooth=0,85, liten skilnad frå standard som er 0,3 (*personleg kommentar*)), blir dei tekne med i aldersutrekninga, men blir mindre vektlagt. Utfrå aldersmodellen dekkar HTP108 frå 2008AD-9927BP (BP=1950AD), altså ein fase på 9985 år. Yngste flomlag (5-6cm) finn

ein mellom 112-146BP, og eldste flomlag (270cm) finn ein på 9809BP. Grunna utjamninga i kurven, og dei mange flomlaga, ser ein at aldersmodellen ikkje treff innom datering nr2 (HTP108#5-69cm). Dette fører til at akkumulasjonsraten er presentert som høgare enn i røynda mellom 151 og 69sm (37,82 år pr.cm), medan den er lågare enn i røynda mellom 69cm og toppen(37,82 år pr.cm).

Kommandoen som vart kjørt for aldersmodellen er:

```
clam('HTP108',plotname=FALSE,revd=TRUE,revaxes=TRUE,outliers=(2),smooth=0.85,every=0.9,yrmin=c(-58),yrmax=c(10000),dmax=c(299),slump=c(5, 6, 17.5, 18, 27.5, 28, 30.5, 31, 36.5, 38, 40, 41, 44, 45.5, 48.5, 49, 50, 51, 53.5, 54.5, 57.5, 58, 59, 59.5, 60.5, 61, 63, 63.5, 64.5, 65, 69, 69.5, 71, 72, 74, 74.5, 79.5, 80, 82, 82.5, 87, 87.5, 89.5, 90.5, 96, 96.5, 97, 97.5, 99, 99.5, 105.5, 106, 108.5, 109, 110, 110.5, 112.5, 113, 119, 119.5, 126.5, 127, 131, 131.5, 137.5, 138, 143, 145.5, 148.5, 149, 151, 151.5, 155.5, 156, 156.5, 157, 162.5, 163, 163.5, 164, 177.5, 178, 189.5, 190, 204, 204.5, 209, 209.5, 210, 210.5, 212.5, 213, 217, 218, 219.5, 220.5, 231.5, 232, 251, 251.5, 260, 260.5, 264.5, 265, 268.5, 269, 269.5, 270, 278, 281, 282, 299))
```

Denne kommandolina ber clam om å lage ein aldersmodell der den skal snu aksane frå standardplottet, at den skal sjå vekk frå c14-datering nr.2 (37cm), bruk smoothing på 0,85 i kurva, rekn ein dato for kva 0,9år, at prøven vart henta -58BP(2008AD), at modellen maks skal rekne seg tilbake til 10000BP, men samstundes ikkje djupare enn 299cm. Og dei siste tala, fortel kvar flomlaga er.



Figur 24 - Akkumulasjonsrate for HTP108. Den blå lina er aldersmodellen basert på  $c_{14}$ -dateringar og flomlag. Den raude lina er akk.rate i år.pr. cm sediment.

#### 4.5 Dei ulike fasane av HTP108

Under kjem ei framstilling av dei ulike fasane i HTP108. Om ein skal dele kjernen grovt inn, kan ein seie at kjernen er del i tre fasar, der berre fase 6 består som ein eigen fase. Fase 4 og 5 blir slått saman til ein fase dominert av høg organisk produksjon. Fase 1-3 blir ein siste fase, dominert av høg minerogen produksjon.

##### Fase 6 – 299-277cm Alder: Etter førre istid-9945BP

Denne fasen er botnen av kjernen, og har blitt avsett før botdateringa på 277cm. Minimumsalder er på 9945BP. Fasen er unik i kjernen då den ikkje inneheld flomlag, og heller ikkje er lagdelt, med vekslende minerogene/organiske avsetjingar. Fasen framstår som ein miks av finkorna sediment og uidentifisert kvistliknande element. Det finnes ei viss endring i kornfordelinga mellom 295-280cm, men overgangen er glidande, og ikkje brå. Medan sedimenta på 295cm er hovudsakelig fin-medium silt, med berre 3,1% av sedimenta i fraksjonen 125-250 $\mu$ m, er laget på 280cm enda meir

todelt. Der er 8% av sedimenta i fraksjonen 125-250 $\mu$ m, medan resten av sedimenta er veldig fin silt /leire. Glødetapet i fasen varierer frå 0,64-ca5%.

Sidan laget ikkje inneheld, steinar, eller grovare fraksjonar, er dette laget tolka til å vere botnsediment frå ein bredemd sjø, etter førre istid.

#### Fase 5 – 277-190cm Alder: 9945-6846BP

Denne fasen er ein brå overgang frå fase 6, og er dominert av høg organisk produksjon med innslagsvise distinkte sedimentlag. Glødetapet i denne fasen er 95% på det høgste, men misnkar mot toppen av fasen. Dei tynne sedimentlaga, er tolka til å vere flomlag, men sidan dei er så tynne at glødetapsprøvene per 0,5cm tar med seg organiske avsetjingar vert glødetapssignalet utvatna. Flomlaga på til dømes 217 og 232cm har respektive 14 og 20% i glødetap, noko som er rekna som høgt for eit flomlag å vere. Ved hjelp av endringsraten er det tolka å vere 13 flomlag i fase 5. Flomlaga som er analysert med kornfordelinga, skil seg ut frå fase 6 sidan dei har eit mykje høgare innslag av sediment i fraksjonen 125-250 $\mu$ m. Flomlaget på 220cm (8400BP) har 54,8% i denne fraksjonen, og resten i veldig fin silt.

#### Fase 4 – 190-149cm Alder: 6846-4673BP

Denne fasen skil seg frå fase 5 sidan glødetapsverdiane går kraftig ned, spesielt dei øvste 30cm av fasen. Dette er også synlig når ein ser på kjernen. Overflata skiftar karakter frå å vere dominert av ei jord/torvliknande overflate, til å bli gråbrun på fargen. Det er 7 flomlag i fase 5, men berre det på 151cm er synlig.

#### Fase 3 – 149-72cm Alder: 4673-2188BP

Frå og med fase 3, byrjar den minerogene signaturen å ta over. Snittglødetapet for fase 1 til 3 er 5,07%, mot 62,71% i fase 4-5. Fase 3 blir i likskap med fase 4 lysare og lysare i fargen, i dragning frå brun til grådominert farge. Det finnes ei rekkje lysegrå sedimentlag i fase 3, og utifrå endringsraten er det definert 18 flomlag i fase 3.

Sediment frå 89,100,118 og 145cm har blitt målt i sedigraf, og desse laga skil seg frå flomlaga i fase 5 ved å ha låg del av 125-250um fraksjoner, og høg del av veldig fin til medium silt. Det er ei trend at til høgare opp ein kjem i kjernen, til betre blir fordelinga av siltfraksjonane. Laget på 145cm har 45% i 2-10um, og 24,4% i 10-20um, medan laget på 89% har 12,5% 2-10um, 32,8% 10-20um, 26,5% 20-30um og 14% 30-40um.

#### Fase 2 – 72-37cm Alder: 2188-1235BP

Denne fasen merkar seg ved å vere særskild aktiv. Fasen består utelukkande av minerogene og organiske lag i ulike tjukner. Det er observert 15 flomlag i denne fasen. Dei minerogene laga på 70-72cm (2150BP), 39,5-41cm (1270BP) og 37-38,5cm (1235BP) er dei tjukkaste flomlaga i heile kjernen. Sedigrafmålingane frå 70, 60, 51, og 39cm vitnar om høg kompetanse/rik sedimenttilgang, då fraksjonen av 125-250um er veldig høg (61-96%). Dei organiske laga i fase 2 er også spesielle, i form av at dei er tjukke, har ei overflate som minnar om bork/grov torv, og har glødetap på 6-14%.

Sedimentlaget på 37-38,5/39cm, har ein visuell signatur som vitnar om turbasjon/omrøring i sedimenta. Det er frå dette laget at C14-målinga HTP108#1-37cm er henta. Denne målinga var den einaste som kom ut med eldre måling enn venta, noko som vitnar om resedimentasjon. Ser ein dette saman med at laget består av 96,3% sediment i fraksjonen 125-250um, vitnar dette om ein særskild kraftig flom, eller eventuell utvasking av finare sediment.

#### Fase 1 - 37-0cm Alder: mogleg 250BP til 2008, Aldersmodell: 1201BP-2008AD

Fase 1 er ein rolig fase med berre 4 registrerte flommar. Laget er dominert av låge glødetapsverdiar, og ei jamn overflate som er brunare i fargen enn dei underliggjande laga. Visuelt er det berre flomlaget på 5-6cm som kan sjåast. Dette laget har hovudfraksjonane av sedimenta kategoriane veldig fin til fin silt, og 10% i fraksjonen 125-250um. Dette kan godt vere ein stor flom, men signala tyder på at dei kraftigaste flommane fann stad i fase 2.

#### ***4.6 Hesseljørna som lokalitet, kvar er storofsen?***

På grunnlag av analysane utført på prøvane frå Hesseljørna, meiner eg at Hesseljørna er ein lokalitet som fangar opp flomsignala i Atndalen, og som jamt over fungerer som ei god kjelde for SWD-analyse. Likevel er det ei viktig hending som ikkje finnes i Hesseljørna, Storofsen. Storofsen er den største flomman som har funne stad i Norge (djupare skildra i Østmo (1985), Nesje et al. (2001) og Bøe et al.(2006), ikkje berre i historisk tid, men truleg også i heile holosen. Nesje et al. (2001) fann etter alle mål spor etter Storofsen i Atna, og sidan andre flommar har nådd inn i Hesseljørna, må også Storofsen ha hjort det.

Ser ein på aldersmodellen for Hesseljørna passar flomlaga, og den kronologiske modellen fram til 37cm-nivået. Dette fører meg fram til tolkinga om at ein stor flom etter 1235BP har vore så sterk at den har erodert i Hesseljørna. Eg tolkar det til at dette er Storofsen som har erodert ned til 37cm-nivået, der den mot slutten av flommen, då vassmengdene minska, har avsett makrofossila og det øvste grove sedimentlaget som ber preg av omvelting.

Ein indikator på at Storofsen har funne stad i Atndalen, vart funne i snittet som vart grove på Nordre Sandom. Osl-dateringane frå det over 2m djupe snittet syner følgjande alderar i kyr BP (tusenår før 1950AD):

OSL 08-01-Sandom 225cm -  $0,202 \pm 0,016$

OSL 08-01-Sandom 127cm –  $0,209 \pm 0,014$

OSL 08-01-Sandom 55cm –  $0,162 \pm 0,012$

OSL 08-01-Sandom 28cm –  $0,114 \pm 0,012$

I tillegg syner C14-dateringane frå snittet at det alderen på 226cm er 306-483 år BP. Det er kjent at C14-dateringar har ein større feilmargin når dei er så unge.

Dateringane vitnar om at partiet i snittet frå 225-127cm vart avsett i ei stor hending, eller over ein kort periode, i tida rundt eller litt etter 1750AD. Eg tolkar dette til at Storofsen har hatt stor aktivitet også i Atndalen, og har både erodert og avsett masse nedover elveløpet, og inn i Atnsjøen.

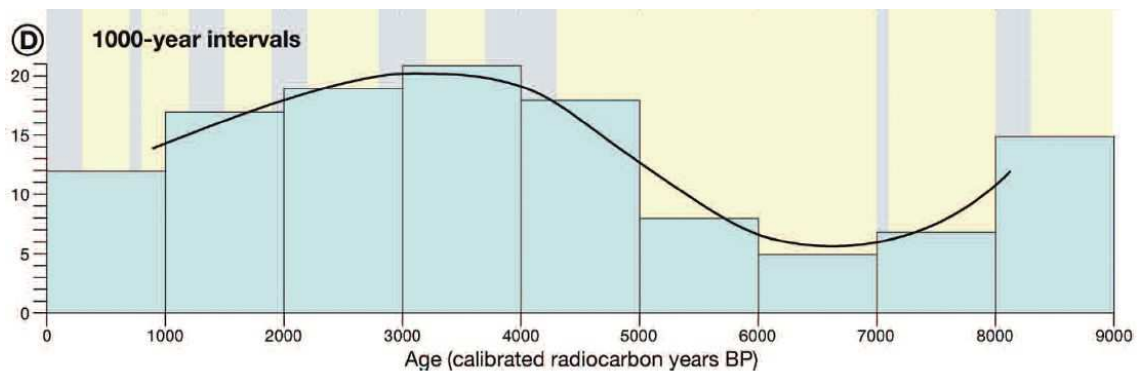
#### 4.7 Holosene flomregime i Atna

Utifrå avsetjingssignaturen og talet på flommar per årtusen i Hessesjøerna er det klare spor for at Atnadalen har opplevd ulike flom- og klimaregimer i løpet av holosen.

Tabell 10 – Dei mest markerte flommane pr årtusen BP

Kyr BP	10 til 9	9 til 8	8 til 7	7 til 6	6 til 5	5 til 4	4 til 3	3 til 2	2 til 1	1 til 2008AD
Flommar	5	3	3	2	1	6	6	8	9	4

I den nedre delen av kjernen frå 277-190cm, er det høg organisk produksjon, med innslagsvise flommar. Dette vitnar om eit varmt klima, med høge sommartemperaturar, men ein ser og at det er 5 flommar i frå 10-9000 år BP, og 3 flommar pr årtusen mellom 9000 og 7000 år BP. I fasen frå 7000-5000 år BP er det berre 3 flommar og det er i denne delen av kjernen at den organiske produksjonen nesten har stoppa. Ved om lag 5000 år BP skjer det eit skifte der talet flommar aukar, og kjernen (150cm og oppover) får ein klar minerogen karakter.



Figur 25 - Debris flows i Leirdalen i 1000-årsklassar. Kjelde: Matthews et al. 2009

Samanliknar ein flomsignaturen og tettleiksverdiane frå CT-scanninga i figur 22, med funna frå Matthews et al. (2009), ser ein i stor grad eit likt mønster. Tidleg i holosen er det høg aktivitet av både flom og skred. Denne fasen vert fylgd opp av ein roligere fase, før det for om lag 5000 år BP blir ein aktiv fase som minkar noko dei siste 1000 åra før notid. Skiftet ved 5000år BP er kjend med auka vinternedbør, og lågare sommartemperaturar.

Ser ein heile kjernen under eitt, og tel med alle flomlaga frå flomidentifiseringa i kapitel 4.1 er gjentaksintervallet for flommane i Hesseljørna 175 år. Men som synt presentasjonen av dei ulike fasane, samt i tabell 10, har det vore ulik aktivitet i elvesystemet utover holosen. Frå 5000BP og fram til i dag er gjentaksintervallet: 128 år, om lag det same som Nesje et al. (2001) kom fram til i sin studie av Atna med  $150\text{år} \pm 30 \text{ cal. Yr}$ . Den mest aktive fasen av HTP108 er fase to (2188-1235BP) med gjentaksintervall på 63,5 år.

Likevel er det knytt usikkerhet til det totale gjentaksintervallet, og det spesifikke gjentaksintervallet for fase ein, grunna den inverterte dateringa i grensa mellom fase ein og to, og den erosjonen som Storofsen har forårsaka i øvste del av kjernen.

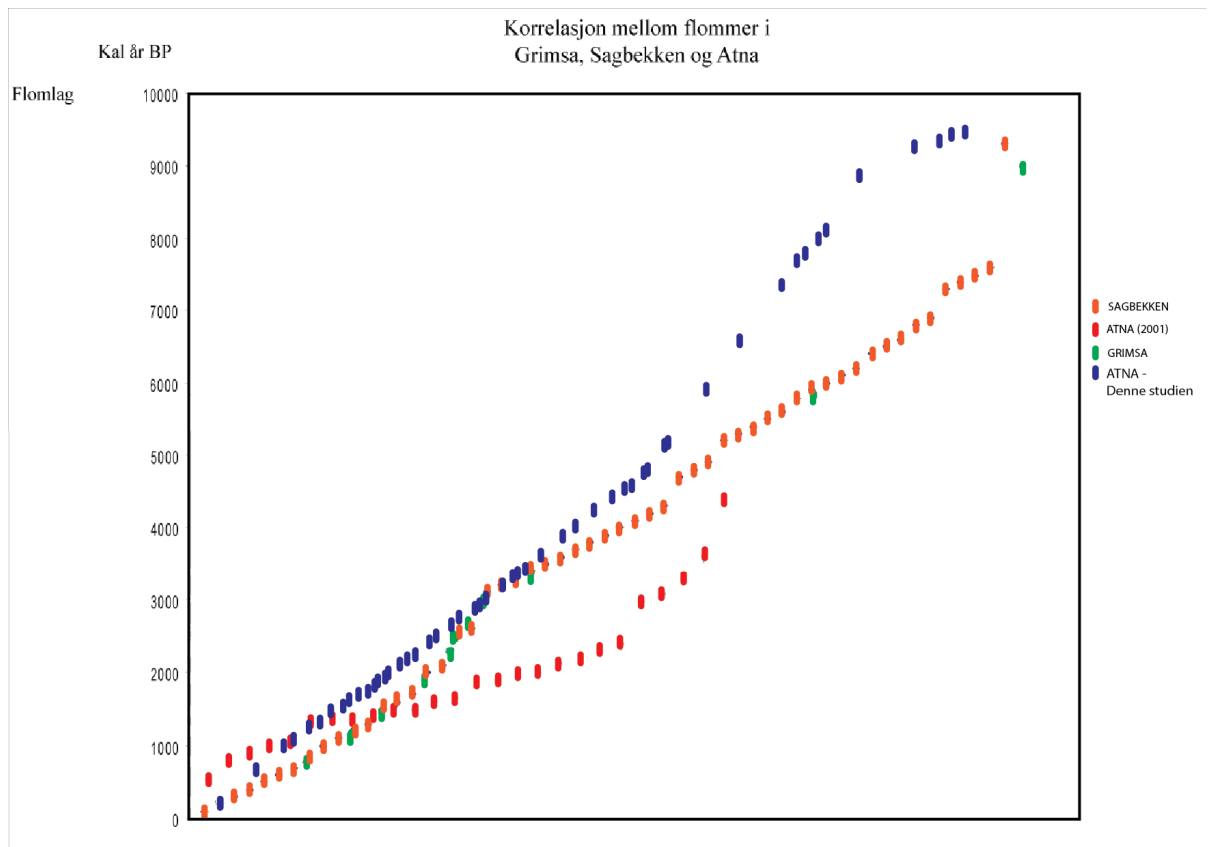
Dei mest flomrike periodane i Hesseljørna: 9800-9580BP, 8380-7600BP, og 5260-1200BP. Og dei minst flomrike periodane er: 9580-8370BP, 7610-5260BP og 1200BP – 2008AD. Som nemnd over er den det knytt usikkerhet til den øvste delen av kjernen.



#### 4.8 Funna i Hesseljørna sett opp mot andre studiar i regionen

Tabell 11 - - Flommar i Hesseljørna - samanlikna med Atnsjøen, Grimsa og Sagbekken. Merknad: For sagbekken og Grimsa var det påvist fleire flommar, men berre dei daterte flomlaga er tatt med.

FLOMLAG				FLOMLAG			
BP				BP			
Hesseljørna	Atnsjøen	Sagbekken	Grimsa	Hesseljørna	Atnsjøen	Sagbekken	Grimsa
112		145		2665			
			290	2733		2799	
555	530	574		2937	2955		
	795			3039	3070		
	820			3244	3270		
895				3380			3390
997	990			3448			
	1030				3595		
1201		1235	1230	3686			
1303	1300					3844	
	1340			3958			
	1360			4095			
1406	1390			4333	4360		
	1470			4537			
1508	1480			4639			
1542				4707			
	1590			4877			
1644	1640			5260			
1746							5800
1814	1855			6080		6051	
	1885			6791			
1950	1960		1960			6853	
	1980			7612		7593	
		2032		7885			
2086				7940			
	2125			8049			
2154	2165			8268			
2222				8377			
	2290						9000
	2370		2325	9110			
2427						9214	
2495			2500			9514	
				9584			
				9702			
				9750			
				9809		9837	



**Figur 26 - Flomsignaturar frå Atna sett opp mot Sagbekken og Grimsa. Modifisert frå Killingland (2009)**

Trenda frå Hessesjøerna med aukande flomfrekvens, frå midtre og fram til siste del av holosen (etter 5000BP), stemmer godt med dei andre studia presentert i tabell 11 og figur 26. Dei fleste av flommane frå Hessesjøerna finn ein att i Nesje et al.(2001) sin studie frå Atnsjøen, og funna frå Sagbekken korrelerer godt med flommane frå Hessesjøerna. Sjølv om Bøe et al. (2006) konkluderar med at dei mest aktive flomperiodane i holosen er om lag: 6900-6000, 4300-3000 og 1700-1300BP, noko som ikkje er tilfelle i Hessesjøerna der dei mest aktive flomperiodane er: 9800-9580BP, 8380-7600BP, og 5260-1200BP, syner dette at mange av flommane i Sagbekken også finnes i Atna. Om ein ser på den regionale utstrekninga mellom dei historiske og instrumentelt målte flommane i Atna (kapittel 3.2), og nyttar dei som ein moderne analogi for flommane som er synt i tabell 11, er det truleg at dei flommane som korrelerer over fleire elvesystem også er dei største. Flommane har truleg blitt til under liknande høve som dei instrumentelt målte 50-årsflommane, der det har vore stor snøpålaging i fjellet, og den utløysande faktoren har vore rask temperaturauke, kombinert med nedbør før og under flaumen.

## 5. Oppsummering

---

Den paleohydrologiske studien av flom i Hestetjørna har vist at nordre del av Atna har opplevd 57 registrete flomhendingar i løpet av dei 10000 siste åra. Flomhendingane har ikkje kome jamnt fordelt utover holosen, men heller i periodar. Dei mest aktive flomperiodane i Atna har vore frå 9800-9580BP, 8380-7600BP og 5260-1200BP. Gjentakintervallet for flom i heile kjernen er 175 år, men dei siste 5000åra har gjentakintervallet minka til 128år. Den mest aktive flomfasen finn ein frå 2188-1235BP, der gjentakintervallet er 63,5 år.

Flomsignaturen skil seg noko frå funna i Bøe et. Al (2006) og Killingland (2009), spesielt i den midtre delen av holosen. Men etter 3800BP er det ein større samanheng mellom flomhendingane. Flomhendingane som korrelerer er truleg dei største flommane sidan dei har eit meir regionalt enn lokalt signal.

Hestetjørna var lokalitet for uttak av borekjernen (HTP108) som vart analysert i den paleohydrologiske studien. I den øvre del av kjernen (37cm) vart det funne spor av erosjon. Dette har fjerna noko av flomsignaturen mellom 1200BP og fram til i dag, og det var derfor ikkje vere mogeleg å korrelere funna i den øvre delen av kjernen med dei instrumentelt målte, og historisk kjende flommane.

Snittet som vart gravd i elvesida/dalbotnen (ARB108) på Øvre Sandom syner ein kraftig sedimentasjonsfase (225-127cm), som truleg har blitt avsett i ei eller fleire hendingar over eit kort tidsrom. Ved hjelp av OSL- og C14-datering har sedimentasjonen blitt datert til 202±16 og 306-483 år BP. Dette er truleg spor etter Stor-Ofsen, den største kjende flommen i historisk tid, og i holosen, og det er truleg den som har erodert øverste del av botnen i Hestetjørna.

For å finne den komplette flomhistoria i Atna, utifrå HTP108 ville det vore monaleg å ta ei blydatering av øvre del av kjernen. På denne måten kunne ein fått eit betre bilete av den nyare avsetjingshistoria i Hestetjørna, og truleg funne att historisk kjende, og instrumentelt målte flommar som til dømes Vesleofsen.

Trass erosjonen, vil eg hevde at Hestetjørna som lokalitet er langt på veg egna for å finne dei lange mønstera i den holosene flomhistoria. Hestetjørna er tolka til å vere like

godt egna som dei andre vatna på Atnsjømyrane for paleohydrologiske studie av flom. Grunnen er at den flate topografien i Atndalen truleg vil gje ein tilnerma lik avsettingssignatur i samelige vatn i dalbotnen. Om ein skal utføre fleire paleohydrologiske studie med mål om å finne ein sekvens med den fulle flomhistoria til Atna, vil den best egna lokaliteten vere å bore på nytt i Atnsjøen, eller i eit av vatna sør for Atnsjøen, der Storofsen, og andre store flommar ikkje kan ha erodert.

I moderne tid syner dei instrumentelle målingane at Atna har opplevd 25 middelflommar, 14 5-årsflommar og 2 50-årsflommar mellom 1916 og 2011. Berre dei to 50-årsflommane og to av 5-årsflommane er registrert på flomstøtta på Elverum der Glomma renn forbi. Dette tyder at dei fleste mindre flommane i Atna er lokale flommar, medan dei store flommane er regionale flommar med stor vassføring i fleire elvesystem, samt i Glomma. Berre to av dei totalt 41 flomhendingane har hendt på seinsommar/tidleg haust, noko som tyder på at Atna i moderne opplever langt større grad av smeltevassflommar enn regnflommar.

## Etterord

---

I arbeidet med denne masteroppgåva har eg prøvd ut mange idear for å komme fram til det resultatet oppgåva til slutt enda opp med å vere. Eit av dei store arbeida eg måtte legge frå meg var det å lage flomsonekart for ein del av feltområdet. Eg jobba i lengre tid med å lage kart over feltområdet i GIS, samstundes som eg utan hell freista å få tak i laserscanningane som finnes for delar av feltområdet. Vidare estimerte eg forenkla terskelvassliner i Hec-Ras på grunnlag av dei få tverrsnitta eg hadde. Men etter eit møte med NVE der dei gjekk gjennom korleis dei lagar eit flomsonekart, kom eg fram til at eg måtte kutte ut den delen av oppgåva. Grunnen var at datagrunnlaget mitt var for dårlig, sjølv innehar eg ikkje den tekniske kompetansen som må til for å lage eit flomsonekart, og i sjølv er arbeidet stort nok til å vere ein master i seg sjølv, ikkje ein del av ei masteroppgåve.

Eg skulle gjerne sett at borekjernen frå Hessesjøerna gav ein komplett sekvens med flomhistoria frå førre istid og fram til notid. Hadde det vore tilfelle kunne eg samanlikna dei palohydrologiske flommane med dei historiske og instrumentelt målte flommane, og mogeleg funne overlapp mellom dei ulike kjeldene og metodane. Med eit overlapp i datasetta kunne ein samanlikna den instrumentelt målte flomstorleiken med avsetjingssignaturen i kjernen, og om mogeleg seie noko om stoleiken på flommane funne i kjernen som er eldre enn dei instrumentelle målingane utifrå tjukna og andre eigenskapar i sedimentlaget.

Eg håpar fleire vil finne vegen til Atna for undersøke den komplette flomhistoria. Forutan eit flott feltopphald i noko av den finaste naturen me har i Norge, er det ikkje mange stadar ein kan studere flom i eit varig verna vassdrag der det i tillegg finnes lange instrumentelle måleseriar for vassføring.

## Referanseliste

---

### Artiklar og bøker:

Baker (2006): Baker V. R., *Paleoflood hydrology in a global context*, Catena 2006;66(1-2):161-168, 2006

Benito og Thorndycraft (2005): Benito G. og V. R. Thorndycraft, *Palaeoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences*, Journal of Hydrology 313, 3–15, 2005

Bogen (1983): Bogen J., *Atnas delta i Atnsjøen. En fluvialgeomorfologisk undersøkelse*, Kontaktutvalget for Vassdragsreguleringer, University of Oslo, Rapport 70: 1–44, 1983

Bogen (2004): Bogen J., *Erosion and sediment yield in the Atna river basin*, Hydrobiologia 521: 35-47, 2004

Bøe et al. (2006): Bøe A-G., S. O. Dahl, Ø. Lie, *Holocene river foods in the upper Glomma catchment, southern Norway: a high-resolution multiproxy record from lacustrine sediments*, The Holocene 16: 445–455, 2006

Eie (1982): Eie J.A., *Atnavassdraget hydrografi og evertebrater - en oversikt*, Kontaktutv. vassdragsreg., Univ. Oslo, Rapp. 41: 1-76, 1982

Gjessing (1960): Gjessing J., *Isavsmeltingstidens drenering. Dens forløp og formdannende virkning i Nordre Atnedalen. Med sammenlignede studier fra Nordre Gudbrandsdalen og Nordre Østerdalen*, Ad Novas 3: 1–492, 1960

Heiri et al. (2001): Heiri O., A. F. Lotter og G. Lemcke, *"Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results."*, Journal Of Paleolimnology **25**(1): 101-110, 2001

House et al. (2002) Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K.. *The scientific and societal value of paleoflood hydrology*. I House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R. RD. R. Levish, *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*, Water Science and Application Series, vol. 5, pp. 1–20., 2002

Matthews et al. (2009): Matthews J.A., S. O. Dahl, P. Q. Dresser, M. S. Berrisford, Ø. Lie, A. Nesje og G. Owen, *Radiocarbon chronology of Holocene colluvial (debris-flow) events at Sletthamn, Jotunheimen, southern Norway: a window on the changing frequency of extreme climatic events and their landscape impact*, *The Holocene* **19**: 1107-1129, 2009

Nesje (1992): Nesje, A., "A Piston Corer for Lacustrine and Marine Sediments.", *Arctic and Alpine Research* **24**(3): 257-259, 1992

Nesje et al. (2001): Nesje A., S. O. Dahl, J. A. Matthews og M. S. Berrisford, *A ~4500-yr record of river floods obtained from a sediment core in Lake Atnsjøen, eastern Norway*, *Journal of Paleolimnology* 25: 329-342, 2001

Støren et al. (2010): Støren E. N., S. O. Dahl, A. Nesje, *Identifying the sedimentary imprint of high-frequency Holocene river floods in lake sediments: development and application of a new method*, *Quaternary Science Reviews* 29: 3021–3033, 2010

Støren et al. (2011): Støren E. N., E. W. Kolstad og Ø. Paasche, *Linking past flood frequencies in Norway to regional atmospheric circulation anomalies*, *Journal of quaternary science*, 2011

Tvede (2004): Tvede A. M., *Hydrology of Lake Atnsjøen and River Atna*,  
*Hydrobiologia* 521: 21–34, 2004

Østmoe (1985): Østmoe A., *Stor-Ofsen 1789*, Oversiktsregisteret: Ski, 1985

**Indirekte referansar:**

Bretz (1929): Bretz J.H., *Valley deposits immediately east of the Channeled Scablands of Whashington*, *J. Geol.*, 37, 393-427, 1929

Bretz (1956): Bretz J. H., HTU Smith og G. E. Neff, *Channeled scablands of whashington, newdata and interpretations*, *Geol. Soc. Amer.Bull.*, 67, 957-1049, 1956

Gottschalk (1979): Gottschalk L., JL. Jensen, D. Lundquist, *Hydrologic Regions in the Nordic Countries*, *Nordic Hydrology* 10: 273–286, 1979

Hanssen-Bauer og Førland (2000): Hanssen-Bauer I, Førland E., *Temperature and precipitation variations in Norway 1900-1994 and their links to atmospheric Circulation*, *International Journal of Climatology* 20: 1693–1708, 2000

Haakensen (1989): Haakensen N., *Akkumulasjon på breene i Norge vinteren 1988–89*, *Været* 13: 91–94, 1989

Nesje et al. (2000): Nesje A, Dahl SO, Lie O. *Is the North Atlantic Oscillation reflected in Scandinavian glacier mass balance records?* *Journal of Quaternary Science* 15: 587–601, 2000



Tarr (1892): Tarr R. S., *A hint with respect to the origin of terraces in glaciated regions*, Amer. J. Sci., 144, 59-61, 1892

Wold (1992): Wold K., *Vann, snø og is. Nasjonalatlas for Norge*, Statens kartverk: 64, 1992

### **Rapportar og masteroppgåver:**

Blaauw (2010): Instruksjonsmanual for clam 2.1:

<http://chrono.qub.ac.uk/blaauw/clam.html>

Killingland (2009): Kaja Killingland, Ekstremflommer i Grimsa, øvre Glommavassdraget

Rekonstruksjon av flomfrekvens gjennom holosen og sårbarhetsanalyse av dagens elv, Masteroppgåve ved Institutt for Geografi, UiB, 2009

NOU (1983): Norges offentlige utredninger, 1983:42, Naturfaglige verdier og vassdragsvern, side 95-101.

Sulebak (1965): Sulebak J., Massebevegelse og fluviale prosesser – en analyse av disse prosessers betydning for formdannelsen i en bratt morenedekket dalside i Nordre Atnedalen, upublisert, Oslo 1965.

## **Kjelder på nettet:**

Eklima:

[http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_sc\\_hema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_sc_hema=PORTAL)

Emdat.be:

<http://www.emdat.be/disaster-profiles>

IPCC:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml#.UQulRXfgeTA](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#.UQulRXfgeTA)

NGU:

<http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/>

NVE:

Vassføringsmålingar

<http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/Q/0002.00032.000/index.html>

<http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/Q/0002.00479.000/index.html>

Storofsen

<http://met.no/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=1085>

Norsk naturskadepool:

<http://www.naturskade.no/>

## Vedlegg

Vedlegga vert lagt med på cd-rom.

Vedleggsliste over elementa på cd-en:

Masteroppgåva: Flom gjennom 10000 år, Bjørn D. Haukeland, UiB, Feb. 2013 (1 fil)

Filer:

- C14: CLAM verktøyet og filene frå dei ulike aldersmodellane som vart kjørt samt resultat frå Poznan (1 fil + 1mappe med mange underfiler)
- CT: Exelfil med HUverdiar og graf over verdiane (1 fil)
- Figurar: PNG.-fil som syner resultatata frå analysane i HTP108 (1 fil)
- Foto av HTP108 (42 filer)
- Kjelder: J. Sulebak 1965 er vedlagt sidan det ikkje er publisert (1 fil)
- Klimadata: Rådata og produserte tabellar over klimadata frå målestasjonar i Atndalen (3 filer)
- Glødetap: Glødetapsverdiar for HTP108 (1 fil)
- Vassføringsdata: Rådata og produserte tabellar og grafar frå dei to målestasjonane ved Li bru og Atnsjøen (7filer)