Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget (002.DZ)

Ann-Live Øye Leine

127
2015

RAPPORT

Rapport nr 127-2015
Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget (002.DZ)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Ann-Live Øye Leine

Forfattere: Ann-Live Øye Leine

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: Pinseflommen 2011,Fåvang. (Foto:NVE)
ISBN 978-82-410-1179-5
ISSN 1501-2832

Sammendrag: I forbindelse med at det skal utarbeides en Regional plan for Gudbrandsdalslågen (RPL) skal NVE bidra med kunnskapsgrunnlag i form av bla. flomberegninger som grunnlag for vannlinjeberegninger. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for nøkkelpunkter i vassdraget.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Gudbrandsdalslågen

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

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

2015

Innhold

Innhold 1
Forord 2
Sammendrag 3
1. Beskrivelse av oppgaven 6
1.1 Avgrensing av oppgaven 7
2. Beskrivelse av vassdraget 9
2.2 Reguleringer i vassdraget 11
2.3 Karakteristiske vannføringer 13
3. Hydrometriske stasjoner 16
4. Beregning av flomverdier 22
4.1. Flomfrekvensanalyser 22
4.2. Beregning av middelflom 28
4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring 35
4.4 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer 41
5. Observerte flommer 43
6. Sammenligning med andre flomberegninger 45
7. Samløpsproblematikk 49
8. Flom i små nedbørfelt 53
8.1 Små felt, < 50 km^2 53
8.2 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer 56
8.3 Mikrofelt, < 1 km^2 57
9. Usikkerhet 58
Referanser 60
Vedlegg 61

Forord

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Beregning av flomvannføringer på flomutsatte elvestrekninger er en del av dette arbeidet. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer som blant annet benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med Regional plan for Gudbrandsdalslågen (RPL) i Oppland. Rapporten er utarbeidet av Ann-Live Øye Leine og kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad.

Oslo, desember 2015.

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Gudbrandsdalslågen omfatter 9 sideelver og 25 beregningspunkt i Lågen, og vil med dette danne hydrologisk grunnlag for aktuelle strekninger i Regional plan for Gudbrandsdalslågen (RPL). Gudbrandsdalslågen er et stort innlandsvassdrag som strekker seg over flere kommuner i Oppland. Ottavassdraget som er største sidevassdrag til Gudbrandsdalslågen, er skilt ut i egen rapport (ferdigstilles i 2016). Gudbrandsdalslågen er videre en del av Glommavassdraget.

Store flommer forekommer som oftest om våren og er gjerne en kombinasjon av snøsmelting og regn. Hovedelva har vært preget av reguleringer som påvirker flomforholdene siden slutten av 1930-tallet. Siste regulering ble satt i drift i 2008.

Flomberegningen er basert på frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i vassdraget og regionale flomformler. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall.

Flomforhold i små vassdrag under 50 km^2 blir diskutert, i lys av ny veileder for flomberegninger i små felt (Stenius og Glad m.fl, 2015).

Ingen punkter langs hovedelva er ilagt et klimapåslag på kulminasjonsvannføringene. Klimaendringers effekt på flomforholdene i Gudbrandsdalslågen antas å være uforandret fra dagens forhold. For innlands nedbørfelt (> 1000km^2), som i dag er dominert av smelteflommer, vil disse feltene fremdeles være preget av det samme flomregimet. De største flommene ventes å bli noe redusert, samt opptre tidligere i sesongen. Kun to sideelver er tillagt et klimapåslag på 20%, se Tabell 4. En ny rapport med nye anbefalinger om klimapåslag er under utarbeidelse, og ferdigstilles i februar 2016. Man må forvente at nordlige deler av Lågen vil bli berørt av disse nye anbefalingene, se kap.4.4.

Resultatene av beregningene ble:

Tabell 1 Flomverdier i Gudbrandsdalslågen oppstrøms samløp med Otta for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Lågen,oppstr.saml.med Lora	25	30	35	40	45	50	54	60	64
Lora	124	149	173	198	235	260	285	309	334
Lågen,nedstr.saml. med Lora	132	163	188	213	244	268	291	322	346
Lågen, Bottheim (bru)	159	197	227	257	295	323	351	389	417
Lågen, ved Nord-Sel bru**	353	436	504	569	653	716	779	862	925
Lågen, oppstr. saml. med Ula	366	452	523	590	677	743	808	894	959
Ula	56	67	78	89	106	117	128	139	150
Lågen,nedstr.saml.m/ Ula	400	495	572	645	741	813	884	978	1049
Lågen,oppstr.saml.m/Otta	402	497	575	649	745	817	888	983	1055
Otta*	674	796	895	990	1113	1283	1390	1530	1637

Tabell 2 Flomverdier i Gudbrandsdalslågen nedstrøms samløp med Otta ved de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Lågen, nedstr. saml. med Otta	980	1163	1320	1475	1679	1906	2082	2320	2502
Lågen, oppstr. saml. med Sjoa	983	1167	1325	1480	1685	1913	2089	2327	2510
Sjoa	248	317	373	427	496	549	601	669	721
Lågen, nedstr. saml. Med Sjoa	1204	1429	1623	1814	2064	2330	2542	2828	3048
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	1206	1432	1626	1816	2067	2333	2546	2832	3052
Veikleåa	32	41	48	57	67	73	82	92	98
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	1215	1442	1637	1829	2082	2349	2563	2851	3073
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	1256	1491	1693	1891	2153	2330	2562	2874	3114
Lågen, ved Hundorp bru	1264	1500	1703	1903	2166	2345	2577	2891	3133
Lågen, oppstr. saml. med Frya	1265	1501	1705	1904	2168	2346	2579	2893	3135
Frya	95	123	142	171	199	218	247	275	294
Lågen, nedstr. saml. med Frya	1296	1538	1746	1951	2221	2404	2642	2963	3210
Lågen, oppstr. saml. med Våla	1297	1539	1748	1953	2222	2406	2644	2965	3212
Våla	87	114	131	157	184	201	227	254	271
Lågen, nedstr. saml. med Våla	1323	1570	1783	1992	2267	2455	2697	3024	3275
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	1326	1574	1787	1997	2272	2461	2704	3031	3283
Tromsa	98	127	146	176	205	224	254	283	302
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	1351	1604	1821	2034	2315	2508	2755	3088	3344
Lågen, ved innløp til Losna	1356	1610	1828	2042	2324	2517	2765	3099	3356
Lågen, ved utløp av Losna	1361	1615	1834	2049	2332	2527	2775	3110	3368
Lågen , ved Hunderfossen krv.	1371	1628	1849	2065	2350	2546	2796	3133	3393
Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	1374	1631	1852	2069	2355	2551	2801	3139	3399
Gausa	272	348	409	469	545	602	659	735	792
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	1442	1712	1944	2172	2472	2679	2941	3294	3565

Tabell 3 Beregnet vannstand i Losna, basert på beregnet kulminasjonsvannføringer ved 2.145 Losna (Høyde ref. NN54).

Punkt i vassdraget	H_M m	H_5 m	H_{10} m	H_{20} m	H_{50} m	H_{100} m	H_{200} m	H_{500} m	H_{1000} m
Vannstand i Losna	182,52	182,98	183,35	183,70	184,13	184,42	184,76	185,21	185,54

Tabell 4 Flomverdier for de to sideelvene som blir berørt av klimapåslag (20%), kulminasjonsvannføringer.

Sideelver	**Klima-påslag** %	**Areal** km^2	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Ula	20	157	67	80	93	107	127	140	154	167	180
Veikleåa	20	101	38	49	57	68	80	87	99	110	118

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Det er stor variasjon på kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i analysen, og man har ikke lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 100år.

Det at det finnes flere målestasjoner både i hovedelva og i sidevassdragene hvor man skal gjøre beregninger for, er sjeldent godt og det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes dermed til klasse 1, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

I 2000 gjorde NVE en flomberegning (Dragseth, 2000) som grunnlag for flomsonekartlegging for deler av Otta og Gudbrandsdalslågen. På grunn av tilgang på lengre måleserier og nye store flommer i vassdraget (2011,2013 og 2014) er det i forbindelse med arbeidet med RPL bestemt at flomberegningene skal revideres.

Det pågår et stort arbeid med utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag til en forvaltningsplan for Gudbrandsdalslågen. Her skal NVE inn og bidra med kunnskapsgrunnlag for vannlinjer blant annet for strekningene:

1. Strekningen Mjøsa – Hundorp, samt deler av Gausa
2. Strekningen Sjoa – oppstrøms Selsmyrene, samt nedre deler av Otta

I tillegg til beregningspunkt fra flomsonekartleggingen i 2000, har avdeling for Skred og vassdrag ved NVE ønsket beregninger for sideelvene Ula, Sjoa, Veikleåa og Gausa, samt beregninger i Lågen oppstrøms og nedstrøms alle utvalgte sideelver. For Gudbrandsdalslågen utgjør dette flomberegninger for 9 sideelver og 23 punker i Lågen, se Tabell 5. I tillegg er vannstand i Losna inkl. i analysene.

Kart over nedbørfeltet som inngår i analyseområdet er vist i Figur 1, sammen med strekningene som er aktuelle i forbindelse med revisjon av flomsonekartplaner.

Som grunnlag for arbeidet med hydraulisk modell i Gudbrandsdalslågen skal normalvannføring, middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år beregnes for de aktuelle elvestrekningene.

Figur 1. Kart over analyseområdet sitt nedbørfelt, Gudbrandsdalslågen. Strekningene som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med gult, sideelver som skal flomberegnes er markert i mørk blå.

1.1 Avgrensing av oppgaven

Avgrensing av oppgaven er basert på delprosjektene fra rapporten i 2000, og prosjektnumrene i parentes refererer til delprosjektnummer i Flomsonekartprosjektet. Delprosjekt 2 og 3 inngår i strekningen som skal inngå i forvaltningsplanen for Lågen Pkt. 2 *«Sjoa – oppstrøms Selsmyrene, samt nedre deler av Otta»*. Delprosjekt 5 vil inngå i RPL pkt. *1 «Mjøsa – Hundorp, samt deler av Gausa.»* Vannstanden i Mjøsa, som vil kunne påvirke vannstanden ved samløpet mellom Lågen og Gausa er basert på rapport om flomsonekart i Mjøsa (Naserzadeh og Svegården, 2006).

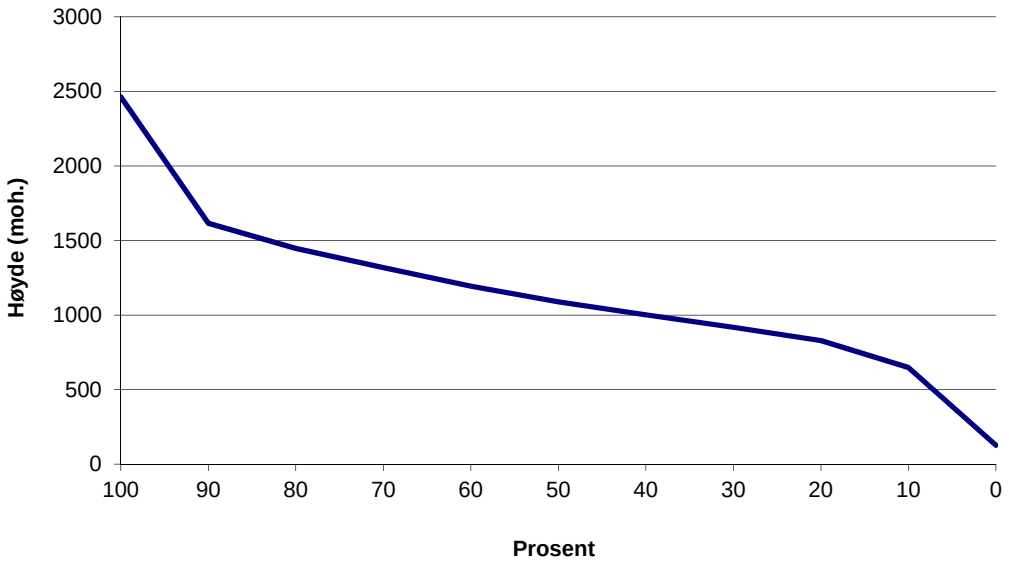
Delprosjekt 1. (fs 002_35)	**Lesjaleirene**. Øvre avgrensning er i området der Lora tilløper Gudbrandsdalslågen. Nedre avgrensning er ved Bottheim.
Delprosjekt 2. (fs 002_32)	**Selsmyrene**. Øvre avgrensning er ved Nord-Sel, nedre avgrensning er ved Sel rett oppstrøms tilløpet fra Ula.

Delprosjekt 3. (fs 002_31)	**Otta tettsted**. Øvre avgrensing er ved Selsverket rett nedstrøms tilløpet fra Uladalen. Nedre avgrensing er ved Kringen rett nedstrøms tilløpet fra Otta. Prosjektet henger sammen med prosjekt nr. 3. i Ottavassdraget.
Delprosjekt 4. (fs 002_30)	**Hundorp.** Harpefossen til Hundorp.
Delprosjekt 5. (fs 002_29)	**Ringebu/Fåvang.** Hundorp til Losna.

2. Beskrivelse av vassdraget

Lågenvassdraget utgjør en del av Glommavassdraget. Ottavassdraget inngår i Lågenvassdraget og strekker seg i vest-østlig retning fra Strynefjellet på hovedvannskillet mot vest til tettstedet Otta hvor elva Otta renner inn i Gudbrandsdalslågen. Nordlig del av Lågenvassdraget avgrenses i Dovrefjellsområdet. Vassdraget avgrenses mot vest av Jotunheimen og mot øst av Dovrefjell og Rondane. Gudbrandsdalslågen renner ut i Mjøsa og videre til Vorma som har samløp med Glomma ved Årnes.

Hele nedbørfeltet til Gudbrandsdalslågen er på 17 538 km^2. I dette dokumentet skal flommer på strekningen fra nedstrøms samløp mellom Gausa og Lågen (nær innløpet til Mjøsa) og nordover beregnes, denne delen av nedbørfeltet utgjør et areal på ca.12 515 km^2, og er i luftlinje ca. 190 km langt. Høyeste punkt er Galdhøpiggen på 2469 moh., laveste punkt er ca. 127 moh., rett nedstrøms samløp med Gausa. Det er et høytliggende vassdrag med store høydeforskjeller. Bortimot 60 % av vassdraget ligger over 1000 moh, se Figur 2.



Figur 2. Hypsografisk kurve for Gudbrandsdalslågen nord for Mjøsa. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som er over en gitt høyde.

Gudbrandsdalslågen har utspring i Lesjaskogsvatn. Nord for Lesja tilløper Lora fra vest, og ved Dombås renner Jora inn i Lågen. Ula renner inn i Lågen fra øst rett før Lågen når tettstedet Otta hvor den går i samløp med elva Otta vestfra. På strekningen mellom tettstedet Otta og innsjøen Mjøsa får Lågen bidrag fra flere større sideelver: Sjoa, Veikleåa, Vinstra, Frya, Våla, Tromsa og Gausa. Aktuelle feltparametere for de fleste beregningspunkt er oppsummert i Tabell 5.

Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk avrenning på ca. 22 l/s·km^2 ved Losna, men variasjonene innenfor feltet er store. Den varierer fra 60 l/s·km^2 i de høytliggende områdene omkring Strynefjellet til ca. 10 l/s·km^2 i de laveste områdene omkring Losna. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker i alminnelighet for små arealer.

Tabell 5. Feltparametere for beregningspunkter i Gudbrandsdalslågen, inkl. normalavrenning i m^3/s.

Beregningspunkter	Feltareal (km^2)	Eff. sjø (%)	Q_N** (l/s·km^2)	Q_N (m^3/s)	H_{50} (moh.)	Feltlengde (km)
Lågen, oppstr.saml. med Lora	169*	1,40	17,7	3	1111	18
Lora	355	0,00	18,4	7	1340	35
Lågen, nedstr. saml. med Lora	523	-	-	10	-	-
Lågen, Bottheim (bru)	727	0,10	17,1	12	1249	49
Lågen, ved Nord-Sel bru	1836	0,02	17,6	32	1186	73
Lågen, oppstr. saml. med Ula	1931	0,00	17,2	33	1168	82
Ula	157	0,1	18,1	3	1246	33
Lågen, nedstr.saml. med Ula	2088	-	-	36	-	-
Lågen, oppstr.saml. med Otta	2103	-	-	37	-	-
Otta	4067	0,40	26,4	107	1317	124
Lågen, nedstr. saml. med Otta	6170	0,20	23,3	144	1260	125
Lågen, oppstr. saml. med Sjoa	6227	-	-	145	-	-
Sjoa	1527	0,5	22,6	35	1248	70
Lågen, nedstr. saml. med Sjoa	7754	-	-	178	-	-
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	7792	-	-	179	-	-
Veikleåa	101	0,1	10,6	1	899	13
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	7893	-	-	180	-	-
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	9658	-	-	214	-	-
Lågen, ved Hundorp bru	9844	0,1	22,9	225	1191	153
Lågen, oppstr. saml. med Frya	9867	-	-	226	-	-
Frya	372	0,30	14,3	5	978	38
Lågen, nedstr. saml. med Frya	10239	-	-	231	-	-
Lågen, oppstr. saml. med Våla	10262	-	-	232	-	-
Våla	314	0,10	15,0	5	998	24
Lågen, nedstr. saml. med Våla	10576	-	-	237	-	-
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	10652	-	-	239	-	-
Tromsa	322	0,00	15,4	5	961	26
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	10974	-	-	244	-	-
Lågen, ved innløp til Losna	11096	-	-	242	-	-
Lågen, ved utløp av Losna	11212	0,19	21,8	244	1139	178

Lågen, ved Hunderfossen krv.	11501	-	-	249	-	-
Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	11567	-	-	250	-	-
Gausa	945	0,00	16,2	15	835	58
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	12512	0,20	21,2	265	1089	194

** Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.

* Noen beregningspunkt har det ikke vært nødvendig å beregne spesifikk årlig avrenning, normalavrenningen i m^3/s for disse punktene er derfor basert på kjente verdier oppstrøms og nedstrøms.

2.2 Reguleringer i vassdraget

Både Otta- og Vinstravassdraget, som er deler av Gudbrandsdalslågen, er påvirket av vannkraftregulering. Reguleringene har skjedd gradvis, med første regulering i 1917(Bygdin) og da med formål om å redusere flommene i Lågen, Mjøsa og nedre deler av Glomma. Etter hvert har man regulert større arealer for vannkraftproduksjon, med siste utbygging av Øvre Otta i 2005/2008.

Ottavassdraget:

Det er fire reguleringsmagasin i Ottavassdraget; Breiddalsvatn, Rauddalsvatn, Aursjø og Tesse.

Tesseutbyggingen består av totalt 3 kraftverk som utnytter fallet mellom Tesse og Vågåvatn. Første reguleringsår er 1941, men Tessemagasinet ble første gang tappet ned i 1943, og vil med det være det første året hvor effekten av reguleringen er merkbar på flommer nedstrøms. I 1963 ble vann overført fra Veo i Sjoavassdraget via Smådøla til Tessemagasinet. Overføringen, på maks. 20 m^3/s, ble satt i drift høsten 1963 og påvirker derfor målestasjonene i nedre del av Otta. Dammen ble sist ombygget i 1978.

Breidalsmagasinet ble første gang tappet ned i 1944. Raudalsmagasinet ble første gang fylt i 1952. Framruste kraftverk ble satt i drift i 2005, og utnytter fallet fra Raudalsmagasinet og ned til Pollvatnet. Breidalsoverføringen ble satt i drift i 2008. Tapping mot Raudalsvatn skjer ved pumping gjennom en tappetunnel fra Breidalsvatn. Heggebotnvatnet (Målested for nedlagte 2.223 Fredriksvatn) ble oppdemmet i 2005, og er inntaksmagasin til Øyberget kraftverk.

Skjåk 1 med inntak i Aursjømagasintet ble satt i drift 1965, og magasinet ble tappet ned for første gang samme år. Dammen ble sist ombygget i 1997.

Et felt på 35 km^2 er fraført Ottavassdraget og overført ut til Tafjord kraftverk. Det er ingen tappeorgan i overføringstunnelen fra Grønvatn og til Brusebotn. Tunnelen har en kapasitet på 12 m^3/s. Når Grønvatn magasin, som har en kapasitet på 60 mill. m^3, er fullt om høsten vil vannet renne naturlig nedover sitt naturlige løp. Om våren vil magasinet være tomt. Det er også våren som gir de største flommene. Bidraget fra det fraførte feltet vil derfor bli lite (Pettersson, 2014).

Målestasjonen 2.434 Ofossen som da er påvirka av Raudalsmagasinet og Breidalsvatn har et reguleringsgrads-areal [1]på 0,61 og reguleringsgrad-magasin[2] på 0,17. Målestasjon 2.25 Lalm som ligger nederst i vassdraget og er påvirket av alle reguleringene og har reguleringsgrads-areal på 0,33 og reguleringsgrad-magasin på 0,14.

Gudbrandsdalslågen:

Det er sju reguleringsmagasin i Vinstravassdraget: Bygdin, Vinstern, Nedre Heimdalsvatn, Kaldfjorden, Øyangen og Olstappen. Nedre Vinstra krv. ble satt i drift i 1953 og er blitt utvidet flere ganger etter det. Siste gang i 1989 med utvidelse av vannveien. Øvre Vinstra krv. har vært i drift siden 1959/60.

Bygdin ble første gang regulert i 1917 (flomreduksjon), og ytterlig regulert for kraftproduksjon fra 1937. Siste gang ombygget i 1982, og har en samlet magasinkapasitet på 336 Mm^3. Vinstern ble regulert på 1950-tallet. Magasinkapasitet på 103 Mm^3. Kaldfjorden ble regulert i begynnelsen av 1950-åra og fikk overført Nedre Heimsdalsvatn i 1959, som gir en samlet kapasitet på 76 Mm^3. De mindre reguleringene i Heimdalsvatn, Øyangen og Olstappen gir til sammen 54 Mm^3 magasin**.**

I 1963 ble vann overført fra Veo i Sjoavassdraget via Smådøla til Tessemagasinet. Overføringen, på maks. 20 m^3/s, ble satt i drift høsten 1963.

Totalt er det i Vinstravassdraget en magasinkapasitet på 569 Mm^3 som sammen med reguleringene i Otta (426 Mm^3; magasin og overføringer), endrer avløpsforholdene i Lågen. Målestasjonen 2.460 Eide som bare er påvirka av Otta-reguleringene har et reguleringsgrads-areal på 0,18 og reguleringsgrad-magasin på 0,09. Målestasjon 2.145 Losna, som ligger langt ned i vassdraget (før innløp til Mjøsa) og er påvirket av alle reguleringene, har et reguleringsgrads-areal på 0,25 og reguleringsgrad-magasin på 0,14

Reguleringene har en viss innvirkning på flomforholdene i elva og blir diskutert i kap. 4.

I tillegg er det etablert reguleringsmagasin i et par av sideelvene. Moksa kraftverk (med utløp ved Tretten, i elva Moksa) har fire reguleringsmagasin (Djupen, Goppolen, Våsjøen og Grunnesvatn). Moksavassdraget har vært utnyttet siden 1909, ytterligere utvidet i 1990. Gausa har fem mindre reguleringsmagasin (Hornsjøen, Ropptjern, Ongsjøen, Bennsjøen og Rausjøen). Første reguleringsår er 1915. Målestasjonen 2.28 Aulestad som ligger langt ned i Gausa har en reguleringsgrad på 0,08. Reguleringene i disse sidevassdragene er antatt å ikke ha stor betydning for flomforholdene i hovedelva Gausa.

---

[1] Reguleringsgraden-areal, regnes som forholdet mellom totalt reguleringsareal og målestasjonens naturlige feltareal.

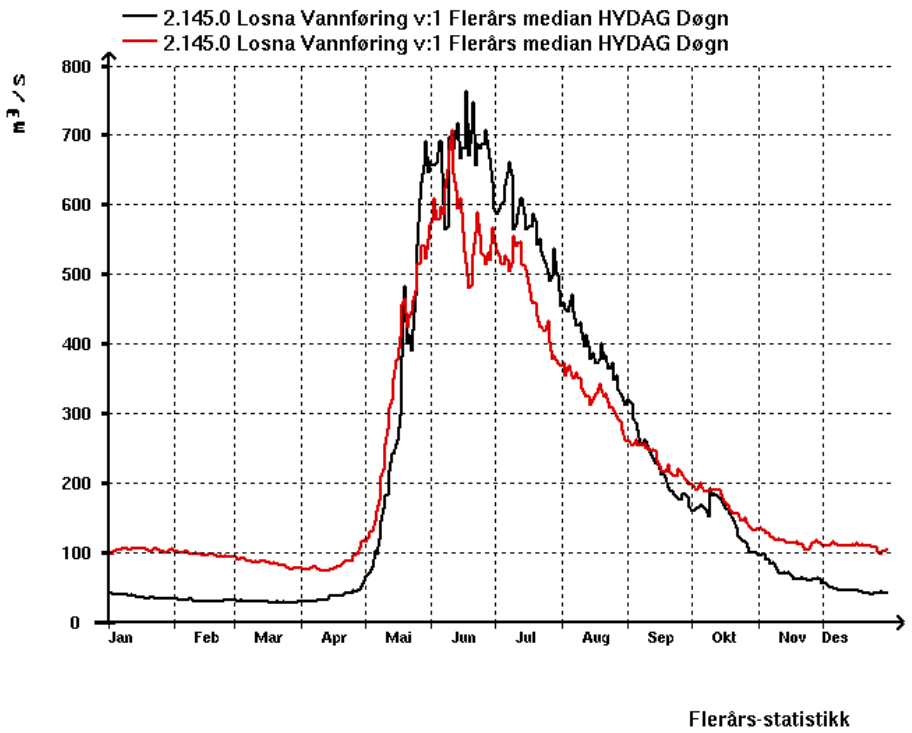
[2] Forholdet mellom summen av volumene mellom høyeste regulerte vannstand (HRV) og laveste regulerte vannstand (LRV) i alle reguleringsmagasin i målestasjonens naturlige nedbørfelt, og normalavløpet i feltet i perioden 1961-1990.

Informasjon som er presentert i dette kapittelet er hentet fra GLB (Hans-Christian Udnæs, mailkorrespondanse januar/mars 2015), rapport for Flomberegning Gudbrandsdalslågen (GLB, 2008) og NVE-rapport nr.71 (Petterson, 2014).

2.3 Karakteristiske vannføringer

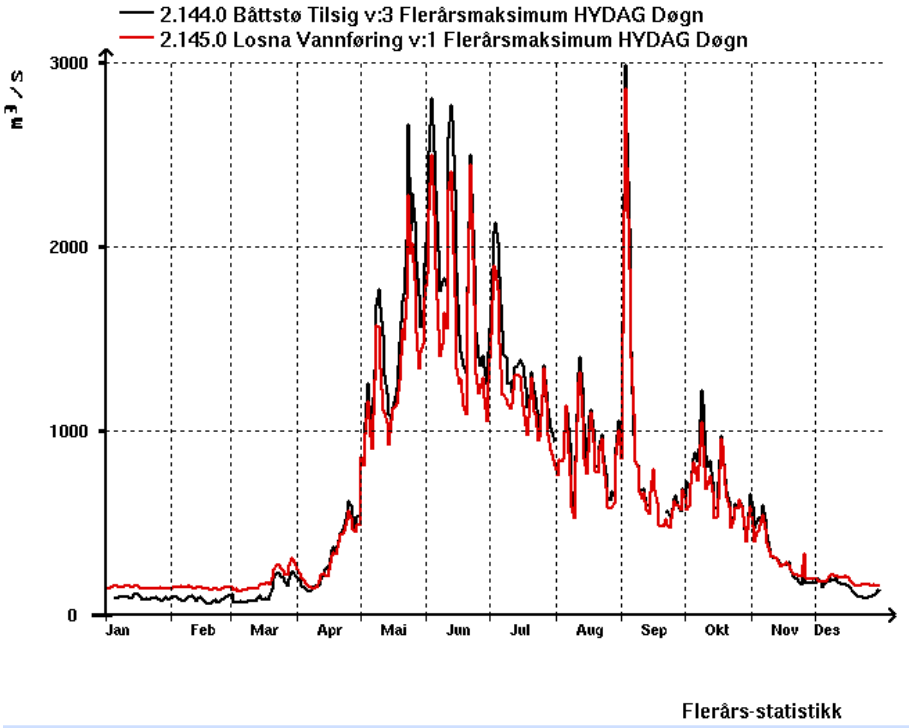
I Gudbrandsdalslågen er det, i likhet med i Ottavassdraget, vårflommer som dominerer på grunn av stor snøsmelting. De aller største flommene er likevel ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Vintervannføringen i Lågen er liten fra nov./des. til april. Siden store deler av feltet ligger over tregrensen og har stabile vinterforhold øker avrenningen kraftig i mai og juni i forbindelse med snøsmeltingen. Det er i denne perioden og utover sommeren de store flommene i hovedelva opptrer. Et unntak er flommen i 1938 som skjedde i starten på september.

Karakteristiske vannføringer ved 2.145 Losna antas å beskrive avrenningsmønsteret i hovedelva godt. Fra slutten av 1930-tallet ble vassdraget regulert og flere store magasiner etablert. Figur 3 viser hvordan reguleringene har påvirket avrenningsforholdene. De to periodene som er plotta i samme diagram er av ulik lengde, og er derfor ikke direkte sammenlignbare. Reguleringene har spesielt påvirket vintervannføringa Lågen, men flomvannføringa har også blitt noe redusert, og da spesielt fra mai til august. Medianvannføringen i Figur 3 betyr at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne.



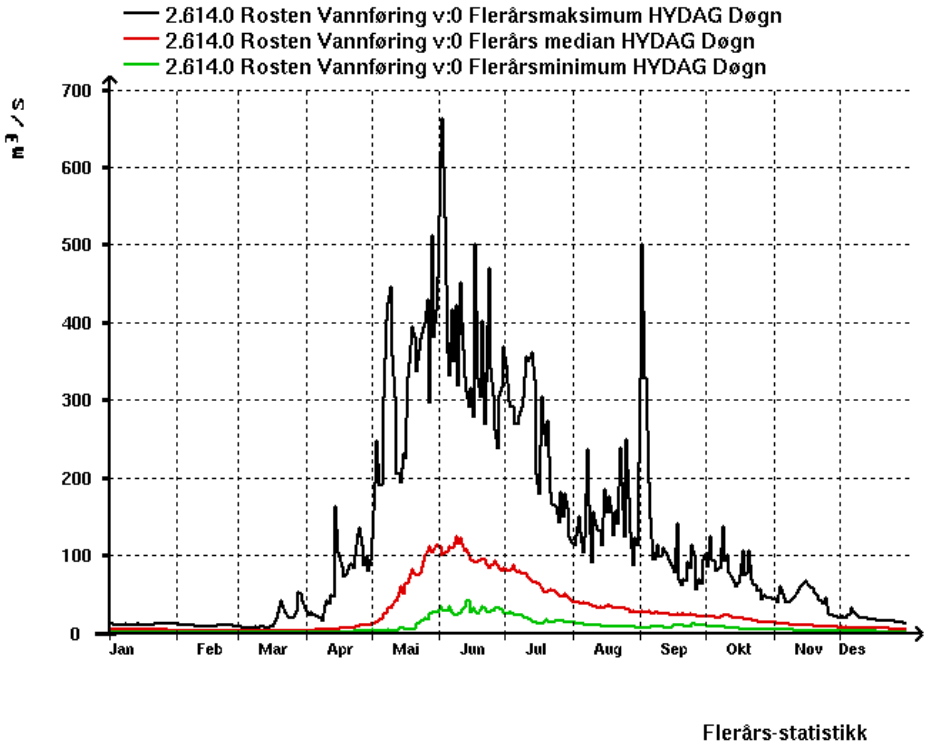
Figur 3. Flerårsmedian for 2.145 Losna før og etter regulering. Figuren viser observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1896 – 1936 (før regulering) i sort, og i perioden 1937-2014 (etter regulering) i rødt.

Maksimumsvannføringen i Figur 4 viser reguleringseffekten for samme tidsperiode (1937-2014), hvor uregulert serie baseres på en konstruert tilsigsserie, mer om dette i kap. 3 og 4.

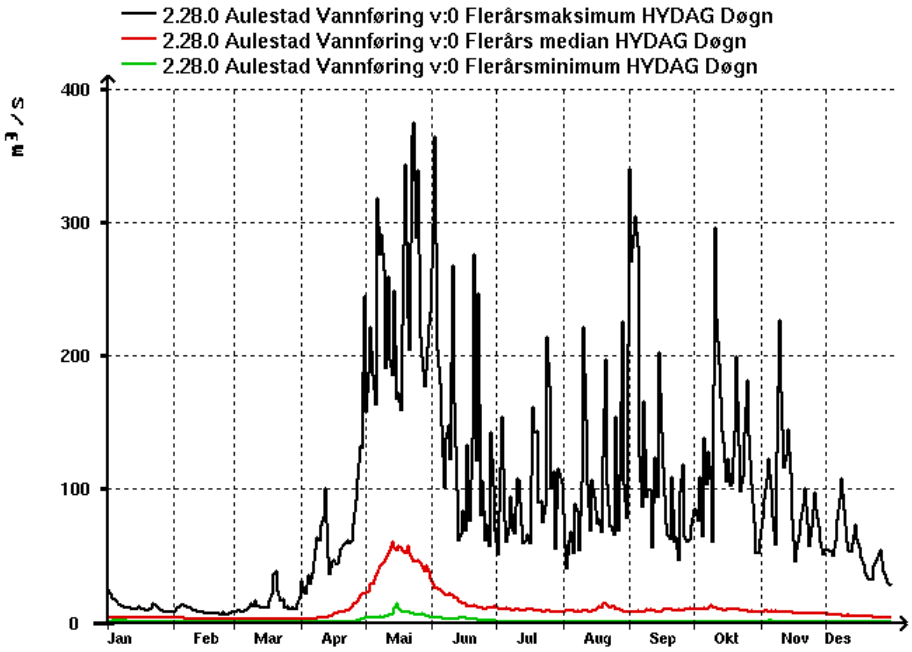


Figur 4 Flerårsmaksimum for Losna før og etter regulering. Figuren viser største observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1937 – 2014 (regulert,2.145 Losna) i rødt, og (uregulert, 2.144 Båttstø) 1937-2014 i sort. Den store flommen i begynnelsen av september er største observerte flom i vassdraget, 1938.

De uregulerte delene av vassdraget har lignende avrenningsmønster, men reagerer raskere og tydeligere på regnhendelser enn hovedelva, også i perioder før og etter vårflommen. I tillegg er vintervannføringen lavere, se Figur 5. Til lenger sør man kommer til mer eksponert blir man for høstflommer og mindre preget av lang periode med snøsmelting, dette kan ses ved 2.28 Aulestad som ligger i Gausa, se Figur 6.



Figur 5 Flerårsstatisitikk for 2.614 Rosten (1917-2014). Uregulert vannføring.



Figur 6 Flerårsstatistikk for 2.28 Aulestad (1929-2014). Tilnærmet uregulert vannføring.

3. Hydrometriske stasjoner

Det er flere målestasjoner i vassdraget, både i hovedelva og i noen av sideelvene. Figur 7 viser beliggenheten til målestasjonene og feltparameterne er oppsummert i Tabell 6. Nedenfor er det gjort en kort beskrivelse av de aktuelle målestasjonene.

Figur 7. Oversikt over målestasjoner benyttet i beregningene for Gudbrandsdalslågen.

Tabell 6. Feltparametere for målestasjoner i Gudbrandsdalslågen, benyttet/vurdert i analysene.

Stasjon	Feltareal (km^2)**	Eff. sjø (%)	Normalavløp, Q_N ($l/s \cdot km^2$)*	Høydeintervall (moh.)	Median høyde (moh.)
Regulerte serier, i Lågen:					
2.25 Lalm	3982	0,42	27	355-2462	1326
2.614.2016 Arbeidsserie 1	6170	0,14	-	286-2462	1260
2.614.2017 Arbeidsserie 2	6170	0,14	-	286-2462	1260
2.460 Eide	7969	0,12	22,6	240-2463	1242
2.224 Harpefoss	9658	0,12	22,2	218-2463	1221
2.145 Losna	11213	0,19	21,8	179-2463	1139
Uregulerte serier, i Lågen:					
2.614 Rosten	1834	0,02	17,6	319-2207	1186
2.144 Båttstø, tilsig Losna	11213	0,19	21,8	179-2463	1139
Uregulerte serier, sideelver i Lågen eller sideelver i nabovassdrag til Lågen:					
2.346 Lesjaskogvatnet	89,7	-	-	-	-
2.303 Dombås	497	0,09	20,3	575-2207	1318
2.304 Jora	273	0,25	23,7	791-2070	1370
2.479 Li Bru	157	0,01	23,8	753-2165	1293
2.32 Atnasjø	463	1,09	22,2	701-2169	1205
2.595 Faukstad (Sjoa)	1480	0,48	22,5	358-2463	1263
2.13 Nedre Sjodalsvatn	480	4,19	-	940-2362	1462
2.415 Espedalsvatn	95	4,80	22,9	721-1449	1055
2.276 Furusjøen	68	7,80	-	850-1661	1037
2.63 Rudi	370	0,28	14,3	246-1661	986
2.439 Kvarstadseter	377	0,05	29,2	669-1191	912
2.28 Aulestad	866	0,04	16,5	199-1514	850
2.436 Vismunda	191	0,03	20,0	188-1066	689

* Normalavløp funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.
* * Naturlig areal.

Målestasjoner i hovedelva, Lågen (fra nord til sør):

2.25 Lalm ligger på strekket mellom Vågåvatn og tettstedet Otta. Målestasjonen har observasjoner siden 1908 og er den stasjonen som ligger lengst ned i Ottavassdraget. Frem til 1986 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Stasjonen er påvirket av reguleringene i Breidalsvatn, Raudalsvatnet, Aursjø, Tesse og Veo-overføringen. Stasjonen har uregulerte data frem til 1941 (Tessereguleringen). Datakvaliteten er vurdert som god (GLB/Hydrateam, 2015).

Arbeidsserie1[3] ($Q_{Arb.1} = (Q_{2.25\ Lalm}*1{,}010) + (Q_{2.614}*1{,}064)$) er en konstruert serie som er representativ for Lågen rett nedstrøms samløpet mellom Lågen og Otta, dvs. nedstrøms tettstedet Otta. Serien er laget på bakgrunn av serien 2.25 Lalm i Ottavassdraget og 2.614 Rosten i Lågen et stykke oppstrøms tettstedet Otta. Disse seriene er skalert opp med en skaleringsfaktor som representerer økning i feltareal (fordi man antar at flomvannføringen i restfeltene alle rede har kulminert, er restfeltets bidrag antatt halvert) mellom målestasjonene og samløpet. Restfeltene er hhv. 85 km^2 (Otta) og 268km^2 (Lågen). Deretter er døgnverdiene i disse seriene addert, og gir en estimert vannføring nedstrøms samløpet. Serien har data fra 1917-2014. Arbeidsserie 2 er konstruert på samme måte, men bruker data fra Lalm sin tilsigsserie (2.150 Lalm), og beskriver dermed tilnærmet uregulerte forhold. Denne serien har data fra 1917-2013.

Hadde man gjort en ren arealskalering for restfeltene[4], hadde middelflommen økt nedstrøms samløpet med ca. 20 m^3/s. Dette utgjør bare 2,5 % av vannføringen nedstrøms samløpet mellom Otta og Lågen, og man har valgt å opprettholde Arbeidsserie 1 som estimat på vannføringen her.

2.614 Rosten ligger rett nord for Selsmyrene, før samløpet med Otta. Målestasjonen har observasjoner siden 1917. Stasjonen er uregulert. Ny vannføringskurve etter flommen i 2011, endret i databasen 28.10.14. Kvaliteten på vannføringskurven under flom vurdert som meget god.

2.460 Eide er plassert rett oppstrøms tettstedet Vinstra. Målestasjonen har observasjoner siden 1984. Stasjonen er påvirket av reguleringene i Otta. Vanskelige måleforhold for vannføringsmålinger ved ekstrem flom. En del pendling av vannstand i målekum, spesielt ved flomvannføringer (GLB/Hydrateam, Epost 28.10.14).

2.224 Harpefoss lå ved Harpefossen kraftstasjon nord for tettstedet Harpefoss. Målinger foregikk i perioden 1933-1960. Vannføringskurvens kvalitet er usikker. Stasjonen er påvirket av reguleringene i Ottavassdraget og Vinstravassdraget.

2.145 Losna er plassert i Losna, et stykke sør for Fåvang. Vannføringsmålinger gjøres i utløpet. Målestasjonen har observasjoner siden 1896 og er den stasjonen som ligger lengst ned i hovedelva og den stasjonen med lengst dataserie. Stasjonen er påvirket av reguleringer i både Otta og Vinstra. Stasjonen har tilnærmet uregulerte[5] data frem til 1937. Frem til 1987(kanskje tidligere) besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument (NVE, 2014). Datakvaliteten er vurdert som god, spesielt på flomvannføringer (GLB/Hydrateam, Epost 28.10.14). 2.144 Båttstø er Losna sin konstruerte tilsigsserie, med data fra 1896-2014.

---

[3] Finnes i Hydra II som arbeidsserie 2.614.0.1001.2016.

[4] Sideelven Ula sine feltegenskaper ligner på 2.479 Li Bru, som ligger i nabovassdraget øst for Ula. Flommer ved Li Bru ser ut til å kulminere noen timer før 2.614 Rosten. I og med at Ula (A=157 km^2) utgjør en stor del av restfeltet mellom 2.614 Rosten og samløpet med Otta kan det virke som om en ren arealskalering for større deler av restfeltet (A=268 km^2) hadde vært mer korrekt.

[5] Bygdin ble regulert første gang i 1917, men dette antas ikke å ha særlig betydning på flomvannføringer. Reguleringer for kraftproduksjon fra 1937.

Målestasjoner i sidevassdrag til Lågen (fra nord til sør):

2.346 Lesjaskogvatn er plassert i østenden av Lesjaskogsvatn helt øverst i Gudbrandsdalslågen. Lesjaskogsvatn drenerer både vestover ut i Rauma og østover ut i Gudbrandsdalslågen. Det er dermed problematisk å bestemme feltarealet og feltegenskaper for den delen av nedbørfeltet som drenerer østover. Stasjonen har observasjoner siden 1972. Målinger fra begge utløp av Lesjaskogvatn ble gjort i 1973-1989 og viser at 33 % av årsavrenningen går til Lågen, og under ekstrem flom går ca. 20 % til Lågen. Arealbidrag ved årsavrenning er da 48,4 km^2, under ekstrem flom ca. 18 km^2 og for beregninger i denne analysen har man anslått at ca. 30 km^2 bidrar ved middelflom. Dette er en middels god stasjon på flom, men kvaliteten på vannføringsmålingene gjør at vannføringskurven aldri kan bli meget god[6]. På grunn av datakvalitet og usikkerhet rundt bifurkasjonen er det ikke gjort frekvensanalyser på denne stasjonen.

2.303 Dombås ligger i Jora før samløpet med Gudbrandsdalslågen. Stasjonen har observasjoner fra 1967. Datakvaliteten ved denne stasjonen er veldig dårlig, og spesielt på flom[7]. Stasjonen ble ødelagt av flommen i 2011. Det er dårlig sammenheng mellom vannstand og vannføring på stasjonen ved økende vannføring. Vannhastigheten blir svært store. Vannflaten er også svært urolig, selv ved lav vannføring og det er vanskelig å angi rett vannstand til en vannføringsmåling. På økende vannføring blir dette vanskeligere og vanskeligere og etter hvert umulig, da vannet renner over berget rundt stasjonen og det ikke lenger er mulig å finne representativ vannflate. Stasjonen skal nedlegges og erstattes av **2.481 Jora v/Nysetra**. Jora v/Nysetra ligger mye lenger oppe (bare halvparten av vannføringen) og har data fra 2009, men den ble også tatt av flommen i 2011 som også laget en profilendring der. Ny vannføringskurve må konstrueres når man har fått tilstrekkelig målegrunnlag. Data fra 2.303 Dombås er på grunn av datakvalitet ikke tungt vektlagt i analysene.

2.304 Jora er en nedlagt stasjon som lå lenger oppe i Jora. Stasjonen har observasjoner fra 1968 -1985. Kvaliteten på flomvannføring er god og dårlig på middelvannføringer.

2.479 Li Bru ligger helt øverst i 2.32 Atnasjø sitt nedbørfelt, som drenerer mot Østerdalen. Nedbørfeltene grenser til Lågenvassdraget. Li Bru er et lite, høytliggende felt, med observasjoner fra 1989, men med mye hull frem til og med 1997. Kvaliteten på flomvannføringer (f.o.m 1997) er karakterisert som middels.

2.32 Atnasjø har en lang dataserie med første observasjon i 1916. Frem til 1986 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Feltet har en effektiv sjøprosent på 1,1. Vannføringskurven ble sist revidert 21.01.2014, og er karakterisert som middels på flom.

---

[6] Felthydrolog (Rolf Olstad) mistenker at terskelen i den andre enden av Lesjaskogvatnet (Raumas utløp) eroderer og at mer og mer av vannet forsvinner til Rauma i forhold til Lågen i årene fremover.
[7] Største vannføring er målt til 90 m^3/s, og tilsvarer omtrent middelflom. Alle rede her er vannføringskurven ekstremt usikker (Ref. felthydrolog Rolf Olstad).

2.595 Faukstad ligger langt nede i elva Sjoa. Stasjonen har observasjoner fra 1917, men med hull i dataene fra 1927-1944. Registrerende instrument ble installert i 1970. Elva Veo (A=155 km^2) er overført til Tesse-magasinet i Ottavassdraget. Overføringen har en maks kapasitet på 20 m^3/s og ble satt i drift høsten 1963. Det er et problem med at bestemmende profil endrer seg noe under flom. Der har heller ikke vært mulig å gjennomføre vannføringsmålinger under stor flom (f.eks. 2011). Kvaliteten på vannføringskurven under flom anses derfor som meget usikker. Data f.o.m 2011 kan ikke brukes i påvente av ny vannføringskurve.

2.130 Nedre Sjodalsvatn er et høytliggende felt i Sjoa med stor effektiv sjøprosent. Stasjonen har observasjoner fra 1930, men med hull i dataene fra 1950-1964. Det er mistanker om homogenitetsbrudd i dataserien fra 1965. Bare data f.o.m 1965 er brukt for videre analyser. Datakvaliteten er karakterisert som meget god (Ref. felthydrolog Rolf Olstad) etter nye vannføringsmålinger tatt under flommen i 2011.

2.415 Espedalsvatn ligger i en uregulert sideelv til Vinstra. Effektiv sjøprosent på 4,8 %. Stasjonen har observasjoner fra 1975, med hull i dataene fra 2001 – 2007. Etter en del driftsproblemer ved stasjonen, vurderer nå felthydrolog (GLB/Hydrateam) ny vannføringskurve. Datakvaliteten er foreløpig karakterisert som middels god.

2.276 Furusjøen ligger øverst i Frya sitt nedbørfelt. Målestasjonen er nedlagt, men observasjoner fra 1965-1987. Feltet er lite og har en høy effektiv sjøprosent. Datakvalitet på flomvannføringer er karakterisert som meget dårlig.

2.63 Rudi lå nederst i elva Frya og har observasjoner fra 1987. Der er flere hull i dataserien, og observasjonsperiodens to antatt største flommer i 1995 og 2013 mangler. Dataene er av varierende kvalitet, og karakterisert som meget dårlig for flom i perioden 1998-2000. Stasjonen ble tatt av flommen i 2013. Flommen endret elveleiet slik at målestedet ikke lenger kan brukes. Det er satt opp ny målestasjon, **2.1151 Frya bru**, som er plassert et godt stykke lengre opp i vassdraget (halvert feltstørrelse). Vannføringskurve er under etablering.

2.439 Kvarstadseter ligger øst for Lillehammer, og drenerer mot Østerdalen og Glomma. Stasjonen har observasjoner fra 1984, men har flere hull i observasjonsperioden og mangler bla. flommen i 1995. Kvaliteten på vannføringskurven under flom er karakterisert som middels. Det er i midlertidig få vannføringsmålinger (4.stk.,i følge databasen Hydra II), som er styrende for vannføringskurven.

2.28 Aulestad ligger i elva Gausa. Stasjonen har observasjoner fra 1930. Stasjonen er påvirket av regulering i Rausjø, men reguleringsgrad-areal (0,08) og reguleringsgrad-magasin (0,02) er så liten at dataene kan anses som uregulert for flomanalyser. Det er ikke mulig å gjøre vannføringsmålinger ved stor flom i elva (eks. 2011 og 2013), og der har vært problemer med vannstandsregistreringene. Vannføringskurven ble sist endret 28.11.2014. Det er stor usikkerhet knyttet til kvaliteten på vannføringskurven og spesielt data for flomvannføringer. NVE og GLB er nå (2015) i dialog ang. datafangst og kvalitet på vannføringskurven m.m.

2.463 Vismunda ligger i elva Vismunda som renner inn i Mjøsa fra vest. Stasjonen har observasjoner siden 1986. Vannføringskurven ble sist endret i 15.12.2014. Felthydrolog (Mail korrespondanse med Rolf Olstad, mai 2015) vurderer vannføringskurven som svært usikker på flom (til forskjell fra vurdering av kurvekvalitet i Hydag). Dette fordi det er vanskelig å måle vannføringen ved stasjonen og det er vanskelig å angi vannstanden med tilfredsstillende nøyaktighet. Der er heller ikke gjort vannføringsmålinger ved stor flom (middelflom), noe som kanskje bidrar til den største usikkerheten ved kurven[8].

[8] En annen ting som *kan* ha betydning på Vismunda er at det er ganske bratte sider i elvekløfta når vannstanden stiger til flomnivå. Det kan *kanskje* tyde på at vannføringskurven skal ekstrapoleres noe brattere oppover enn det som gjøres med gjeldende kurve. Dette vil gi lavere vannføringer enn gjeldende kurve gir. (Ref. mailutveksling med felthydrolog).

4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for både flomsonekartleggingen og hydraulisk modell for Lågen (RPL) er flomvannføringer for gitte gjentaksintervall som beskrevet i kapitel 1. Siden det finnes observasjon av vannføring i Lågenvassdraget er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen observasjonsserier av vannføring, men også regionale flomfrekvenskurver er benyttet (Sælthun *m.fl.*, 1997).

Når reguleringene er med å påvirke flommene er det vanskelig å utføre flomfrekvensanalyser slik at flomstørrelsene blir representative for dagens forhold. Normalt antar man at med økende flomstørrelse vil sannsynligvis reguleringenes flomdempende effekt avta, slik at flomstørrelsene ved sjeldne gjentaksintervall nærmer seg naturlige (uregulerte) forhold.

Flomforholdene i Gudbrandsdalslågen har endret seg gjennom åra som følge av økende reguleringsgrad. Flomstørrelsene er derfor bestemt av en kombinasjon mellom de naturlige flomvannføringene og reguleringens innvirkning på flomforholdene. Reguleringer som antas å ha betydning for flomforholdene startet i 1937 (Regulering av Bygdin for kraftproduksjon). Herifra har reguleringsgraden økt gradvis frem til siste regulering med utbygging av Øvre Otta i 2005/2008, som antas å ha liten effekt på flomforholdene nedstrøms. Den siste store reguleringen skjedde ved utbygging av Skjåk 1 (Aursjømagasinet) i 1965. Data f.o.m 1966 er derfor antatt å beskrive dagens forhold i hovedelva.

4.1. Flomfrekvensanalyser

En skiller gjerne mellom vårflommer og høstflommer. Store vårflommer er ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Høstflommer kommer som regel fra en ren regnhendelse. De underliggende mekanismene er forskjellige og kan ha ulike fordelinger. Vårflommene er årvisse, har ofte stort volum og lang varighet og øker moderat mot høye gjentaksintervall. Høstflommer kan være små eller mangle helt enkelte år, men stiger ofte raskere for sjeldne hendelser. I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av vår- og høstflommene, og ekstrapolere frekvenskurvene hver for seg (Sælthun *m.fl.*, 1997). I store Østlandsvassdrag, som Lågenvassdraget, er det stort sett vårflommer som er dominerende. Til tross for at høstflommene i vassdraget stort sett er mindre enn vårflommene, er det ikke uvanlig med stor vannføring om høsten. Dersom analysen gjøres kun med hensyn på årsflommer kan en risikere at store flommer i et år kan være større enn den største flommen i et annet år. For eksempel kan det skje at høstflommen ett år ikke kommer med i analysegrunnlaget fordi denne er lavere enn vårflommen samme år, til tross for at den er større enn største flom i et annet år.

I flomsonekartprosjektet er det bestemt at frekvensanalyse av årsflommer skal legges til grunn for beregningene (NVE, 2000 (rev. 2013)). Det vil si at frekvensanalysen er basert på en serie som består av den største observerte døgnmiddelvannføringen for hvert år. I dette vassdraget er vårflom dominerende, men det er gjennomgående observert én stor høstflom ved de fleste målestasjonene som får betydning for

frekvensanalysen, flommen i begynnelsen av september i 1938. Denne flomepisoden inngår i frekvensanalysene.

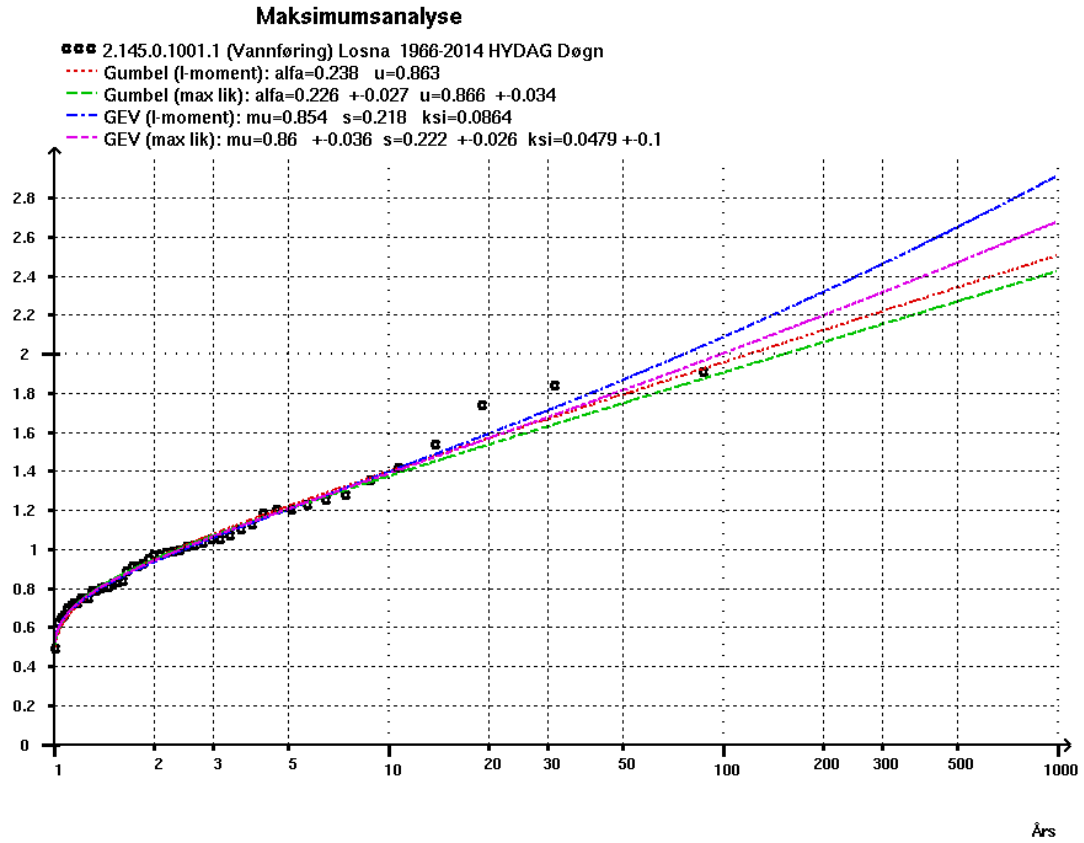
Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapitel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. Frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i Tabell 7 (for hovedelv) og i Tabell 8 (for mindre sidevassdrag). Midlere flom (Q_M) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentaksintervall (Q_T) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til midlere flom (Q_T/Q_M). Normalvannføringen finnes i Tabell 5. De frekvensfordelingene som er benyttet direkte videre i beregningene er uthevet.

Tabell 7 Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner i hovedelva, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun *m.fl,* 1997).

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km^2	Q_M		Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M	Fordeling
				m^3/s	l/s•km^2									
I hovedelv, Otta:														
2.25 Lalm	1907-2014	108	3982	689	173	1,20	1,36	1,52	1,72	1,87	2,02	2,22	2,37	Gumb-mom
2.150 Lalm tilsig	1914-2013	100	3982	749	188	1,18	1,33	1,47	1,65	1,79	1,93	2,11	2,24	Gumb-mom
I hovedelv, Lågen:														
2.614 Rosten	1917-2014	98	1834	306	167	**1,24**	**1,43**	**1,61**	**1,85**	**2,03**	**2,21**	**2,44**	**2,62**	Gumb-max
2.614.Arbeidsserie 1	1917-2014	98	6170	935	152	1,22	1,39	1,56	1,77	1,94	2,10	2,31	2,47	Gumb-mom
2.614.Arbeidsserie 1 (reg)	1966-2014	49	6170	906	147	1,20	1,35	1,48	1,64	1,76	1,87	2,01	2,11	GEV-mom
2.614 Arbeidsserie 2	1917-2013	97	6170	1002	162	1,20	1,36	1,50	1,68	1,81	1,93	2,09	2,20	GEV max
2.240 Eide (reg)	1985-2014	30	7969	1139	143	1,25	1,45	1,64	1,89	2,08	2,26	2,51	2,69	Gumb
2.244 Harpefoss	1933-1960	27	9658	1395	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.145 Losna	1896-2014	119	11213	1365	122	1,20	1,37	1,54	1,76	1,93	2,10	2,32	2,50	GEV max
2.145 Losna (reg.)	1966-2014	49	11213	1308	117	1,20	1,38	1,56	1,80	2,00	2,19	2,47	2,68	GEV max
2.144 Båttstø, tilsig	1896-2014	119	11213	1487	133	**1,19**	**1,35**	**1,51**	**1,71**	**1,87**	**2,03**	**2,25**	**2,42**	GEV max
V1 (1997)						1,20	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	
V4 (1997)						1,30	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	

Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har større betydning enn de fysiografiske. Ideelt sett bør man ha tilgang på lange dataserier som representerer dagens forhold (altså med de reguleringer som påvirker vannføringen), for å få et riktig bilde av vassdraget i fremtiden.

For 2.145 Losna gir frekvensfordelingen etter siste store regulering (1966-2014) en forholdsvis bratt frekvenskurve, se Figur 8.



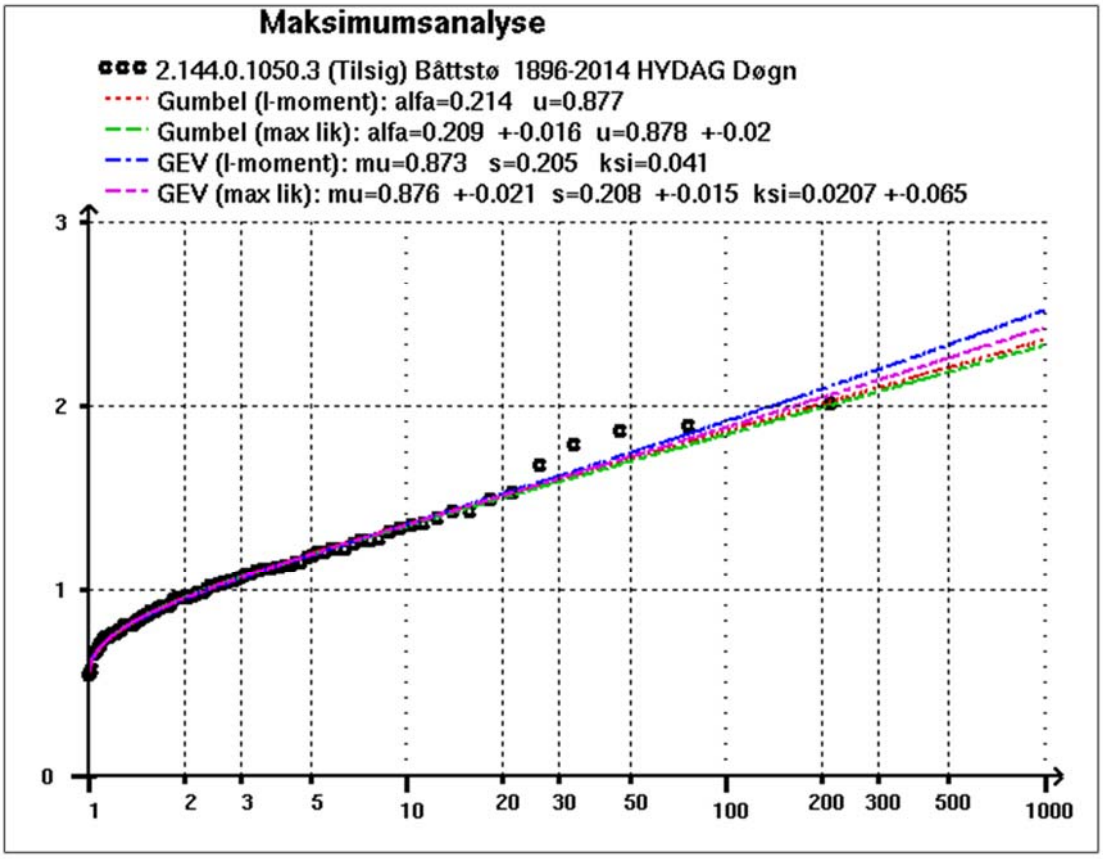
Figur 8 Frekvensfordeling, 2.145 Losna (1966-2014, etter siste store regulering). De fire største flommene er hhv. 1995, 2011, 2013 og 2014. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M.

Dette kan skyldes at 3 av Losna sine 5 største observerte flommer (1995,2011 og 2013) er med, samtidig som mange mindre flommer er med i datagrunnlaget. Det er vanlig at man får flere av de små flommene etter regulering fordi man oppnår forholdsvis god effekt av reguleringen på små flommer, forutsatt at magasinene ikke er fulle når flommen starter. Dette kan gi en noe kunstig bratt kurve på frekvensfordelingen og overestimering av de største gjentaksintervallene.

Ved å bruke så lang tidsserie som mulig, vil både uregulerte og regulerte flommer være inkludert i datagrunnlaget. Effekten som beskrevet over vil også inntreffe her, altså fordi man får en god del små flommer pga. reguleringen, men i den andre enden få noen store uregulerte flommer (1934,1910,1897).

For å inkludere så mange år som mulig er det et alternativ å bruke Losnas tilsigsserie 2.144 Båttstø (1896 – 2014), som etterstreber å beskrive uregulerte forhold. Den gir en frekvensfordeling som ligger noe lavere enn de to andre seriene som inkluderer regulerte data. Denne er valgt å beskrive alle punkter i hovedelva fra innløpet til Mjøsa og opp til samløpet med Otta. Reguleringene i vassdraget må dermed tas hensyn til på andre måter, se neste kapittel. Ved valg av denne frekvensfordelingen for alle gjentaksintervall vil man for de laveste gjentaksintervallene (Q_5-Q_{50}) få noe lavere flomverdier enn dersom man hadde valgt å bruke frekvensfordelingen basert på regulerte data. Størst utslag har dette på 50års-flommen hvor forskjellen er på ca.120

m^3/s. 120 m^3/s ved Losna utgjør ca.20-25cm i vannstand. Oppstrøms samløpet med Vinstra forventes denne forskjellen å være mindre, da man her har en mindre reguleringsgrad.

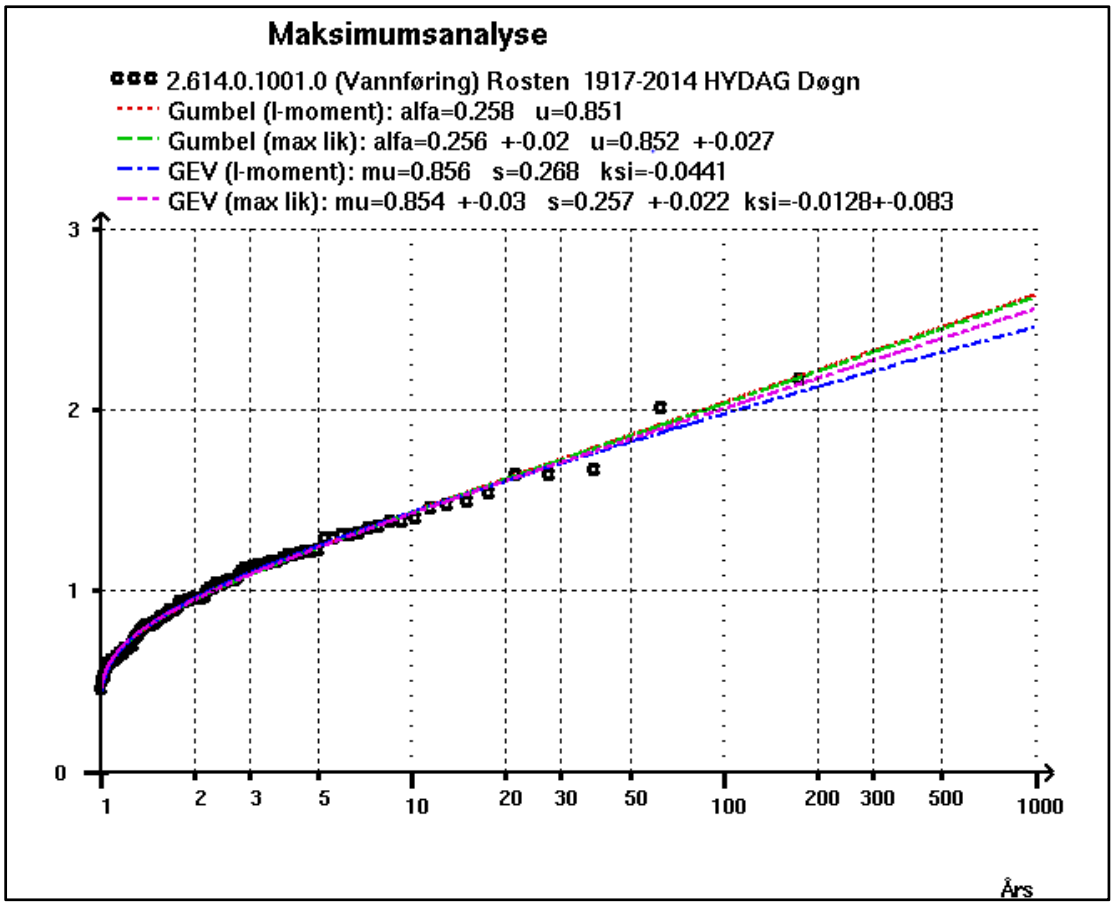


Figur 9. Tilpasset fordelingsfunksjon til årsflommer (døgnmiddel) ved stasjon 2.144 Båttstø (tilsigsserie). Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M. Valgt fordeling er GEV (max lik).

Man kan se av statistikken at det ikke nødvendigvis er de samme største flommene som opptrer i ulike deler av vassdraget, spesielt merkbar er forskjellen mellom Ottavassdraget og Lågenvassdraget. For eksempel var 1995-flommen liten (2-3 års gjentaksintervall) i Ottavassdraget, men den var den nest største observerte flommen i Lågen ved Losna (ca.100 års gjentaksintervall, basert på 2.144 Båttstø (1896-2014)). Frekvensfordelingen i Otta før samløpet bygger på 2.150 Lalm sin tilsigsserie (Flomberegning for Otta ferdigstilles 2016) og viser en klart flatere frekvensfordeling(Q_M/Q_{1000}=2,24) enn 2.144 Båttstø ved Losna. En konstruert serie (Arbeidsserie 2, uregulerte data) basert på 2.150 Lalm og 2.614 Rosten gir en enda flatere frekvensfordeling (Q_M/Q_{1000}=2,20). Det er i midlertidig stort sprik mellom de ulike frekvensfordelingene, og hadde man valgt Gumbel (Q_M/Q_{1000}=2,39) istedenfor GEV får man en tilsvarende frekvensfordeling som ved Losna.

Vannstanden i Losna ved de ulike gjentaksintervallene er beregnet ved å benytte flomvannføringene fra flomfrekvensanalysen ved 2.145 Losna, og beregne vannstandene ut fra vannføringskurven.

For strekningen oppstrøms samløpet mellom Otta og Lågen og oppover i hovedelva er 2.614 Rosten sin frekvensfordeling valgt til å beskrive forholdene.



Figur 10 Tilpasset fordelingsfunksjon til årsflommer (døgnmiddel) ved stasjon 2.614 Rosten. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet QT/QM. Valgt fordeling er Gumbel (max).

For de største sidevassdragene Sjoa og Gausa er målestasjonen 2.595 Faukstad (Ligger langt nede i Sjoa) med 66 år med data valgt å beskrive frekvensfordelingene, mens de regionale flomfrekvenskurvene for område V1 er valgt til å beskrive frekvensfordelingen for de ulike gjentaksintervallene for de mindre sideelvene oppstrøms samløpet med Otta. V1 samsvarer godt med 2.416 Rosten sin frekvenskurve, bare litt brattere. For sideelver sør for samløpet med Otta er de regionale flomfrekvenskurve for region V4 er valgt.

Tabell 8 Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner i mindre sidevassdrag, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun *m.fl.*, 1997).

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km²	Q_M		Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M	Fordeling
				m³/s	l/s•km²									
I sideelvene til Lågen:														
2.346 Lesjaskogvatn	1972-2014	42	90*	8	-	-	-	-	-	-	-	-		
2.303 Dombås	1968-2014	47	490	95	194	1,24	1,42	1,59	1,81	1,97	2,12	2,32	2,47	GEV (max)
2.304 Jora	1968-1985	18	273	55	202	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.479 Li Bru	1998-2014	17	157	30	190	1,32	1,56	1,79	2,07	2,28	2,48	2,74	2,93	GEV (mom)
2.320 Atnasjø	1917-2014	98	463	72	155	1,24	1,44	1,64	1,90	2,10	2,30	2,57	2,78	GEV (max)
2.595 Faukstad (Sjoa)	1945-2010	66	1480	213	144	**1,28**	**1,50**	**1,72**	**2,00**	**2,21**	**2,42**	**2,70**	**2,91**	Gumbel (mom)
2.595 Faukstad (Sjoa)	1964-2010	47	1480	208	141	1,29	1,52	1,74	2,03	2,25	2,47	2,75	2,97	Gumbel (mom)
2.415 Espedalsvatn	1976-2014	32	95	17	182	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.276 Furusjøen	1965-1987	23	163	11	163	1,36	1,64	1,92	2,28	2,55	2,82	3,17	3,44	Gumbel (mom)
2.63 Rudi	1988-2013	24	370	64	172	1,37	1,67	1,95	2,32	2,60	2,88	3,24	3,52	Gumbel (mom)
2.439 Kvarstadseter	1984-2013	25	377	90	239	1,17	1,32	1,47	1,68	1,83	2,00	2,22	2,40	GEV (max)
2.28 Aulestad	1930-2014	85	866	177	205	1,32	1,58	1,84	2,16	2,41	2,66	2,98	3,22	Gumbel (max
2.436 Vismunda	1986-2014	28	191	51	269	1,46	1,84	2,20	2,66	3,01	3,36	3,82	4,16	Gumbel (mom)
V1 (1997)						**1,20**	**1,4**	**1,6**	**1,9**	**2,1**	**2,3**	**2,5**	**2,7**	
V4 (1997)						**1,30**	**1,5**	**1,8**	**2,1**	**2,3**	**2,6**	**2,9**	**3,1**	

*Bare deler av arealet bidrar under flom, se kap.3.

Det er flere grunner til at alle de enkelte stasjoners frekvensfordelinger ikke vektlegges like tungt. 2.346 Lesjaskogvatn har naturlig avløp både mot Rauma og mot Gudbrandsdalslågen, og pga. usikkerhet knyttet til fordelingen av vann ved flom er det ikke gjort frekvensanalyse på denne stasjonen.

2.303 Dombås er ikke vektlagt i analysene på grunn av meget dårlig datakvalitet, og spesielt på flom. 2.304 Jora er nedlagt og har for få år med data for frekvensanalyser. 2.415 Espedalsvatn og 2.436 Vismunda gir urealistiske bratte frekvensfordelinger, ($Q_M/Q_{1000} > 4$). Vismunda er vel og merke også mer utsatt for høstflommer, og kan derfor ha en brattere kurve enn de andre feltene i Tabell 8.

Stasjoner som 2.63 Rudi[9] og 2.276 Furusjøen har forholdsvis korte serier, med noen få store hendelser (1995) og kan derfor også få en kunstig bratt frekvensfordeling.

[9] Dataserien for 2.63 Rudi mangler flommen i 1995 og 2013. GLB/hydrateam har estimert 2013-flommen til å være ca. 400 l/s/km² (ca.140 m³/s) for 2.63 Rudi, og mens Atnasjø har for samme flom en spesifikk verdi på 294 l/s/km². Forenklet antar man samme forholdstall (1,35) mellom flommen ved Rudi og Atnasjø i 1995, som gir 95-flommen ved Rudi en verdi på ca. 170 m³/s. Der er ingen andre stasjoner som er mer representativ og har data fra 1995. I rapporten fra 2000 er flommen i 1995 estimert til 173 m³/s ved 2.63 Rudi, usikkert hva verdien er basert på.

2.320 Atnasjø har en lang serie, men har en noe høyere effektiv sjøprosent (1,1 %), og man kan derfor vente en noe flatere frekvenskurve for denne stasjonen enn hva som er tilfelle for de andre sideelvene med effektiv sjøprosent tilnærmet null. I Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt er i midlertid motsatt effekt funnet for vassdrag under 50km^2 (Stenius og Glad, 2015)

4.2. Beregning av middelflom

Ved beregning av absolutte flomstørrelser bør feltkarakteristika som effektiv sjøprosent og feltareal i større grad inngå i vurderingen av representative nedbørfelt enn i frekvensanalysen. Spesifikk middelflom antas å avta med økt størrelse på nedbørfeltet, ved at flomtoppene fra de ulike delfeltene vil nå hovedvassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har en flomdempende effekt.

Middelflom er gjennomsnittet av største døgnmiddelvannføring hvert år over en referanseperiode. Siden Lågenvassdraget er regulert bør man for punkter i hovedelven skille mellom middelflom beregnet på vannføringsdata påvirket av reguleringene i vassdraget og middelflom basert på vannføringsdata basert på tilsigsserier[10].

Det er valgt å bruke regulerte vannføringsdata som grunnlag for flomfrekvensanalysene opp t.o.m Q_{50}. For gjentaksintervall større enn dette er det valgt å bruke tilsigsserier med bakgrunn i at man for større gjentaksintervall går mot en mer uregulert tilstand.

Flomberegning for damsikkerhet for GLB sine anlegg i Gudbrandsdalslågen (Inkl. Ottavassdraget) ble utført i 2008 (revidert i 2009) av CM consulting. Rapporten viser at effekten av reguleringene i Lågen påvirker flommene også ved de høyeste gjentaksintervallene. Dette velger man å ta hensyn til i videre beregninger, ved at man for gjentaksintervall Q_{100} – Q_{1000} trekker ifra en beregnet reguleringseffekt basert på routing gjennom magasinene, også omtalt senere. Dette påvirker altså ikke middelflommen, men kun 100-, 200- 500- og 1000-årsflommen.

<u>Flomvannføring basert på regulerte data, punkter i hovedelv</u>

Man har et forholdsvis godt estimat på middelflom etter at reguleringene trådte i kraft i Lågenvassdraget. Både 2.614 Arbeidsserie 1 og 2.145 Losna har begge data fra da siste store regulering startet i 1966. 2.460 Eide har derimot bare observerte data fra 1985. Sammenligner man perioden 1985-2014 med 1966-2014 er middelflom ved Arbeidsserie 1 tilnærmet lik, hhv 901 m^3/s (146 l/s/km^2) og 906 m^3/s (147 l/s/km^2), se Tabell 9. Eide sin observerte middelflom antas dermed som ok å bruke sammen med data fra de andre dataseriene fra 1966. Der er ingen reguleringer på strekningen mellom Arbeidsserie 1 og målestasjon 2.460 Eide, bortsett fra Veo-overføringen i Sjoa. Overføringen (maks overføringskapasitet på 20 m^3/s) inngår i Arbeidsserien via målestasjon 2.25 Lalm.

[10] En tilsigsserie i et regulert felt beskriver tilsiget i feltet, slik det ville vært uten overføringer, men også uten magasinering i reguleringsmagasinene og naturlig selvregulering i de opprinnelige innsjøene.

Spesifikk middelflom for denne perioden 1966-2014 er beregnet ved målestasjonene og brukt til å beregne middelflom for punkter uten målinger i hovedelva. Bidragene fra de uregulerte sideelvene og restfeltene er skjønnsmessig bestemt, der de største sideelvene bidrar mest til hovedelva. Sjoa bidrar med nær opp til egen middelflom, som kan virke logisk, i og med at den drenerer fra de høytliggende områdene mot Jotunheimen. Vinstra bidrar derimot lite, og kan forklares med reguleringenes flomdempende effekt.

Flomvannføring basert på uregulerte data og tilsigsserier, punkter i hovedelv

Man trenger også å beregne middelflom basert på tilsigsserier eller uregulerte måleserier, da man bruker denne middelflommen sammen med valgt frekvensfaktorer for å estimerer flomvannføring for Q_{100} (F.eks.: $Q_{100} = Q_M * (Q_T/Q_M)$)

Middelflom for punkter oppstrøms samløp med Otta og Lågen tar utgangspunkt i middelflom ved Rosten (1917-2014). Beregningspunkter oppstrøms 2.614 Rosten får feltarealer som raskt nærmer seg størrelsen på sideelver som f.eks Jora og Lora, og vannmengdene i hovedelva avhenger dermed også mye av middelflom i disse elvene, se avsnitt om «Flomvannføring.. – i sideelver» lenger bak i dette kapittelet. Observasjoner ved 2.346 Lesjaskogvatn er også brukt for å justere vannmengdene fra «toppen» av vassdraget.

Losna har en tilsigsserie 2.144 Båttstø (1896–2014) som antas å beskrive vannføringene i vassdraget som om der var uregulerte forhold. Det bemerkes at tilsigsserien har sine begrensinger[11]. Tilsigsseriens middelflom fra denne perioden er på 133 $l/s \cdot km^2$ mens middelflom fra 1917–2014 er på 132 $l/s \cdot km^2$, se Tabell 9. Perioden for 1917–2014 antas dermed som ok å bruke for beregning av middelflom for uregulert periode, da dette er en periode som andre målestasjoner også har data fra.

[11] Frekvenskurver til tilsigserier kan bli unaturlig lave som følge av måten tilsigsserien er konstruert på. Bruken av ”sentrerte differanser” i konstruksjonen av tilsigsserier kan gi flommer med litt lavere topper enn hva som er ventet, men man fjerner også noe av den naturlige reguleringen til innsjøene.

Tabell 9 Beregning av middelflom (basert på tilsigsserier eller uregulerte måleserier) i Gudbrandsdalslågen

Stasjon/dataserie	Feltareal (km^2)	Q_M (m^3/s)	Q_M ($l/s \cdot km^2$)	Tidsperiode	Kommentar
2.614 Rosten	1834	306	**167**	**1917-2014**	Uregulert, observert
2.614 Rosten	1834	324	176	1917-1936	Uregulert, observert
Forskjell i Q_M mellom (1917-1936) / (1917-2014):			**6 %**		
2.614.2016 Arbeidsserie 1	6170	1052	171	1917-1936	Uregulert, observert
2.614.2016 Arbeidsserie 1	6170	1012	**164**		Uregulert, beregnet
2.614.2016 Arbeidsserie 1	6170	906	147	1966-2014	Regulert, observert
2.614.2016 Arbeidsserie 1	6170	901	146	1985-2014	Regulert, observert
Forskjell i Q_M mellom (1917-1936) / (1917-2014):			**4 %**		Valgt
2.460 Eide	7969	1139	143	1985-2014	Regulert, observert
2.460 Eide	7969	1245	**156**		Uregulert, beregnet
2.144 Båttstø, tilsig ved Losna	11213	1484	**132**	**1917-2014**	Uregulert
2.144 Båttstø, tilsig ved Losna	11213	1527	136	1917-1936	Uregulert
2.144 Båttstø, tilsig ved Losna	11213	1487	133	1896-2014	Uregulert
Forskjell i Q_M mellom (1917-1936) / (1917-2014):			**3 %**		

Arbeidsserie 1 har bare uregulerte data fra 1917-1941 (Tesse-utbyggingen). Observasjoner fra 2.614 Rosten viser at i perioden 1917-1936 var middelflom 6 % større enn for lengste observasjonsperiode 1917-2014. Denne perioden har også i snitt større flommer ved Losna, se

Tabell 13. Det er antatt at Arbeidsserien vil ha tilsvarende forskjeller, og at den prosentvise forskjellen mellom de to periodene vil ligge et sted mellom 6 – 3 %, men ligne mer på Losna sine verdier som tross alt inkluderer Ottavassdraget. Middelflom ved Arbeidsserie 1 for perioden 1917-2014 blir dermed 164 $l/s/km^2$ (1012 m^3/s). Arbeidsserie 2 basert på Lalm sin tilsigsserie og 2.614 Rosten, gir en middelflom på 162 $l/s/km^2$ (1002 m^3/s) for perioden 1917-2013, som rimer bra med valgt middelflom.

Sammenligner man middelflom fra tilsigsseriene med middelflom fra regulert periode så ser man at reguleringenes effekt for middelflom ved Arbeidsserie 1 er ca.105 m^3/s. Dette stemmer godt med beregninger fra 1995-flommen, som viser at reguleringenes effekt ved Lalm var på ca. 125 m^3/s (Wathne og Alfredsen, 1998). 1995-flommen hadde et gjentaksintervall på 2-3 år ved Lalm. Der er ikke ytterligere reguleringer mellom Arbeidsserie 1 og 2.460 Eide, så Eide sin middelflom basert på regulerte data pluss beregnet effekt av reguleringene ved Arbeidsserie 1 på ca. 105 m^3/s gir da en middelflom som prøver å gjenspeile uregulerte forhold ved Eide på 156 $l/s/km^2$ (1245 m^3/s).

Det er ikke tatt hensyn til endringer i flomforholdene i Lågen på strekningen mellom Otta og samløpet med Sjoa som følge av Veo-overføringen (maksimalt 20 m^3/s). Dette

antas som ok siden overføringen rett nedstrøms samløpet med Otta og Lågen bare utgjør ca. 1 prosent av en 1000-års flom.

Beregnet spesifikk middelflom for målestasjonene 2.614, Rosten 2.460 Eide og 2.144 Båttstø er brukt for å beregne middelflom for punkter uten målinger i hovedelva. Bidragene fra de uregulerte sideelvene og restfeltene er bestemt på samme måte som omtalt i avsnittet over.

Det er ikke lett å «fordele» middelflom gjennom vassdraget på en måte som kan være representativ for de ulike flommene. Det er ikke unormalt at nedbør og snøsmeltingen fordeler seg ulikt i vassdraget under en flomhendelse, og at dette varierer fra en flomhendelse til en annen. For en gitt flomhendelse kan derfor ulike deler av vassdraget ha svært ulike gjentaksintervall.

Flommen i 1995 viser at den spesifikke døgnmiddelvannføringen er større til lenger opp man kommer i Lågenvassdraget, som også er tilfelle for denne beregningen selv om størrelsesforholdet mellom middelflom for de ulike beregningspunktene ikke er helt likt. Ved en gjennomgang av de største flommene i vassdraget hvor både 2.25 Lalm, 2.614 Rosten, 2.460 Eide og 2.145 Losna har data, varierer det stort hvor mye de ulike delene av vassdraget bidrar med under en flom sammenlignet med en annen flom. F.eks er observert døgnmiddel ved 2.460 Eide i 2011 mistenksom høyt relativt sett i forhold til de andre stasjonene. Dette må enten må bety at det har vært spesielt stort lokalt bidrag fra feltene mellom Otta og Eide (Vi vet at det var store skader ved Kvam), eller at observasjonene ved målestasjonene ved så høye vannføringer gir usikre data. Dette er en usikkerhet man må akseptere i de videre beregningene.

Beregnede flomverdier (døgnmiddel) for de ulike beregningspunktene er vist i Tabell 10. Se Vedlegg 1 for oversikt over hvilke frekvensfordelinger som er brukt for de ulike beregningspunkt. Nederst i Tabell 10 følger et beregningseksempel for å vise de ulike stegene som ligger bak beregningene. For beregningspunkter i hovedelven fra samløpet mellom Otta og Lågen og ned til samløpet med Vinstra, er effekten av reguleringene ved Q_{100} – Q_{1000} satt til ca. 130 m^3/s. Reguleringseffekt ved Eidefoss krv. (rett nedstrøms 2.25 Lalm) er basert på analyser utført av Dan Lundquist (e-post, 2015) tilsvarende som i Flomberegning Gudbrandsdalslågen (GLB, 2008), men forenklet ved at man antar at fradraget er likt for alle gjentaksintervall (Q_{100} – Q_{1000}) og at denne effekten er lik for flere beregningspunkt langs hovedelva. Dette betyr at man ved Lalm antar at reguleringene er med på å dempe døgnmiddelflommene med ca. 8%. Man antar at absolutt reguleringseffekt er lik helt ned til samløp med Vinstra, hvor de neste reguleringene inntreffer.

Under 1995-flommen er det beregnet at reguleringene dempet flommen ved 2.145 Losna med ca. 325 m^3/s (Otta: 120 $m^3/$,205m^3/s Vinstra). Med de magasin og tappeorgan som finnes i Lågen er det lite rom for å forsinke flommen utover det som ble gjort i 1995 (Wathne og Alfredsen, 1998). Flomberegningene for damsikkerhet viser at man ved Hunderfossen krv. har en reguleringseffekt på opp mot ca. 390 m^3/s ved Q_{1000}. Sammenligner man reguleringenes effekt ved de største flommene ved 2.145 Losna og 2.144 Båttstø (uregulert tilsigsserie) ligger effekten på døgnmiddelflommer på ca. 300 m^3/s. For videre beregninger har man valgt å redusere flommene med 350 m^3/s for alle

gjentaksintervall fra Q_{100} til Q_{1000} og at denne effekten er lik for flere beregningspunkt langs hovedelva.

Tabell 10 Beregnet middelflom (QM) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Lågenvassdraget nord for samløp med Otta, døgnmiddelvannføringer.

Sted	**Areal** km²	**Q_M**		**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**
		m³/s	l/s·km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Frekvensfaktorer , Regionale vekstkurver (V1), Q_T/Q_M				1,20	1,40	1,60	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70
Frekvensfaktorer 2.614 Rosten , Q_T/Q_M				1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lågen, oppstr.saml. med Lora	169	20	-	24	28	32	36	40	43	48	51
Lora	355	78	220	94	109	125	148	164	180	195	211
Lågen,nedstr. saml. med Lora	523	98	187	121	140	158	181	198	216	239	256
Lågen, Bottheim (bru)	727	127	175	157	182	205	236	259	281	311	334
Lågen, ved Nord-Sel bru*	1836	307	167	379	438	495	568	623	677	750	804
Lågen, oppstr. saml. med Ula	1931	318	165	393	455	513	589	646	703	777	834
Ula	157	35	220	41	48	55	66	73	79	86	93
Lågen, nedstr.saml. med Ula	2088	348	167	430	497	561	644	707	769	850	912
Lågen oppstr.saml. med Otta	2103	350	162	432	500	564	648	710	773	855	917
Otta	4067	648**	159**	765	860	952	1070	1233	1336	1472	1574

*Like ved målestasjon 2.614 Rosten

**Tall hentet fra rapport fra Ottavassdraget, og viser middelflom etter regulering. Middelflom basert på tilsigsserier er for Otta hhv. 751 m³/s og 185 l/s/km².

Tabell 11 Beregnet middelflom (QM) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Lågenvassdraget nedstrøms samløp med Otta, døgnmiddelvannføringer.

Sted	**Areal** km²	**Q_M**		**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**
		m³/s	l/s·km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Frekvensfaktorer , 2.595 Faukstad, Q_T/Q_M				1,28	1,50	1,72	2,00	2,21	2,42	2,70	2,91
Frekvensfaktorer Regionale vekstkurver (V4), Q_T/Q_M				1,30	1,50	1,80	2,10	2,30	2,60	2,90	3,10
Frekvensfaktorer, 2.144 Båttstø Q_T/Q_M				1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, nedstr. saml. med Otta	6170	907	147	1077	1223	1366	1555	1765	1928	2148	2317
Lågen, oppstr. saml. med Sjoa	6227	910	146	1080	1227	1371	1560	1771	1935	2155	2324
Sjoa	1527	214	140	273	322	368	428	473	518	577	622
Lågen, nedstr. saml. med Sjoa	7754	1125	145	1336	1517	1695	1929	2177	2376	2643	2849
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	7792	1127	145	1338	1519	1697	1932	2180	2379	2647	2853
Veikleåa	101	19	190	25	29	35	40	44	50	56	59
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	7893	1135	144	1348	1530	1710	1946	2196	2395	2665	2872
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	9658	1208	125	1433	1628	1819	2070	2240	2463	2763	2994
Lågen, ved Hundorp bru	9844	1215	123	1442	1638	1830	2083	2254	2478	2780	3012
Lågen, oppstr. saml. med Frya	9867	1216	123	1443	1639	1831	2084	2256	2480	2782	3014

Frya	372	63	170	82	95	114	133	145	164	183	196
Lågen, nedstr. saml. med Frya	10239	1246	122	1479	1679	1876	2135	2312	2541	2849	3086
Lågen, oppstr. saml. med Våla	10262	1247	121	1480	1680	1877	2137	2314	2542	2851	3089
Våla	314	57	180	73	85	102	119	130	147	164	175
Lågen, nedstr. saml. med Våla	10576	1272	120	1510	1714	1915	2180	2361	2594	2908	3149
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	10652	1275	120	1513	1718	1920	2185	2366	2600	2914	3157
Tromsa	322	61	190	80	92	110	128	141	159	177	190
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	10974	1299	118	1542	1751	1956	2226	2412	2649	2969	3215
Lågen, ved innløp til Losna	11096	1304	118	1548	1758	1964	2235	2421	2659	2980	3227
Lågen, ved utløp av Losna	11212	1308	117	1553	1764	1971	2243	2429	2668	2990	3238
Lågen, ved Hunderfossen krv.	11501	1319	115	1565	1777	1986	2260	2448	2689	3013	3262
Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	11567	1321	114	1568	1781	1989	2264	2453	2693	3018	3268
Gausa	945	189	200	242	284	325	378	418	458	510	550
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	12512	1387	111	1646	1870	2089	2377	2576	2828	3167	3428
Regneeksempel:											
Frekvensfaktorer, 2.144 Båttstø Q_T/Q_M				1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved Losna regulert	11212	1308	117	1553	1764	1971	2243				
Lågen, ved Losna, uregulert	11212	1484	132					2779	3018	3340	3588
-Effekt av regulering								350	350	350	350
Lågen ved Losna , total	11212			1553	1764	1971	2243	2429	2668	2990	3238

Tabell 12 Beregnet vannstander i Losna, basert på beregnet døgnmiddelvannføringer i 2.145 Losna (NN54).

Punkt i vassdraget	H_{M*} m	H_5 m	H_{10} m	H_{20} m	H_{50} m	H_{100} m	H_{200} m	H_{500} m	H_{1000} m
Vannstand i Losna	182,42	182,87	183,24	183,58	184,00	184,28	184,62	185,06	185,38

Tabell 12 viser flomvannstander i Losna ved ulike gjentaksintervall. Som beskrevet over er flomvannstandene beregnet vha. representativ frekvensanalyse på vannføringer ved utløpet av Losna, og deretter er omregnet til vannstandsverdier via nåværende vannføringskurve, gyldig f.o.m 1997.

Vannføringskurven for målestasjonen i Losna (segment 3), og er gitt på formen (NN54):

Q = 81,12930 (h -177,82)^1,8227 Gjelder for 182,4 < = høyde < 188,87

Flomvannføring basert på uregulerte data – i sidevassdrag

I Sælthun *m.fl.*, (1997) er det utarbeidet regionale flomformler for beregning av spesifikk middelflom i uregulerte felt som bygger på regresjon mot feltparametere. For Lågens sideelver er følgende formel aktuell:

V4: $\ln(Q_M) = 0{,}1848 \cdot \ln S_T - 0{,}0137 \cdot \ln A_{SE} + 0{,}0873 \cdot \ln A_{SF} + 0{,}5143 \cdot \ln q_N + 2{,}77$

Spesifikk middelflom beregnes med bakgrunn i hovedelvas gradient (S_T), effektiv sjøprosent (A_{SE}), snaufjellsandel (A_{SF}) og årlig middelavrenning i l/s·km^2 (Q_N).

Tabell 13 Uregulert middelflom, beregnet med regionalt formelverk (Region V4) og observert vannføring.

Sideelver	Areal	Q_N	Median høyde	Eff. sjø	Snau fjell	Q_M - formel	Q_M – observ.	Tidsperiode	Q_M –endelig valg
Lora	357	18,4	1340	0,0	85	213			**220**
Jora	498	20,3	1317	0,1	79	203	*194*	*1968-2014*	**210**
Ula	157	18,1	1246	0,1	79	212			**220**
Sjoa	1527	22,6	1248	0,5	59	179	141	1964-2010	**140**
Veikleåa	100	10,6	899	0,1	29	153			**190**
Frya	372	14,3	978	0,3	42	160	172	1988-2013	**170**
Våla	314	15,0	998	0,1	37	167			**180**
Tromsa	322	15,4	961	0,0	29	176			**190**
Gausa	945	16,2	835	0,0	7	135	205	1930-2014	**200**

2.63 Rudi er den målestasjonen som best representerer forholdene i de minste sidevassdragene. Som tabellen over viser kan det se ut som om formelverket kan underestimere middelflom i dette området noe (Østlig side av Lågen, og sør for tettstedet Otta). Med utgangspunkt i valgt middelflom for Frya på 170 l/s/km^2, så er middelflom i Veikleåa, Våla og Tromsa justert med vekt på areal og effektivsjøprosent. Middelflom ved 2.479 Li Bru som ligger høyere og nordøst for Veikleåa er til sammenligning 190 l/s/km^2, men mangler 95-flommen i datagrunnlaget. 2.439 Kvarstadseter sørøst for Tromsa viser i midlertidig en middelflom på 239 l/s/km^2. Forklaringen på den store forskjellen kan være at Kvarstadseter ligger i et område med høyere avrenning.

På grunn av usikre observasjoner for mindre felter nord for Rosten, vektlegges formelverket mest i valg av middelflom. Både formelverk, observasjoner og årsavrenning tilsier at spesifikk middelflom skal være større lenger nord i vassdraget, som da inkl. elvene Ula, Jora og Lora.

Middelflom for Sjoa er basert på observerte data ved 2.595 Faukstad, og er basert på tidsserien etter overføring av Veo til Tesse i Ottavassdraget.

Formelverket ser ut til å underestimere middelflom for Gausa kraftig. Basert på observerte data fra Aulestad (Q_M =205 l/s/km^2), Vismunda (Q_M =269 l/s/km^2) og årsavrenning for området, så ser det ut som om området vest for Mjøsa er noe mer eksponert for vær fra vest enn hva tilfellet er på motsatt side. Det er i midlertidig stor usikkerhet knyttet til flomvannføringer både ved Vismunda og Aulestad, ref. kap.3. Å redusere middelflom til 200 l/s/km^2 for Gausa, støttes ytterligere ved at Etna (nabovassdrag i vest) med lang måleserie har en middelflom på 190 l/s/km^2.

Både Gausa og Våla er påvirket av regulering, men ingen av reguleringene antas å påvirke flommene av noen betydning, se kap.2.

4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvannføring. I små vassdrag vil kulminasjonsvannføring være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Små nedbørfelter med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelter med høyere effektiv sjøprosent. I større vassdrag er situasjonen ofte slik at avløp fra forskjellige deler av feltet ankommer et og samme punkt i hovedvassdraget på forskjellige tidspunkt. Dermed er forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring (Q_{mom}/Q_{mid}) ofte lavt. Smelteflommer, som er dominerende i dette området, har relativt lang varighet og stort volum. Dette gir et dempet avløp, og svært ofte et moderat avvik mellom momentan- og døgnmiddelflommen. Reguleringene og innsjøene er med på å dempe forholdet mellom Q_{mom}/Q_{mid} ytterligere.

Forholdet mellom Q_{mom}/Q_{mid} anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. For Lågenvassdraget er forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring vurdert med bakgrunn i observerte data ved tre målestasjoner i hovedelva og 3 av sideelvene, samt med regionale formler (Sælthun *m.fl.*,1997).

I Sælthun *m.fl.*,(1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet Q_{mom}/Q_{mid} og feltkarakteristika for vår- og høstsesong. For vårflommer gjelder formelen:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 1{,}72 - 0{,}17 \cdot \log A - 0{,}125 \cdot A_{SE}^{0.5},$$

mens formelen for høstflommer er:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 2{,}29 - 0{,}29 \cdot \log A - 0{,}270 \cdot A_{SE}^{0.5},$$

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent.

For hver av målestasjonene er de største flommene (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer. Tabell 14 viser kulminasjonsvannføring, døgnmiddelvannføring og forholdstallet, Q_{mom}/Q_{mid} , mellom disse, samt forholdstall beregnet med de regionale formlene.

Tabell 14 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.614 Rosten. Findata tilgjengelig fra 1986.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
02.06.1995 16:31	663	764	1,15	
10.06.2011 12:00	450	-	-	Hull i data ved flomtopp
07.05.2004 22:00	404	-	-	Hull i data ved flomtopp
30.05.1988 05:12	376	397	1,06	
23.05.1992 21:32	373	393	1,05	
22.05.2013 21:00	393	464	1,27	
23.05.2014 19:00	351	371	1,06	
Formelverk, vår			1,15	
Formelverk, høst			1,31	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,15**	

*Kulminasjonstidspunkt

Flommene som er kombinasjoner av mye regn og snøsmelting (1995 og 2013) får et større forholdstall mellom kulminasjon og døgn, sammenlignet med de flommene som er mer dominert av snøsmelting. For 2.614 Rosten er en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,15 valgt, samme faktor som under flommen i 1995 og som også sammenfaller med formelverket. Denne faktoren er brukt for alle punkter i hovedelva fra oppstrøms samløp med Otta til nedstrøms samløp med Lora.

Tabell 15 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.460 Eide. Findata tilgjengelig fra 1999.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
11.06.2011 kl.13	2370	2547	1,07	Flomtopp manuelt korrigert i database
03.06.1995 kl.10	1981	-	-	Hull i data ved flomtopp
03.07.1997 kl.12	1718	-	-	Findata reg. hver 4. time
08.05.2004 kl.14	1711	-	-	Hull i data ved flomtopp
23.05.2013 kl.04	1585	1888	1,19	
25.05.2014 kl.14	1530	1604	1,05	
04.06.2008 kl.6	1253	1275	1,02	
Formelverk, vår			1,01	
Formelverk, høst			1,07	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,07**	

*Kulminasjonstidspunkt

For 2.460 Eide er en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,07 valgt, samme faktor som under flommen i 2011. Denne faktoren er styrende for alle punkter i hovedelva fra nedstrøms samløp med Otta til oppstrøms samløp med Vinstra.

Tabell 16 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.145 Losna. Findata tilgjengelig fra 2001.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
03.06.1995	2494	-	-	Anslått til 1,01 i 2000-rapporten
12.06.2011 kl.03	2404	2442	1,02	
23.05.2013 kl.14	2268	2365	1,04	
25.05.2014 kl.09	2012	2034	1,01	
04.07.1997	1766	-	-	
08.05.2004 kl.18	1570	1626	1,04	
05.06.2008 kl.13	1439	1447	1,01	
Formelverk, vår			-	Formelverk gir urealistiske verdier[12]
Formelverk, høst			1,00	Formelverk gir urealistiske verdier
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,04**	

*Kulminasjonstidspunkt

Q_{mom}/Q_{mid} –faktor for Losna antas å være representativ fra alle punkter i hovedelva nedstrøms Vinstra til utløp i Mjøsa.

Tabell 17 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.595 Faukstad. Findata tilgjengelig fra 1999-2010.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
05.07.2007 21:00	398	466	1,17	
04.06.2008 03:00	263	297	1,13	
29.06.1999 14:00	255	299	1,17	
08.05.2004	230	280	1,22	
07.10.2010 07:00	216	234	1,08	
Formelverk, vår			1,09	
Formelverk, høst			1,18	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,16**	

*Kulminasjonstidspunkt

For 2.595 Faukstad er en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,16 valgt, som er et snitt på de 3 største flommene som har tilgjengelige findata. Faktoren er forholdsvis lavere enn de andre sidevassdragene, og dette har sin forklaring i bla. et større feltareal og en litt høyere effektiv sjøprosent. Faktoren er representativ for Sjoa.

[12] Formelverket klarer ikke å estimere riktige verdier for store feltareal med liten effektiv sjøprosent.

Tabell 18 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.63 Rudi. Findata tilgjengelig fra 1996-2010.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
10.06.2011 14:00	-	-	-	Data for flomtopp er ikke sikker
19.05.2013 18:00	-	-	-	Målestasjonen ble tatt av flommen
06.05.2004 17:00	107	188	1,76	
08.05.2008 21:00	74	98	1,32	
10.05.2006 20:00	58	75	1,28	
12.06.2005 18:00	31	61	1,96	
Formelverk, vår			1,22	
Formelverk, høst			1,40	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,50**	

*Kulminasjonstidspunkt

2.63 Rudi mangler dessverre data fra alle de store flommene, og det er stort sprik mellom de ulike Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene. Formelverket ser ut til å underestimere Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene kraftig. For så små felt vil det være riktigere å sammenligne kulminasjonsfaktoren med faktoren for høstflommer, da det ofte er regnhendelser som gir de store flommene. Snittet for de tre høyeste flommene er 1.49. Valgt faktor på 1,50 er antatt som representativ for Frya.

Tabell 19 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 2.28 Aulestad. Findata tilgjengelig fra 1999-2011.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
23.05.2013	*375*	*1117*	-	*Meget usikre verdier, ikke vurdert*
10.06.2011 10:00	*267*	*505*	1,89	Usikre verdier.
22.05.1999 08:00	242	269	1,11	
12.10.2000 05:00	227	300	1,32	Høstflom
03.05.2008 00:00	221	271	1,22	
05.05.2004 18:00	199	-	-	Findata er ikke riktige, mindre enn hydag.
21.05.2010 23:00	167	257	1,54	
Formelverk, vår			1,20	
Formelverk, høst			1,38	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,44**	

*Kulminasjonstidspunkt

Data fra 2013 er ikke med i vurderingen, da det er stor usikkerhet hvilke verdier som er reelle. Formelverket ser ut til å underestimere Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene. Snittet av de tre største flommene ligger på 1,44, men spriket mellom verdiene er store. Høstflommer forekommer. Valgt kulminasjonsfaktor er representativ for Gausa.

Punktene i hovedelva oppstrøms Rosten og elva Jora (A=498km^2) er styrt av kulminasjonsfaktor fra observerte data ved 2.614 Rosten, men også subjektivt justert for

feltparametere som areal og effektiv sjøprosent, se Tabell 20. De valgte verdiene ligger stort sett midt mellom vår- og høstfaktorer beregnet med formelverk.

Tabell 20 Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene, beregnet med formelverk og sammenlignet med observerte data.

Beregningspunkt	Areal	Eff. sjø	Snau fjell	Q_{mom}/Q_{mid} formel vår	Q_{mom}/Q_{mid} formel høst	Q_{mom}/Q_{mid} observert	Q_{mom}/Q_{mid} endelig valg
Hovedelv, Lågen:							
Lågen, oppstr. Lora	169	1,4	-	1,19	1,32		**1,25**
Lågen, nedstr. Lora	523	0,1	-	1,22	1,42		**1,35**
Lågen, v/Bottheim	727	0,1	-	1,19	1,37		**1,25**
Lågen, 2.614 Rosten	1834	0,02	-	1,15	1,31	1,15	**1,15**
Sideelver til Lågen:							
Lora	357	0,0	85	1,29	1,55		**1,58**
Jora	498	0,1	79	1,22	1,42	-	**1,40**
Ula	157	0,1	79	1,31	1,57		**1,61**
Sjoa	1527	0,5	59	1,09	1,18	1,16	**1,16**
Veikleåa	100	0,1	29	1,34	1,62		**1,65**
Frya	372	0,3	42	1,21	1,40	1,50	**1,50**
Våla	314	0,1	37	1,26	1,48		**1,55**
Tromsa	322	0,0	29	1,29	1,56		**1,59**
Gausa	945	0,0	7	1,21	1,43	1,44*	**1,44**

*2.28 Aulestad, ligger lenger oppe i elva Gausa (A=866km^2)

For de mindre sideelvene Ula, Veikleåa, Frya, Våla og Tromsa er observerte data fra 2.63 Rudi styrende. De observerte dataene ved målestasjonen i Frya viser at formelverket underestimerer forholdstallet mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføringer for vårflommene med 23 %. Man antar at formelverket for de andre mindre sideelvene også underestimerer forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring. For å opprettholde forskjellen mellom de ulike feltene (feltareal og effektiv sjøprosent), er faktoren på 23 % multiplisert med den beregna verdien for vårflom med formelverket for de ulike mindre sideelvene. De «nye» forholdstallene («endelig valg», se Tabell 20) ligger for mange av sideelvene nær Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene for høstflommer, noe som virker rimelig siden regnhendelser i større grad vil forårsake flommer enn snøsmelting alene i små sidefelt. Som vist i Tabell 18 er det veldig store sprik mellom Q_{mom}/Q_{mid}-faktorene for de ulike observerte flommene ved 2.63 Rudi. Denne usikkerheten overføres dermed til disse mindre sideelvene.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall i Lågenvassdraget er vist i Tabell 21.

Tabell 21. Flomverdier i Lågenvassdraget nord for Otta ved de ulike punktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	**Areal** km^2	**Q_{mom}/ Q_{mid}**	**Q_M** m^3/s	**Q_5** m^3/s	**Q_{10}** m^3/s	**Q_{20}** m^3/s	**Q_{50}** m^3/s	**Q_{100}** m^3/s	**Q_{200}** m^3/s	**Q_{500}** m^3/s	**Q_{1000}** m^3/s
Lågen,oppstr.saml.med Lora	169	1,25	25	30	35	40	45	50	54	60	64
Lora	355	**1,58**	124	149	173	198	235	260	285	309	334
Lågen,nedstr.saml. med Lora	523	1,35	132	163	188	213	244	268	291	322	346
Lågen, Bottheim (bru)	727	1,25	159	197	227	257	295	323	351	389	417
Lågen, ved Nord-Sel bru*	1836	1,15	353	436	504	569	653	716	779	862	925
Lågen, oppstr. saml. med Ula	1931	1,15	366	452	523	590	677	743	808	894	959
Ula	157	**1,61**	56	67	78	89	106	117	128	139	150
Lågen,nedstr.saml.m/ Ula	2088	1,15	400	495	572	645	741	813	884	978	1049
Lågen,oppstr.saml.m/Otta	2103	1,15	402	497	575	649	745	817	888	983	1055
Otta* **	4066	1,04	674**	796	895	990	1113	1283	1390	1530	1637

*Like ved målestasjon 2.614 Rosten

**Tall hentet fra rapport fra Ottavassdraget

Tabell 22. Flomverdier i Lågenvassdraget sør for Otta ved de ulike punktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km^2	Q_{mm}/ Q_{mid}	**Q_{M*}** m^3/s	**Q_5** m^3/s	**Q_{10}** m^3/s	**Q_{20}** m^3/s	**Q_{50}** m^3/s	**Q_{100}** m^3/s	**Q_{200}** m^3/s	**Q_{500}** m^3/s	**Q_{1000}** m^3/s
Lågen, nedstr. saml. med Otta	6170	1,08	980	1163	1320	1475	1679	1906	2082	2320	2502
Lågen, oppstr. saml. med Sjoa	6227	1,08	983	1167	1325	1480	1685	1913	2089	2327	2510
Sjoa	1527	**1,16**	248	317	373	427	496	549	601	669	721
Lågen, nedstr. saml. Med Sjoa	7754	1,07	1204	1429	1623	1814	2064	2330	2542	2828	3048
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	7792	1,07	1206	1432	1626	1816	2067	2333	2546	2832	3052
Veikleåa	101	**1,65**	32	41	48	57	67	73	82	92	98
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	7893	1,07	1215	1442	1637	1829	2082	2349	2563	2851	3073
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	9658	1,04	1256	1491	1693	1891	2153	2330	2562	2874	3114
Lågen, ved Hundorp bru	9844	1,04	1264	1500	1703	1903	2166	2345	2577	2891	3133
Lågen, oppstr. saml. med Frya	9867	1,04	1265	1501	1705	1904	2168	2346	2579	2893	3135
Frya	372	**1,50**	95	123	142	171	199	218	247	275	294
Lågen, nedstr. saml. med Frya	10239	1,04	1296	1538	1746	1951	2221	2404	2642	2963	3210
Lågen, oppstr. saml. med Våla	10262	1,04	1297	1539	1748	1953	2222	2406	2644	2965	3212
Våla	314	**1,55**	87	114	131	157	184	201	227	254	271
Lågen, nedstr. saml. med Våla	10576	1,04	1323	1570	1783	1992	2267	2455	2697	3024	3275
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	10652	1,04	1326	1574	1787	1997	2272	2461	2704	3031	3283
Tromsa	322	**1,59**	98	127	146	176	205	224	254	283	302
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	10974	1,04	1351	1604	1821	2034	2315	2508	2755	3088	3344
Lågen, ved innløp til Losna	11096	1,04	1356	1610	1828	2042	2324	2517	2765	3099	3356
Lågen, ved utløp av Losna	11212	1,04	1361	1615	1834	2049	2332	2527	2775	3110	3368
Lågen , ved Hunderfossen krv.	11501	1,04	1371	1628	1849	2065	2350	2546	2796	3133	3393

Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	11567	1,04	1374	1631	1852	2069	2355	2551	2801	3139	3399
Gausa	945	**1,44**	272	348	409	469	545	602	659	735	792
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	12512	1,04	1442	1712	1944	2172	2472	2679	2941	3294	3565

*Middelflom basert på regulerte data for alle pkt. i hovedvassdraget unntatt sidevassdragene.

Tabell 23 Beregnet vannstander i Losna, basert på beregnet kulminasjonsvannføringer ved 2.145 Losna (regulert) og 2.144 Båttstø (uregulert), høyderef. NN54.

Punkt i vassdraget	H_M m	H_5 m	H_{10} m	H_{20} m	H_{50} m	H_{100} m	H_{200} m	H_{500} m	H_{1000} m
Vannstand i Losna	182,52	182,98	183,35	183,70	184,13	184,42	184,76	185,21	185,54

4.4 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

I henhold til NVEs klimastrategi (Hamarsland, 2015) skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak/beslutninger med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ombygging av viktig infrastruktur.

I NVE rapport 5-2011 ”Hydrological projections for floods in Norway under a future climate” er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall. Ut fra avsnitt 8.6 i nevnte rapport, velger man for Gudbrandsdalsvassdraget (hovedvassdraget) å anslå klimaendringers effekt på flommer med forskjellige gjentaksintervall til å være uforandret fra dagens forhold. For innlands nedbørfelt (> 1000 km^2), som i dag er dominert av smelteflommer, vil disse feltene fremdeles være preget av det samme flomregimet, men de største flommene ventes å bli noe redusert samt opptre tidligere i sesongen.

I rapporten fra 2011 tillegges alle små nedbørfelt på mindre enn 100 km^2 en økning i flommer med 20 %. Da det er antydet at raske nedbørfelt som også er noe større enn 100 km^2 vil kunne vente en økning i flomstørrelser, Ula er derfor i tillegg til Veikleåa tillagt et klimapåslag, se Tabell 24. Ingen beregningspunkter i hovedelva blir berørt av klimapåslaget, selv om de øverste (nordligste) beregningspunktene i Lågen er små.

Tabell 24 Klimapåslag, kulminasjonsvannføringer.

Sideelver	**Klima-påslag** %	**Areal** km^2	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Ula	20	157	67	80	93	107	127	140	154	167	180
Veikleåa	20	101	38	49	57	68	80	87	99	110	118

I rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen Bauer m.fl., 2015) som omhandler ventede klimaendringer i Norge frem mot år 2100 (baser på de nyeste tallene fra IPCC) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til dette. En revidert utgave av rapporten fra 2011, som viser hvordan man skal ta hensyn til ventet klimaendringer ved beregning av flommer i ulike vassdrag i Norge, vil være klar i løpet av februar 2016.

De nye klimaframskrivningene tilsier at det vil bli hyppigere og større flommer i små vassdrag i hele landet. For alle små vassdrag med nedbørfelt som reagerer raskt på nedbør må en regne med minst 20 % økt flomvannføring i løpet av de neste 50 – 100 år (Lawrence, 2016).

Det er antydet at man for områder nord og vest for samløpet mellom Otta og Lågen kan få et klimapåslag på opp mot 20 %, også i hovedvassdraget. Dette er enda ikke klart, da man skal vurdere hvordan reguleringene i vassdraget vil påvirke forholdene. På strekningen mellom Frya og Losna vil man ikke komme til å få anbefalinger om klimapåslag. Det er ellers å vente at flere sidevassdrag vil kunne få anbefalinger om et klimapåslag på 20 % eller mer, men i påvente av endelige resultat og den nye rapporten er ikke dette tatt hensyn til her.

Det må altså tas høyde for at nye anbefalinger om klimapåslag, kan medføre endringer for de aktuelle beregningspunktene i denne rapporten.

5. Observerte flommer

Den største flommen i Gudbrandsdalslågen som er registrert etter at målingene startet opp er ved 2.145 Losna i **1938** på 2852 m^3/s, se Tabell 25. Denne flommen skjedde før flere av de store reguleringene ble satt i drift, og det er dermed rimelig at man i lys at dette bør korrigere flommen for å gi et riktig estimat av gjentaksintervall basert på denne rapportens beregninger. I dag er antatt reguleringseffekt på 350 m^3/s ved Losna, tilsigsserien antyder at reguleringseffekten i 1938 var på ca. 130 m^3/s. Korrigert flom i 1938 er 2634[13] m^3/s, dette tilsvarer ca. $\mathbf{Q_{150}}$[14] , se Tabell 22.

Flommen i **1995** fikk store konsekvenser for Gudbrandsdalslågen. Den var derimot ikke like stor i Ottavassdraget, og spesielt ikke vest i vassdraget. Magasinkapasiteten bidro til å begrense flommen vesentlig. Flommen kom etter en kjølig vår med forsinket snøsmelting og var forårsaket av en kombinasjon av forhold som hver for seg ikke var ekstreme. Fjellområdene på østsiden av Gudbrandsdalen bidro kraftig til flommen i Gudbrandsdalslågen, men temperaturen var ikke høy nok til å smelte mye av snøen i de høytliggende områdene i Jotunheimen (Roald, 2015). 1995-flommen hadde Ved Losna hadde flommen i 1995 og beregninger i denne rapporten et gjentaksintervall på $\mathbf{Q_{100}}$, se Tabell 22.

Av større flommer etter 2000-års skifte så er flommen i Sør-Norge **2011** ofte referert til. Store nedbørmengder kombinert med sterk varme ga kraftig snøsmelting der hvor det var snø igjen i fjellet, og førte til av de største flommene for flere måleserier både i Ottavassdraget og Gudbrandsadalslågen. Kvam fikk betydelige skader i Veikledalen. For enkelte sidevassdrag i Gudbrandsdalslågen var flommen større enn i 1995. I NVE-rapport «Flaumen i Sør-Noreg, Juni 2011», heter det at 2.25 Lalm kulminerte på et nivå over 100-års flom. Samme flom er i Ottavassdraget beregnet til et gjentaksintervall på ca. 50 år ved 2.25 Lalm. Forskjellen har sin forklaring i at analysene fra rapporten i 2011 er gjort på findata (timesverdier), og dermed en kortere dataserie (flere med bare en lengde på 20-30 år). 2011-flommen hadde ved Losna og beregninger i denne rapporten et gjentaksintervall på $\mathbf{Q_{75}}$, se Tabell 22.

[13] Korrigert verdi, for å gi et riktig estimat av gjentaksintervall basert på beregninger i denne rapporten: 2934 m^3/s (Fra tilsigsserie, tilnærmet uregulert) – 350 m^3/s (reguleringseffekt) = 2634 m^3/s

[14] Fordi man på dette tidspunktet hadde daglige avlesninger av en observatør antar man at avlesningen er skjedd rundt kulminasjon av flommen. Dersom dette ikke tilfelle, bør flommen legges til en kulminasjonsfaktor og man nærmer seg da en Q200-flom.

Som i 2011 var det i **2013** flere passasjer av nedbørfronter i grensesonen mellom varme luftmasser fra sørøst og kjøligere luftmasser fra Atlanterhavet i vest (Roald, 2015). Dette førte til flere episoder med lokalt mye nedbør. Forut flommen var det et betydelig bidrag til vannføringen i hovedelvene fra snøsmelting. I Otta var flommen liten, men stor i Gudbrandsdalslågen. Flommen førte til særlig store ødeleggelser der bratte sideelver løper ned i dalførene, spesielt i Kvam i Gudbrandsdalen hvor flommen fra Veikleåa ødela mange bolighus og gjorde enda mer skade enn i 2011. 2013-flommen hadde ved Losna og beregninger i denne rapporten et gjentaksintervall på litt over $\mathbf{Q_{50}}$, se Tabell 22

Tabell 25 Største observerte døgnmiddelvannføringer ved utvalgte målestasjoner i Gudbrandsdalslågen.

Stasjon	Obs.-periode	År	Dato	Døgnmiddel-vannføring, m^3/s	Kulminasjons-vannføring, m^3/s	Gjentaksinter vall i hht. 2015
2.614 Rosten	1917-2014	1995	02.06	663		
		1973	01.06	616		
		1921	28.05	512		
		1938	01.09	501		
		1935	17.06	501		
2.460 Eide	1985-2014	2011	11.06	2370		
		1995	03.06	1981		
		1997	03.07	1718		
		2004	08.05	1711		
		2013	23.05	1585		
2.145 Losna	1896-2014	1938	02.09	2852	2852* (2634)**	Q150 (Q200)
		1995	03.06	2494	2519	Ca.Q100
		1939	21.06	2490	2490* (2140)**	Ca.Q30
		2011	12.06	2404	2442	Ca.Q75
		2013	23.05	2273	2365	Ca.Q50+
2. 28 Aulestad	1929-2014	2013	23.05	375		
		1995	02.06	364		
		1966	19.05	344		
		1934	31.08	339		
		1979	25.05	338		

*Kulminasjonsvannføring er satt lik døgnmiddelvannføring fordi man antar at den daglige avlesningen ble gjort rundt kulminasjon.

** Korrigert verdi for å gi et riktig estimat av gjentaksintervall basert på beregninger i denne rapporten (2015)

6. Sammenligning med andre flomberegninger

Forutsetningene for flomberegninger for damsikkerhet er strengere enn beregninger for konstruksjon av flomsonekart, blant annet ligger vannstand i magasinene ved HRV ved flommens start, i tillegg til at de router flommene igjennom vassdraget. I de fleste tilfeller (forutsatt likt datagrunnlag) vil derfor flomberegninger for damsikkerhet ligge noe over flomberegninger som skal inngå i et flomsonekart eller som grunnlag for f.eks RPL.

Denne beregningen (for punkter i hovedelva) ligger i midlertidig høyere enn rapport for damsikkerhet «Flomberegning for Gudbrandsdalslågen» fra 2008. Det er flere grunner til dette.

Man har valgt å ta hensyn til reguleringene i vassdraget ved å bruke estimater på reguleringseffekt basert på analyser utført av Dan Lundquist (e-post, 2015) tilsvarende som beregnet i damsikkerhetsrapporten fra 2008 (med vannstand i magasinene på HRV).Man kunne dermed vente seg tilsvarende verdier forutsatt at datagrunnlaget er likt.

Likevel er forskjellene enkelte steder langs hovedelva forholdsvis store. Forklaringene til forskjellene er en kombinasjon av følgende punkter:

- **Reguleringseffekten**, i denne beregningen (2015) gjør man en forenkling ved at man antar at reguleringseffekten er lik for alle gjentaksintervall mellom Q_{100} og Q_{1000}, og at denne effekten er lik for flere beregningspunkt langs hovedelva. Reguleringseffekt ved Losna på 350 m^3/s er et anslag basert på tall fra damsikkerhetrapporten fra 2008, flommen i 1995 og vurdering av reguleringseffekt via tilsigsserien, se kap. 4.2.
- **Ulikt datagrunnlag**; 15 år lengre serie som inkl. flere nye, store flommer (2011,2013 og 2014). Dette gir endring av middelflom, og ulikt valg av frekvensfordelinger.
- **Ulik måte å bestemme/fordele verdier for middelflom** på mellom punkter med observasjoner.
- **Ulike kulminasjonsfaktorer** (ikke store forskjeller)

Tabellen under viser utvalgte punkt i hovedelv hvor det er mulig å sammenligne med andre flomberegninger.

Tabell 26 Sammenligning med tidligere beregninger, kulminasjonsvannføringer.

	NVE Rapport 2015		NVE Rapport 2000			Andre beregninger			
Beregningspunkt	**Q_{500}**	**Q_{1000}**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**	**2015/ 2000**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**	**2015/ X**	
Hovedelv, Lågen:									
Rosten kraftverk	-	874*	-	-			908	**96 %**	Norconsult, 29.10.2014
Nord-Sel bru v/ 2.614	862	925	867	-	**99 %**	-	-	-	
Nedstr. saml. med Otta	2320	2502	2019	-	**115 %**	-	-	-	
Oppstr. saml. m/ Sjoa/**	2327	2510	-	-	-	1770	1910*	**131 %**	CM consulting, 2008
Harpefoss (krv.)	2874	3114	2605	-	**110 %**	-	2662	**117 %**	CM consulting, 2008
Utløp av Losna	3110	3368	2938	-	**106 %**	-	-	-	
Hunderfossen krv	3133	3393	-	-	-	-	3164	**107 %**	CM consulting, 2008
Sideelver til Lågen:									
Ula	139	150	-	-	-	-	230	**65 %**	NVE, 1996
Veikleåa	92	98	-	-	-	-	94	**104%**	Norconsult, 30.01.15***
Frya	275	294	209	-	**132 %**	-	-	-	
Våla	254	271	210	-	**121 %**	-	272	**100%**	Norconsult, 29.01.13
Tromsa	283	302	244	-	**116 %**	-	-	-	

* Rosten kraftverk ligger litt oppstrøms Målestasjon 2.614 Rosten, verdier fra 2015 er skalert for arealforskjell (A=1836km^2 vs. A=1735 km^2)

** Dette er et pkt.som ligger på omtrent samme sted som Storrusten.

*** Revidert rapport 10.05.2015. Der har man lagt på en sikkerhetsmargin pga. usikkerhet i datagrunnlaget på 20 %.

For Q_{1000} (kulminasjon) ved Hunderfossen utgjør forskjellen på **7%** mellom beregningene i 2008 og 2015 ca. **230 m^3/s**. Sammenligner man forskjellen mellom valgt Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) for Hunderfossen krv. som var på 300 l/s/km^2 (basert på 2.144 Bråttstø) i 2008, med beregningene i 2015 der Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) er 320 l/s/km^2 [15], er forskjellen i kubikk ca.240 m^3/s. En kan derfor anta at forskjellen stammer fra ulikt datagrunnlag. Middelflom har økt med 4 % ved Losna. Hadde man valgt samme fordeling som i 2008 (Gumbel) hadde forskjellen likevel vært på ca. 130 m^3/s. De resterende 100 m^3/s [16] kommer av at man har valgt en annen frekvensfordeling (GEV max, se Figur 9). Av dette kan man også anta at reguleringseffekten beregnet i 2008 og det fratrekket man velger i 2015 er sammenlignbare.

Q_{1000} (kulminasjon) ved **Harpefoss** utgjør en forskjell på **17%** mellom beregningene i 2008 og 2015 eller ca. **450 m^3/s**. I damsikkerhetsberegningene velger man Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) ved Harpefoss til 300 l/s/km^2, altså samme som for Hunderfossen. I 2015-beregningene er Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) 346

[15] Dette er uregulert døgnmiddelverdi. Døgnmiddelverdien oppgitt i tabeller i kap. 4 inkl. et reguleringsfratrekk på 350 m^3/s. For utløp av Losna er Q_{1000} = 3238 m^3/s + 350 m^3/s = 3588 m^3/s. 3588m^3/s *1000/ 11212km^2 = 320 l/s/km^2.

[16] 2008: Q_{1000}/Q_M= 2,29 vs. 2015: Q_{1000}/ Q_M = 2,42

l/s/km^2, dette utgjør en forskjell på ca. 447 m^3/s. I 2015-beregningene utgjør forskjellen i spesifikk flom (Q_{1000}) mellom Harpefoss og Hunderfossen 26 l/s/km^2, men ingen forskjell mellom de to stedene i 2008 beregningene.

2.145 Losna og 2.244 Harpefoss har overlappende observasjoner fra 1933-1960 og 1996-2005. Ved å sjekke forskjellen i spesifikk flom for noen utvalgte flommer ved Harpefoss når Losna kulminerer, viser at små flommer (fra under middelflom til ca. 20 år-flom) har en forskjell på mellom 5-15 l/s/km^2, og at denne forskjellen øker til 20-30 for de største flommene (1938, ca. 150-års flom og 1939, ca.75 års flom). Dette støtter antagelsen om at spesifikk flom ikke er like stor ved Losna som ved Harpefoss. En økning i spesifikk middelflom fra Losna til Harpefoss på 26 l/s/km^2 utgjør ca.250 m^3/s. Med en forskjell pga. ulikt hydrologisk grunnlag på ca. 230 ^{3}/s (se avsnitt over), er man oppe i 480 m^3/s.

For Q_{1000} **oppstrøms samløp med Sjoa** utgjør en forskjell på hele **31%** mellom beregningene i 2008 og 2015 ca. **590 m^3/s**. I damsikkerhetsrapporten heter beregningspunktet Storrosten krv. (ikke bygd). De to punktene har bare 10 km^2 forskjell i areal og er dermed sammenlignbare.

Sammenligner man forskjellen mellom valgt Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) for Storrosten krv. som er 330 l/s/km^2 (basert på 2.460 Eide, og dermed vannføringsdata som er påvirket av reguleringer) i 2008, med beregningene i 2015 der Q_{1000} (uregulert tilløpsflom, døgnmiddel) er 389 l/s/km^2, er forskjellen ca.400 m^3/s.

2.145 Losna og 2.460 Eide har overlappende observasjoner fra 1985-2014. Forskjellen i spesifikk flom for noen utvalgte flommer ved Eide når Losna kulminerer, viser at forskjellene er store fra en enkelthendelse til en annen, og at de lokale forskjeller i vassdraget er store. Flommen i 2011(ca.75-års flom) og i 2004 (Ca. 5 år), viser en spesifikk forskjell mellom flommene på 70-80 l/s/km^2 (døgnmiddel). Ellers varierer verdien mellom 15-35 l/s/km^2, og man kan ikke se en tydelig sammenheng med at forskjellen øker med økende gjentaksintervall. Flommen i 2013 skiller seg ut ved at man ved dette tilfellet har en tilnærmet lik spesifikk avrenning både ved Eide og ved Losna. Flommen i 2011 derimot, har en så stor forskjell i spesifikk avrenning mellom Eide og Losna, at det tilsier at bidraget mellom de to punktene bare er på ca. 100 m^3/s. Om dette skyldes at stedene er utsatt for ulikt vær og avrenning under de ulike flommene (2011,2013) kontra evt. feilregisteringer ved målestasjonene er uklart. Beregningene fra 2015 viser en økning i spesifikk middelflom fra Losna til Eide på 24 l/s/km^2 og for Q_{1000} en forskjell på 56 l/s/km^2. Verdiene antas som ok for Q_{1000} selv om der er registrert større forskjeller på flommer med mindre gjentaksintervall.

Ulikt valg av Q_{mom}/Q_{mid} faktor ved Storrosten/oppstrøms samløp med Sjoa utgjør en forskjell på ca. 60 m^3/s. Faktor i 2008 er 1.05 mens man i 2015 har valgt en faktor på ca. 1.08 (basert på observerte data ved Eide). Det er fortsatt ca.100 m^3/s forskjell mellom tallene i 2015 og 2008, som da må stamme fra små ulikheter i reguleringseffekten, ulik frekvensfordeling osv.

Hadde man i 2015-rapporten valgt samme metode som i 2000 (altså bare brukt data etter siste store regulering, både for beregning av middelflom og frekvensfordeling (GEV-max) for estimering av flom ved Q_{100} - Q_{1000}, hadde man ved utløp av Losna fått beregnet Q_{1000} til 3651 m^3/s. Altså ca. 284 m^3/s mer enn metoden valgt i denne rapporten. Den store økningen skyldes at man siden 2000 har fått en høyere middelflom (4,5 % større), og en mye brattere frekvensfordeling (3 store flommer siden 2000[17]). Rapporten fra 2000 antok at reguleringseffekten er inkludert i presenterte verdier i og med at man bare bruker regulerte data. Ergo ingen konkrete fratrekk for reguleringseffekt.

Vannføringen for Q_{500} i Frya, Våla og Tromsa avviker fra beregningene i 2000 av flere grunner. Metoden for valg av middelflom er sammenlignbar, men tilgang på kortere observasjonsserie ved 2.63 Rudi i 2000, ulike feltparametere og «utdatert» formelverk gir en høyere døgnmiddelflom i 2000 for disse tre sideelvene. Frekvenskurven valgt for disse sideelvene fra 2000 er vesentlig flatere enn for 2015-beregningene. Forskjellen i beregningene er dermed ikke godt synlig om man bare ser på de resultatene for døgnmiddelvannføring for de ulike gjentaksintervallene. Største forskjellen er likevel kulminasjonsfaktorene, hvor beregningen i 2000 bare bruker formelverk mens man i 2015 i tillegg til formelverk også styres av observerte verdier fra 2.63 Rudi som viser en mye høyere Q_{mom}/Q_{mid} faktor enn formelverket.

Flomberegninger gjort av Norconsult for Veiklåa (2015) og Våla (2011) samsvarer godt med beregningene i 2015. Beregningen fra 1996 for Ula avviker derimot stort, og grunnen til dette er bruk av nedbør-avløpsmodell og P_{1000} som input verdi i 1996.

Beregningene i Otta ligger tett opp til kulminasjonsvannføringer beregnet i rapport for damsikkerhet.

[17] 2015: 2.145 Losna (1966-2014): Q_{1000}/Q_M = 2,68 med frekvensfordeling GEV-Max. 2000: 2.145 Losna (1962-1999): Q_{1000}/Q_M = 2,42 med frekvensfordeling LN3.

7. Samløpsproblematikk

Under en flomhendelse vil ofte sideelver i vassdraget kulminere på et annet tidspunkt enn hovedelva, og de relative flomstørrelsene (gjentaksintervall/returperiode) kan være svært ulike innad i vassdraget. For eksempel kan det største bidraget fra en sideelv ha passert hovedelva før denne kulminerer. Ved beregning av vannlinjer der to elvestrenger med stor forskjell i kulminasjonstidspunkt møtes, er det nødvendig å anslå vannføringen i hver av elvene når den andre kulminerer. Dette for å få et mest mulig realistisk bilde på vannstanden rett oppstrøms samløpet.

Flom i sideelv:

Sideelver som inngår i elvestrekker som det skal gjøres vannlinjeberegninger for er Frya, Våla, Tromsa og Gausa. Flommer i disse sideelvene kulminerer stort sett 1 til 2 døgn tidligere enn hovedelva ved samme flomepisode. Dette kommer av mindre nedbørfelt og kortere transporttid og respons i feltet. I hovedelva nedstrøms tilløpet fra sideelvene vil vannføringen være gitt av vannføring i sideelva og vannføringen i hovedelva nedstrøms samløpet.

For å si noe om den relative forskjellen i flomvannføring ved kulminasjonstidspunktet for hhv. sideelv og hovedelv, er enkelte store flomhendelser analysert. Det er sett på vannføringen i hovedelva når sideelven kulminerer, og sammenlignet med kulminasjonsvannføringen i hovedelva ved samme flomhendelse. Forholdet mellom disse to vannføringene brukes til å beregne den prosentvise forskjellen av vannføringen i hovedelva ved kulminasjon i sideelven. Denne antas gyldig for alle gjentaksintervall.

Vannføringen i sideelva inn mot samløpet ved kulminasjon i hovedelva er beregnet som differansen mellom beregnet vannføring opp- og nedstrøms samløpet ved ulike gjentaksintervall.

Ved beregning av en flomsone, må dermed to ulike situasjoner sammenlignes og den som gir den høyeste vannstanden i et tverrprofil velges.

Flom i hovedelv:

Når sideelvene blir små i forhold til hovedelva, og det er flom i hovedelva har man valgt å beholde samme gjentaksintervall både oppstrøms og nedstrøms samløpet. Vannføringen i sideelven blir da differansen mellom vannføringen etter samløpet ved et gitt gjentaksintervall og vannføringen i den flomførende elva inn mot samløpet for det samme gjentaksintervallet.

Resulterende vannføringer er vist i Tabell 27. Det er lagt til grunn en vannføring på hhv. 75 % (Gausa) og 80 % (Frya, Våla og Tromsa) av kulminasjon i hovedelva ved fullt bidrag fra sideelver. På grunn av store variasjon under ulike flommer, stedvis dårlig datakvalitet og mangel på observasjoner ved aktuelle steder anbefales det at det utføres

en følsomhetsanalyse i de hydrauliske beregningene av vannlinjen. Vannføringen i prosent av kulminasjon i hovedelva foreslås å variere med + / - 10 % (av kulminasjon) i forhold til det som er oppgitt i Tabell 27. Forholdstallene er diskutert i avsnittene under tabellen.

Tabell 27. Samløpsproblematikk, Frya, Våla, Tromsa, Gausa og Lågen.

	%*	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Flom i Frya, hva er vannføringen i Lågen?										
Frya		95	123	142	171	199	218	247	275	294
Lågen nedstrøms. samløp med Frya	80%	1036	1230	1397	1561	1776	1923	2114	2370	2568
Lågen oppstrøms samløp med Frya		942*	1107	1255	1390	1577	1705	1867	2095	2274
Flom i Lågen, hva er vannføringen i Frya?										
Frya		31	37	42	47	53	58	63	70	75
Lågen nedstrøms. samløp med Frya		1296	1538	1746	1951	2221	2404	2642	2963	3210
Lågen oppstrøms samløp med Frya		1265	1501	1705	1904	2168	2346	2579	2893	3135
Flom i Våla, hva er vannføringen i Lågen?										
Våla		87	114	131	157	184	201	227	254	271
Lågen nedstrøms samløp med Våla	80%	1058	1256	1426	1594	1814	1964	2158	2419	2620
Lågen oppstrøms samløp med Våla		971	1142	1295	1436	1630	1763	1930	2165	2349
Flom i Lågen, hva er vannføringen i Våla?										
Våla		26	31	35	39	45	49	53	59	63
Lågen nedstrøms samløp med Våla		1323	1570	1783	1992	2267	2455	2697	3024	3275
Lågen oppstrøms samløp med Våla		1297	1539	1748	1953	2222	2406	2644	2965	3212
Flom i Tromsa, hva er vannføringen i Lågen?										
Tromsa		98	127	146	176	205	224	254	283	302
Lågen nedstrøms samløp med Tromsa	80%	1227	1283	1457	1628	1852	2006	2204	2470	2675
Lågen oppstrøms samløp med Tromsa		1129	1156	1311	1452	1648	1782	1950	2187	2373
Flom i Lågen, hva er vannføringen i Tromsa?										
Tromsa		25	30	34	38	43	47	51	57	61
Lågen nedstrøms samløp med Tromsa		1351	1604	1821	2034	2315	2508	2755	3088	3344
Lågen oppstrøms samløp med Tromsa		1326	1574	1787	1997	2272	2461	2704	3031	3283
Flom i Gausa, hva er vannføringen i Lågen?										
Gausa		272	348	409	469	545	602	659	735	792
Lågen nedstrøms samløp med Gausa		1439	1571	1798	2020	2311	2515	2760	3089	3341
Lågen oppstrøms samløp med Gausa	75%	1167	1223	1389	1552	1766	1913	2101	2354	2549

Flom i Lågen, hva er vannføringen i Gausa?										
Gausa		69	82	93	104	118	129	140	155	166
Lågen nedstrøms samløp med Gausa		1442	1712	1944	2172	2472	2679	2941	3294	3565
Lågen oppstrøms samløp med Gausa		1374	1631	1852	2069	2355	2551	2801	3139	3399

* Prosentvis bidrag av maks flom i hovedelv (under samme flomepisode), når sideelven kulminerer.

2.63 Rudi som ligger i Frya er antatt å representere de tre sideelvene (Frya, Våla og Tromsa), i sammenligningen mot 2.145 Losna[18] i Lågen lenger nedstrøms. Grunnlaget for sammenligningen begrenser seg med tilgang på findata, som for dette tilfelle er fra 1996-2012. For de 7 største flommene i Frya (som har data ved flomtopp) kulminerer alle mellom 1 – 2 døgn før Lågen kulminerer ved Losna. Der er stor variasjon i forholdstallet mellom flomepisoden, men et gjennomsnitt på 72 % er sammenlignbart med konklusjonen fra rapporten i 2000 som vurderte de 5 største døgnmiddelflommene i perioden 1987-1999, til å ha et forholdstall på 80%.

Vannstanden ved samløpet til Gausa og Lågen vil ved høye gjentaksintervall være påvirket av vannstanden i Mjøsa som ved store flommer påvirker nedre del av Gausa. I 1995-flommen (ca.100 års gjentaksintervall i Lågen oppstrøms samløp med Gausa) stuvet Mjøsas vannstand opp Gausa (Pers. med. Jim Bogen, 2015). Mjøsa kulminerte i 1995 på 125,63 moh. NVE laget i 2006 et flomsonekart for Lillehammer (Naserzadeh og Svegårdem,2006), som viser Mjøsas vannstander for ulike gjentaksintervall. Data opp t.o.m. 1999 er brukt som grunnlagsdata. Beregningene anses som gyldige, da de siste store flommene (2011,2013 og 2014) ikke påvirker datagrunnlaget i stor grad pga. Mjøsas store demping.

For samløpet mellom Otta og Lågen når det er flom i Lågen (som her er klart minst, og fungerer som en «sideelv» til Otta) er det gjort tilsvarende beregninger som for de mindre sideelvene. Både 2.25 Lalm og 2.614 Rosten ligger omtrent like langt fra samløpet, og man kan derfor anta at det prosentvise bidraget fra den ene elva når den andre kulminerer, er tilsvarende ved samløpet. Perioden hvor begge stasjoner har tilgang på findata er fra 1999-2014. Når Otta er flomførende elv (hovedelv) er det antatt at man nedstrøms samløpet også har samme gjentaksintervall som for Otta, ref. innledende avsnitt i dette kap.

Resultatene ses i Tabell 28.

[18] Ref. rapport fra 2000: «Tatt i betraktning de fem største flommene i Frya i observasjonsperioden 1987-1998 er døgnmiddelvannføringen både ved Losna og ved Eide, samme døgn som Frya kulminerer, i gjennomsnitt ca. 80 % av døgnmiddelvannføringen ved kulminasjonen 1-2 døgn etter. Antar at dette er tilfellet på hele elvestrekningen mellom Eide og Losna. Antar også at samme prosentandel er representativ for Våla og Tromsa.»

Tabell 28 Samløpsproblematikk, Otta og Lågen.

	%	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Flom i Otta, hva er vannføringen i Lågen?										
Otta		674	796	895	990	1113	1283	1390	1530	1637
Lågen, nedstrøms samløp med Otta		1093	1163	1320	1475	1679	1906	2082	2320	2502
Lågen, oppstrøms samløp med Otta		419	367	426	486	566	624	693	789	865
Flom i Lågen, hva er vannføringen i Otta?										
Lågen		402	497	575	649	745	817	888	983	1055
Lågen, nedstrøms. samløp med Otta		1076	1173	1335	1490	1691	1907	2070	2284	2446
Otta, oppstrøms samløp med Lågen	85%	674	676	760	841	946	1090	1181	1301	1391

For de 6 største flommene ved 2.25 Lalm i Otta kulminerer alle flommene mellom 15t – 48t etter at de kulminerer ved Rosten i Lågen. Otta bidrar med ca. 60 % av vannføringene under disse flommene. Ved å se på prosentvis fordeling mellom Otta og Lågen nedstrøms samløpet via Arbeidsserie 1 (1966-2014, etter siste store regulering, døgnmiddelvannføring), ser man at for de 7 største flommene bidrar Otta i gjennomsnitt med 70 % av vannføringen. Tabellen viser at når man har en 1000-års flom i Otta og nedstrøms samløpet, har man ca. 200-års flom i Lågen rett oppstrøms samløpet.

Ved de 5 største flommene ved 2.614 Rosten kulminerer alle flommene mellom 20t – 48t før Otta kulminerer ved Lalm. Valgt forholdstall (som viser hvor stor prosentandel av kulminasjonsvannføringen hovedelva har når sideelven kulminerer) i Tabell 258 er noe høyere enn gjennomsnittet på 80 %, men er valgt til 85 % da det er kun én flomhendelse som ligger under 85 % og det er flommen i 2011 på 53 % (og flomtopp ved 2.614 Rosten er ikke helt realistisk ut). Otta bidrar dermed med ca. 65 % av vannføringen under flom for alle gjentaksintervall. Tabell 28 viser at når man har en 1000-års flom i Lågen, har man en ca. 200-års flom i Otta, og ca. 700-års flom rett nedstrøms samløpet.

8. Flom i små nedbørfelt

En veileder for flomberegninger i små felt er under ferdigstilling (Stenius og Glad m.fl., 2015), og dette kapitlet henter all informasjon fra denne rapporten. Veilederen er en generell veileder for flomberegninger i små, uregulerte felt opp til 50 km^2. Den gir en beskrivelse av anbefalte metoder og tilgjengelig datagrunnlag. I tillegg beskrives metode for å ta hensyn til ventede endringer som følge av klimaendringer.

I små nedbørfelt er det som regel regn som skaper flom, særlig nedbørepisoder med høye intensiteter og forholdsvis korte varigheter. Store nedbørmengder fører likevel ikke alltid til store flommer. De største flommene oppstår som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, så som snøsmelting, mettet mark på grunn av tidligere nedbør, eller nedbør på frossen mark som fører til rask avrenning.

I små vassdrag, hvor det kan være intens nedbør over hele feltet samtidig og hvor vannet bruker kort tid for å nå ned i hovedelven/bekken, har ofte større spesifikke flommer sammenlignet med større vassdrag. Karakteristisk for små vassdrag (særlig urbane felt og felt med mye bart fjell eller andre feltegenskaper som øker avrenningshastigheten) er at flommen stiger raskt og har et spisst flomforløp. I denne typen felt er det vanlig med flommer i forbindelse med konvektiv nedbør om sommeren og høsten. (Glad og Stenius m. fl., 2015).

Det vil ikke være mulig å gi en godt estimat som er gyldig for «alle» små sidevassdrag for det området om RPL dekker. Enhver flomberegning bør ta utgangspunkt i en oversikt over det aktuelle nedbørfeltet som skal analyseres. Dette innebærer å innhente informasjon om blant annet meteorologi, topografi, grunnforhold og arealbruk, i tillegg til å identifisere hva som finnes av hydrologiske data i området. Beregningsmetodikk velges så på bakgrunn av nedbørfeltets karakter og datatilgjengelighet. Resultatene fra NIFS-prosjektet tyder på at de beregningsmetoder som brukes i dag, er alle beheftet med stor grad av usikkerhet, og følgelig anbefales det i veilederen å utføre beregninger ved bruk av flere metoder for så å vurdere resultatene fra disse opp mot hverandre. Til slutt velges den flomverdien en finner å være mest sannsynlig, bestemmer klimapåslag og vurderer usikkerheten ut i fra kriteriene presentert i kap. 7 i veilederen.

8.1 Små felt, < 50 km^2

Glad og Stenius (2015) viser flere regneeksempler for å demonstrere bruk av veilederen. Et av disse regneeksemplene er Lundebekken som er et lite umålt nedbørfelt i Lillehammer kommune med utløp i Gudbrandsdalslågen. Lundebekken har et nedbørfelt på 2,8 km^2. Dette feltet kan dermed anses som et godt eks. for små sidevassdrag langs Lågen, men de spesifikke flomverdiene vil sannsynligvis ligge i det høyeste sjiktet da dette er et veldig lite og bratt felt.

Figur 11. Viser nedbørfeltet til Lundebekken (rødt midt på kartet) og målestasjoner (sorte sirkler) som måler eller har målt vannføring i området.

Lundebekken er i veilederen valgt for å illustrere flomberegninger i områder med svært begrenset datatilgjengelighet. Figur 11(hentet fra regneeksempel i veilederen) viser beliggenheten til nedbørfeltet (rødt) og målestasjoner (sorte sirkler) i området med nedbørfelt under 50 km^2. Går man lenger nord langs Lågen er det enda færre målestasjoner.

Som nevnt anbefales det å utføre beregninger ved bruk av flere metoder og for Lundebekken anbefales det å bruke NIFS-formelverk, flomfrekvensanalyser, PQRUT og Rasjonale formel. Det er ikke aktuelt å utføre flomfrekvensanalyser for det umålte feltet fordi det ikke finnes representative nedbørfelt med gode lange tidsserier i området.

NIFS-formelverk

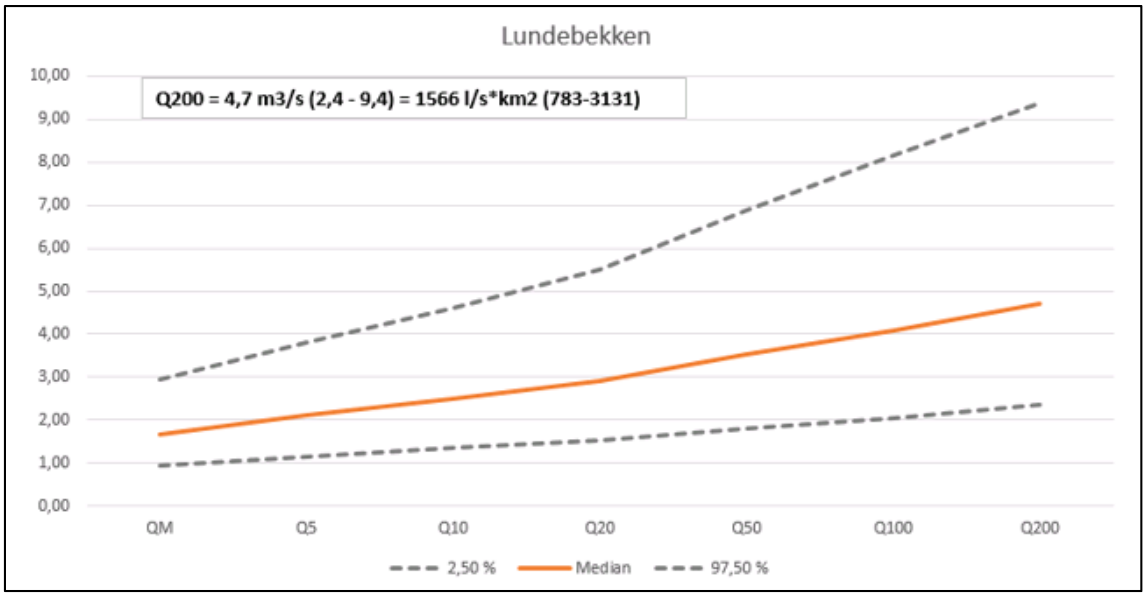
I den nye veilederen presenteres det et nytt formelverk for små felt (Glad m.fl., 2015). Formelverket beregner middelflom og vannføringer med høyere returperioder, på kulminasjonsverdier, for små uregulerte nedbørfelt i Norge (< ca. 50 km^2). Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge.

Ved beregning av middelflom med dette formelverket er den spesifikke middelvannføringen (q_N) og dermed er middelvannføringen i m^3/s en stor kilde til usikkerhet. Det anbefales derfor at verdiene fra avrenningskartet verifiseres i forhold til tilgjengelig datagrunnlag fra stasjoner i regionen.

Det er kun et fåtall målestasjoner i området rundt nedbørfeltet til Lundebekken og i Tabell 29 sammenlignes normalavrenningen fra avrenningskartet med observasjoner for disse. I følge avrenningskartet er normalavrenningen for Lundebekken 15 $l/s*km^2$. Da det kan virke som om avrenningskartet gir noe lave verdier i området justeres normalavrenningen for Lundebekken med det gjennomsnittlige avviket fra de tre stasjonene. Normalavrenningen for Lundebekken blir da 20 $l/s*km^2$. Estimatet av 200-års-flommen basert på formelverket er vist i Figur 12.

Tabell 29 Viser normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner for de tre stasjonene i området rundt nedbørfeltet til Lundebekken.

Stasjon	QN (61-90)	QN obs
Skvaldra øvre	37	41
Harasjøen	8	14
Hådammen	21	22
Fura	12	20



Figur 12. Viser første estimat av 200-årsflommen for Lundebekken. Verdiene som står i parentes viser usikkerhetsintervallet (2,5 og 97,5-persentilen).

PQRUT

PQRUT er en nedbør-avløpsmodell (Mer om metoden i kap 5 i Veilederen), og det må blant annet gjøres en vurdering av dimensjonerende nedbør. Dimensjonerende timesnedbør er satt til 25 mm for Lundebekken. Mer om vurderingene rundt dimensjonerende nedbør er vist i regneeksemplet i veilederen.

Kjøringen ga en flom med 200-års gjentaksintervall på 9,0 m^3/s som tilsvarer 3000 $l/s*km^2$.

Den Rasjonale formel

Den Rasjonale formel som er en empirisk modell, basert på dimensjonerende nedbørsintensitet (IVF-kurver) og en avrenningsfaktor (Mer om metoden i kap. 5 i Veilederen). Metoden ga tilsvarende verdier som PQRUT: 8,9 m3/s = 2955 l/s*km^2.

Valg av Q_{200} for Lundebekken

Når det utføres flomberegninger for nedbørfelt hvor det er så begrenset datagrunnlag som det som er tilfellet for Lundebekken, er det viktig å ta hensyn til dette i bestemmelse av dimensjonerende flomverdi. Lundebekken ligger i et område hvor avrenningskartet er usikkert og grunnet datamangel kan det ikke ventes å få et godt estimat av middelflommen.

Med en god overenstemmelse mellom PQRUT og Rasjonale formel, samtidig som at begge estimatene ligger akkurat innenfor usikkerhetsintervallet fra formelverket, settes dimensjonerende flomverdi til 200 års returperiode til 9,0 m^3/s = 3000 l/s*km^2, se Tabell 30.

8.2 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

Klimaframskrivningene tilsier at det vil bli hyppigere og større flommer i små vassdrag i hele landet. For alle små vassdrag med nedbørfelt som reagerer raskt på nedbør må en regne med minst 20 % økt flomvannføring i løpet av de neste 50 – 100 år (Lawrence, 2016).

For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag på 20 % for små felt, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. For svært små nedbørfelt som Lundebekken, anbefales det at å anvende ventet endring for nedbør direkte fremfor avrenning. «Klima i Norge 2100» -rapporten (Hanssen-Bauer et al, 2015) gir at klimaframskrivningene på korttidsnedbør (3 timer) i snitt for Norge er ventet å ligge mellom 20-40 % i 2100 avhengig av utslippsscenario, og for Lundebekken settes klimapåslaget til 30 %.

Tabell 30 Kulminasjonsvannføring i Lundebekken, Q_{200}.

	$Q_{200, kulm.}$	
Lundebekken	**m^3/s**	**l/s/km^2**
NIFS – formelverk	2,4 – 9,4	783-3131
PQRUT	9,0	3000
Rasjonale formel	8,9	2955
Endelig valg	9,0	3000
Klimapåslag	+ 30 %	+ 30 %
Endelig valg + klima	11,7	3900

8.3 Mikrofelt, < 1 km^2

Mikrofelt er nedbørfelt som Stenius og Glad (2015) definerer et felt under ca. en 1 km^2. Det foreligger i dag svært få lange måleserier i så små nedbørfelt, noe som gjør det utfordrende å gjøre gode analyser.

God kunnskap om hydrologi i mikrofelt er helt avgjørende for å kunne utføre gode dimensjoneringsberegninger. Store deler av Norges vei- og jernbanenett ligger utsatt til for flomproblematikk knyttet til nedbørfelt i denne kategorien. Som følge av det svært begrensede datagrunnlaget i denne kategorien er det ekstra utfordrende å vurdere rimeligheten av resultatene fra flomanalyser. Det antas at det er store lokale og regionale variasjoner i spesifikke flommer, men det er ikke nok grunnlag til å utføre slike analyser per dags dato.

Ut fra erfaringer fra fagpersoner som jobber med flomanalyser i mikrofelt i Norge anbefales det at resultater der den spesifikke 200-års flommen underskrider 2000 l/s·km^2 må sjekkes veldig nøye før en godtar et slik resultat eller alternativt øker verdien til 2000 l/s·km^2. Overskrider man 5000 l/s·km^2 må det sjekkes spesielt nøye før en godtar en slik analyse.

9. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Gudbrandsdalslågen kan karakteriseres som godt, da det er flere målestasjoner i vassdraget. Alle beregninger er basert på observasjoner fra målestasjoner i vassdraget og/eller regionalt formelverk. Det er relativt små variasjoner i spesifikk middelflom i hovedelva, mens frekvensfaktorene mellom målestasjonene varierer mer. Datakvaliteten til målestasjonene er varierende, fra godt til meget dårlig for flomvannføringer.

Det er knyttet opp til ± 20 % usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring m.fl., 2002).

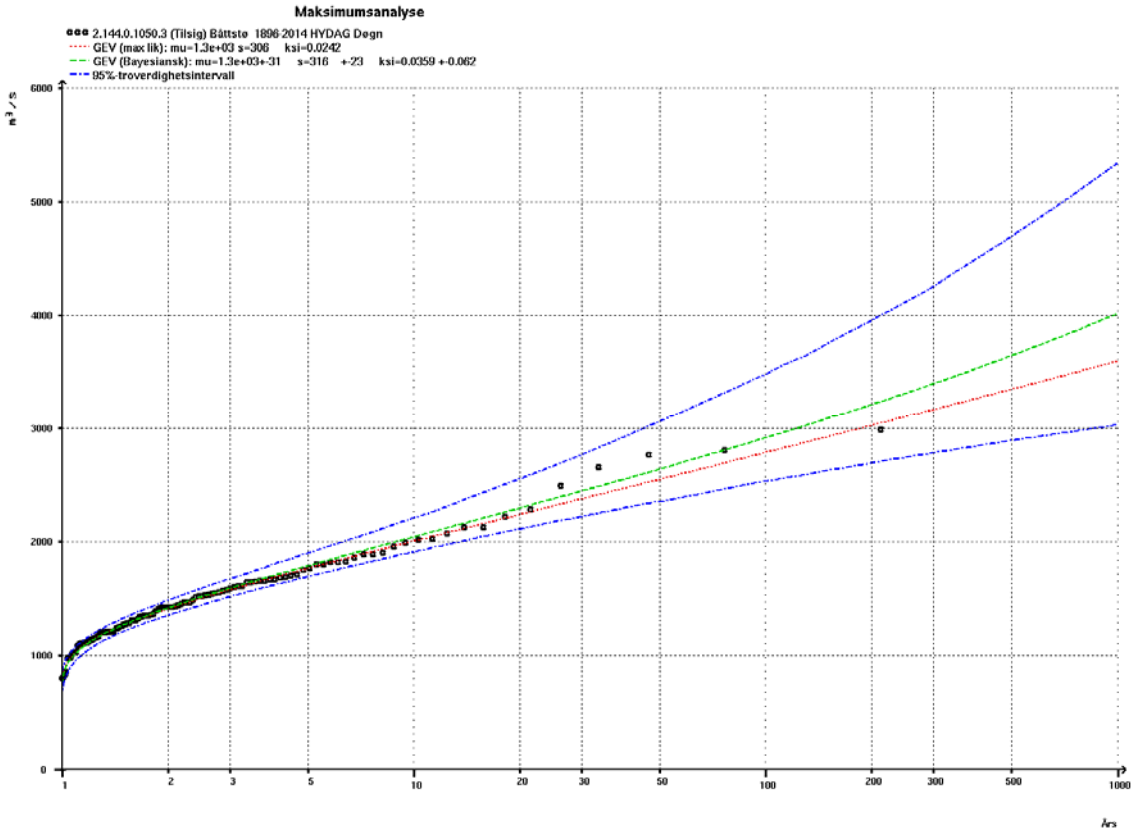
Det er også en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet.

Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være større eller lik største kalenderdøgnmiddel.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på én daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmiddelet.

I tillegg er dataene med fin tidsoppløsning ikke kontrollerte på samme måte som døgndataene og er ikke kompletterte i tilfelle observasjonsbrudd. Det foreligger heller ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn fra. 20-30 år tilbake for Gudbrandsdalslågen. Det er derfor ikke optimalt å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Det er stor variasjon på kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i analysen, og man har ikke lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 100 år. Figur 13 Viser valgt frekvensfordeling ved Losna (Tilsigsserie 2,144 Båttstø) sammen med en Bayensiansk tilnærming, som gir mulighet for å se på et 95 % troverdighetsintervall. Figuren viser at den statistiske usikkerheten i er stor alle rede ved en 200-års flom.



Figur 13 Flomfrekvensfordeling for 2.144 Båttstø (døgndata) Rød-kurve viser valgt frekvensfordeling (GEV-Max), og den grønne viser en fordeling med Bayesisansk tilnærming (GEV). De blå stiplede linjene viser 95-% troverdighetsintervall.

Det at det finnes flere målestasjoner både i hovedelva og i sidevassdragene hvor man skal gjøre beregninger for, er sjeldent godt og det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes dermed til klasse 1, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

Beldring, S., Roald, L. A. og Voksø, A. (2002). Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE Dokument nr. 2 – 2002.

Dragseth, T.A (2000).Flomberegning for Otta (002.DHZ) og Gudbrandsdalslågen (002.DZ). NVE Rapport nr. 4 – 2000.

Glad, P.A., Reitan, T., Stenius, S. (2015). Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt nedbørfelt. NVE Rapport 8-2015.

GLB, CM Consulting. 2008 (Rev.2009). Flomberegning Gudbrandsdalslågen 2008.

Hamarsland, A.T., Grønsten, H.A., Halmrast, K., Hisdal, H., Jensen, T., Melvold, K., Magnussen, I., Midttømme, G. H., Molkersrød, K., Nelson, G. N., Pedersen, T. B., Sommer-Erichson, P. (2015). NVEs Klimatilpasningsstrategi 2015-2019. NVE-Rapport 80-2015.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. (2015) Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.

Kleivane, I.(2011). Flaumen i Sør-Noreg, juni 2011. NVE Rapport nr. 11 – 2011.

Lawrence, D. og Hisdal, H. (2011). Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE Report no. 5 – 2011.

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport (til trykk).

Naserzadeh, A.R og Svegården, J. (2006). Flomsonekart, Delprosjekt Lillehammer, NVE Rapport nr.6 - 2006.

NVE 2000: Prosjekthåndbok - Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.

Petterson, L-E. (2014). Aktive vannføringsstasjoner i Norge. NVE-Rapport nr.71 -2014.

Roald, L.A. (2015). Flommen på Østlandet i mai 2013. NVE Rapport nr. 15- 2015.

Stenius, S., Glad, P.A., Væringstad, T., Wang, T.K (2015). Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Rapport (til trykk).

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. (1997). Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Wathne, M. & Alfredsen, K. (1998). Modellstudie av reguleringens flomdempende effekt i Gudbrandsdalslågen. HYDRA-rapport nr. F03, SINTEF.

Vedlegg

Vedlegg 1

Tabell 31 Benyttet vekstkurve for alle beregningspunkt oppstrøms samløpet mellom Otta og Lågen.

Sted	Areal km^2	Frekvensfordeling	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M
Lågen, oppstr.saml. med Lora	169	Regional vekstkurve (V1)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lora	355	Regional vekstkurve (V1)	**1,20**	**1,40**	**1,60**	**1,90**	**2,10**	**2,30**	**2,50**	**2,70**
Lågen,nedstr. saml. med Lora	523	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lågen, Bottheim (bru)	727	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lågen, ved Nord-Sel bru*	1836	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lågen, oppstr. saml. med Ula	1931	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Ula	157	Regional vekstkurve (V1)	**1,20**	**1,40**	**1,60**	**1,90**	**2,10**	**2,30**	**2,50**	**2,70**
Lågen, nedstr.saml. med Ula	2088	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Lågen oppstr.saml. med Otta	2103	2.614 Rosten (1917-2014)	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62
Otta	4067	2.150 Lalm (1917-2013)	**1,18**	**1,33**	**1,47**	**1,65**	**1,79**	**1,93**	**2,11**	**2,24**

Tabell 32 Benyttet vekstkurve for alle beregningspunkt nedstrøms samløpet mellom Otta og Lågen.

Sted	Areal km^2	Frekvensfordeling	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M
Lågen, nedstr. saml. med Otta	6170	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. med Sjoa	6227	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Sjoa	1527	2.595 Faukstad (1945-2010)	**1,28**	**1,50**	**1,72**	**2,00**	**2,21**	**2,42**	**2,70**	**2,91**
Lågen, nedstr. saml. med Sjoa	7754	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	7792	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Veikleåa	101	Regional vekstkurve (V4)	**1,30**	**1,50**	**1,80**	**2,10**	**2,30**	**2,60**	**2,90**	**3,10**
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	7893	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	9658	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved Hundorp bru	9844	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. med Frya	9867	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Frya	372	Regional vekstkurve (V4)	**1,30**	**1,50**	**1,80**	**2,10**	**2,30**	**2,60**	**2,90**	**3,10**

Lågen, nedstr. saml. med Frya	10239	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. med Våla	10262	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Våla	314	Regional vekstkurve (V4)	**1,30**	**1,50**	**1,80**	**2,10**	**2,30**	**2,60**	**2,90**	**3,10**
Lågen, nedstr. saml. med Våla	10576	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	10652	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Tromsa	322	Regional vekstkurve (V4)	**1,30**	**1,50**	**1,80**	**2,10**	**2,30**	**2,60**	**2,90**	**3,10**
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	10974	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved innløp til Losna	11096	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved utløp av Losna	11212	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, ved Hunderfossen krv.	11501	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	11567	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42
Gausa	945	2.595 Faukstad (1945-2010)	**1,28**	**1,50**	**1,72**	**2,00**	**2,21**	**2,42**	**2,70**	**2,91**
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	12512	2.144 Båttstø (1896-2014)	1,19	1,35	1,51	1,71	1,87	2,03	2,25	2,42

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no