

# Estimering av kalving og kalvingstidspunkt for hjort ved bruk av GPS-data

Madelen Cecilia Espino Fjeld



UNIVERSITETET  
I OSLO

Masteroppgave (60 studiepoeng)

Økologi og Evolusjon

Senter for Økologisk og Evolusjonær Syntese

Institutt for Biovitenskap

Matematisk-Naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Mai 2023

## Forord

Denne masteroppgaven ble utført ved Universitetet i Oslo (UiO), med veiledning fra hovedveileder Atle Mysterud, og fra biveilederne Inger Maren Rivrud, Erling Meisingset og Tilde Hjermann. Jeg vil takke alle veilederne for hjelpen de siste to årene med å få masteroppgaven ferdig. Fra der jeg startet med blanke ark uten noen oppgave, til nå en ferdig masteroppgave. Spesielt takk til Atle Mysterud som introduserte meg for dette prosjektet, og som har hjulpet meg mye med kommentarer og innspill til forbedringer av oppgaven. Han har lært meg mye og gitt raske tilbakemeldinger på alle mine spørsmål. Takk til Inger Maren Rivrud som har hjulpet med kodingen, guidet meg gjennom analysene, og forklart ulike metoder. Takk til Erling Meisingset som har gjort et meget godt arbeid med innsamling av data for prosjektet. Han har delt informasjonen med meg og muliggjort analysene mine. Takk til Tilde Hjermann for hjelp med ulike praktiske og teoretiske bidrag. Jeg er veldig takknemlig for all hjelp og tålmodighet som har bidratt til dette ferdige produktet. Under arbeidet har jeg bare blitt mer og mer interessert i prosjektet og har gledet meg til å se resultatet. Videre vil jeg også takke mine foreldre, søstre, venner og kollegaer som har støttet meg under skriveprosessen. De har gitt meg inspirasjon og motivasjon til å gjennomføre oppgaven, til tross for at de ikke forstod så mye om temaet. Jeg er veldig takknemlig for å kunne være med i dette forskningsprosjektet og for muligheten til å utføre egne analyser.

Madelen Cecilia Espino

31.05.2023

## Sammendrag

Et essensielt tema innen økologi er at oppfostring av avkom hos mange arter krever tilgang på betydelige ressurser og at fødselstidspunktet synkroniseres for å treffe toppen til ressurstilgangen i sesongmessige miljøer. Dagens raske klimaendringer mot for eksempel høyere temperaturer og en tidligere vår i nordlige økosystemer, har ført til at mange planter har vist trender for tidligere fenologiutvikling. For plantespisende pattedyr kan dette føre til trofisk «mismatch» mellom tidspunkt for fødsel og den fenologiske utviklingen hos beiteplantene, og vil kunne føre til at fødselstidspunktet ikke lenger treffer tidspunktet med optimal tilgang på ressurser. Endring i de klimatiske faktorene kan føre til seleksjon for tidligere eller senere fødselstidspunkt. For hjortedyr har tidspunkt for brunst og parring påvirkning på kalvingstidspunktet, og en høyere bestandstetthet hos enkelte arter kan føre til senere unnfangelse. Få tidligere undersøkelser har dokumentert om kalvingstidspunktet til hjortedyr er blitt endret over tid. En av årsakene til dette er mangel på data, siden det er vanskelig å observere kalving og kalvingstidspunkt i skogsområder. På grunn av en endret atferd til hjortedyr under kalving, er det hos enkelte arter vist at det er mulig å sannsynliggjøre oppdagelse av kalving ved bruk av ny teknologi (posisjonsdata fra GPS-halsbånd). Målet for dette prosjektet var å undersøke om posisjonsdata kan brukes til å påvise kalving og kalvingstidspunkt hos hjort (*Cervus elaphus*), og deretter bruke metoden for å undersøke om kalvingstidspunktet har endret seg over tid og med bestandstetthet i Norge. I analysene ble det brukt GPS-data fra 188 hjort og 309 mulige kalvingshendelser fra perioden 2005-2021 fra Trøndelag og Møre og Romsdal i Norge. Tjue koller med observert kalvingstidspunkt ble brukt som utgangspunkt for endringspunktanalyse og maskinlæring, for å finne estimert kalvingstidspunkt og -status ved hjelp av kovariater knyttet til bevegelsesmønster. Observert og estimert kalvingsstatus ble sammenlignet, men det var kun 81% av kollene som ble riktig estimert, som var et svakere resultat enn forventet. Når metoden ble brukt på et

større utvalg av hjort, var det ikke mulig å påvise klare trender i kalvingstidspunkt over tid, men dette kan skyldes svakheter med metoden. Hjorten er en art som har en gjemmer-strategi første uken etter kalving. Den intensive perioden rett etter kalving er kort for en gjemmer som fører til utfordringer ved deteksjon av kalvingshendelser, og maskinlæringsmetodene bør derfor utvikles ytterligere for å få sikrere resultater. Dette vil være et viktig tema med tanke på hvordan klimaendringer kan påvirke det fremtidige økologiske samspillet.

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag .....	ii
Introduksjon .....	1
Materiale og metoder .....	4
Studieområde og studiearten .....	4
GPS-data og observasjon av kalving.....	5
Kovariater for estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt.....	7
Statistiske analyser .....	9
Metode 1: Avstand mellom GPS-posisjoner. ....	9
Metode 2: Endringspunktanalyse og maskinlæring .....	11
Resultater .....	15
Metode 1 .....	15
Metode 2 .....	16
Bestemme optimalt dagsvindu .....	16
Endringspunktanalysen skalert .....	19
Maskinlæring og ikke-skalert endringspunktanalyse .....	20
Kalving som respons av tid og bestandstetthet .....	25
Diskusjon .....	27
Ulike metoder for å beregne kalvingstidspunkt og -status .....	28
Forarbeid til analyser.....	29
Bruk av GPS data til å studere dyr .....	30
Atferd og gjemmer-strategi.....	31
Trender i kalving over tid .....	34
Konklusjon .....	36
Litteraturliste.....	37
Appendiks.....	40

## Introduksjon

I dagens samfunn er det stadig større søkelys på hvordan klimaendringer påvirker økosystemer. Mildere vintre, reduksjon av snødekke, og tidligere smelting om våren er klimatrender som er tydelig fremtredende (Davidson et al., 2020). Det endrete klimaet innebærer hyppigere ekstremhendelser som ekstrem varme, tørke og oversvømmelse (Howe, 2018). I Norge kan klimaendringene medføre varmere og våtere vintre i forhold til tidligere (Howe, 2018). Klimaendringer kan påvirke det økologiske samspillet mellom arter. For eksempel kan forandringer i fenologi gi «trofisk mismatch», dvs. at fenologien til et dyr og ressursen de utnytter ikke lenger er synkrone (Doiron et al., 2015; Visser & Gienapp, 2019). Responser på et endret klima kan føre til plastiske responser og muligens mikroevolusjon (Nussey et al., 2005). Klimatiske faktorer som temperatur og nedbør påvirker plantefenologien i løpet av vekstsesongen (Langvatn et al., 1996). Pågående klimaendringer har medført en fremskyndet vår og tidligere fenologisk utvikling og blomstring for mange planter, og kan påvirke kvaliteten på beiteplanter til gitte tidspunkt (Hagen et al., 2021).

For hjortedyr er energibehovet størst under perioden fra siste del av drektigheten til de slutter å die, og dette sammenfaller med tidsrommet det er best og mest tilgjengelig beite (Davidson et al., 2020; Neumann et al., 2020). I sesongmessige miljøer ved nordlige breddegrader er det ofte begrenset tilgang på beiteplanter med høy kvalitet (Langvatn et al., 2004), og kalven trenger mye næring i løpet av den korte vekstsesongen for å kunne overleve vinteren (Loison et al., 1999). Det kan forventes seleksjon mot tidligere brunst og dermed kalvingstidspunkt, som følge av at planteveksten starter tidligere på året og fenologien endres gjennom vekstsesongen (Hagen et al., 2021). Norge har et sesongbasert miljø, hvor tidspunkt og synkronisering av reproduksjon er viktige faktorer for fitness (Loe et al., 2005). Kalvingstidspunkt som er i utakt med plantefenologien kan ha alvorlige indirekte konsekvenser som at kalven vil

ha lavere sannsynlighet for å overleve (Couriot et al., 2023). Hos hjortedyr bestemmes kalvingstidspunkt i hovedsak av tidspunkt for paring (Mysterud et al., 2009), og er et arvelig trekk under seleksjon (Coulson et al., 2003). Derfor vil avkom få sine kalver på cirka samme tidspunkt som sine foreldre.

Det er imidlertid per i dag uklart om hjortedyr har en adaptiv respons til raske klimaendringer gjennom å justere kalvingstidspunktet. For rådyr (*Capreolus capreolus*) i sørlige Tyskland fant man at de håndterer det endrende klimaet gjennom plastisitet i kalvingstidspunkt, hvor rådyrene viste en trend for tidligere kalving (Hagen et al., 2021). En vinter med mye regn og tidligere start på våren, resulterte i en trend med tidligere kalvingstidspunkt hos rein (*Rangifer tarandus*) på Svalbard, men mer omfattende datasett var nødvendig for økt validitet av studiet (Danielsen, 2016). I Sverige fant man at kalvingstidspunktet hos elg (*Alces alces*) ikke tilpasset seg starten for planteveksten for et gitt år (mismatch) (Neumann et al., 2020), og i det nordlige Nord-Amerika viste rein ingen respons i form av tidligere kalving på grunn av endrede klimaforhold (Couriot et al., 2023).

Mye nedbør i form av regn gjennom sommeren førte til seinere brunst for hjort på øya Rum i Skottland, som igjen førte til seinere kalvingstidspunkt (Nussey et al., 2005). Den fenotypiske plastisiteten (effekten) for kalvingstidspunktet kommende vår var imidlertid avhengig av om det var høy eller lav bestandstetthet (Nussey et al., 2005). I Norge er det vist at høy bestandstetthet førte til senere brunst hos hjort på Vestlandet (Langvatn et al., 2004). Det kan antas at dette igjen kan medføre senere kalvingstidspunkt, men dette er ikke dokumentert empirisk. Rådyr i Sveits viste forsinket kalvingsperiode med økende nordlig breddegrad og høyde

over havet (Peláez et al., 2020), tilsvarende det som ble observert hos elg i Sverige (Neumann et al., 2020).

For mange arter av hjortedyr har det vært vanlig å bruke direkte observasjoner av kalving for å bestemme kalvingstidspunktet (Gaillard et al., 1993). Denne metoden kan være utfordrende, fordi mange hjortedyr tilbringer mer tid i tett skog og gjemmer seg under kalvingsperioden (Barbknecht et al., 2011; Berg et al., 2021; Marchand et al., 2021). Tidligere forskning har også vist at hjortedyr beveger seg mindre, og at de holder seg til et begrenset område rundt kalvingsperioden (Barbknecht et al., 2011; Marchand et al., 2021; Mohr et al., 2022). Denne endrende atferden i kalvingsperioden kan imidlertid muliggjøre estimering av kalvingstidspunkt ved bruk av posisjonsdata (DeMars et al., 2013; Marchand et al., 2021; Mohr et al., 2022). Flere forskningsprosjekter som har brukt posisjonsdata fra dyr merka med GPS-halsbånd for å verifisere at kalving har funnet sted har tatt i bruk ulike metoder for å finne kalvingstidspunkt. For eksempel ble GPS-data fra rådyr med observert kalving og kalvingstidspunkt brukt i endringspunktanalyse og maskinlæringsmetode sammen med kovariater (bevegelse, habitatbruk og aktivitet) for å bestemme forekomst av og tidspunkt for kalving (Marchand et al., 2021), mens GPS-data fra wapiti (*Cervus canadensis*) ble brukt i en maskinlærings-algoritme sammen med observerte kalvingshendelser for å estimere kalvingstidspunkt (Berg et al., 2021). Rein hadde tredagers gjennomsnittlig bevegelsesrater fra GPS-data i studiet til DeMars et al. (2013). Kalvingsstatus ble så estimert ved bruk av en terskel innenfor populasjonen for bevegelsesratene. Terskelverdiene ble spesifisert basert på rein med observert kalvingsstatus (DeMars et al., 2013).



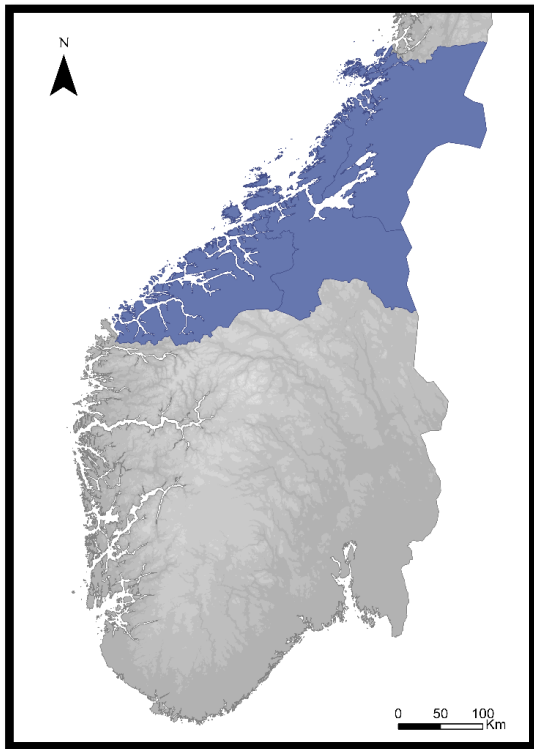
I denne oppgaven vil jeg undersøke om kalvingsstatus og kalvingstidspunkt for hjort kan estimeres ved bruk av posisjonsdata, om kalvingstidspunktet påvirkes av bestandstetthet, og om det er trender i kalvingstidspunkt som respons på klimaendringer. Jeg har brukt posisjonsdata på hjort fra GPS-merkede hjort innsamlet over 17 år kombinert med et utvalg av koller med observert kalvingstidspunkt som grunnlag for en maskinlæringsprosess, som ble benyttet til å estimere kalvingsstatus og -tidspunkt for hjort i fylkene Møre og Romsdal og Trøndelag i Norge. Jeg vil videre undersøke hypotesen om at hjortene vil kalve senere etter år med høy bestandstetthet, siden brunsten er forsinket ved høy bestandstetthet (Langvatn et al., 2004). Videre testes den alternative hypotesen om at klimaendringer fører til kalving tidligere på året, fordi høyere temperaturer om våren og sommeren og en tidligere vår leder til endret fenologi for planter (Hagen et al., 2021).

## Materiale og metoder

### Studieområde og studiearten

Studieområdet ligger i fylkene Møre og Romsdal og Trøndelag i Norge (Figur 1). Om vinteren øker snødybden fra sør til nord og fra kyst til innland, mens temperatur og nedbør synker etter de samme gradientene (Mysterud et al., 2002). Fra sør-vest til nord-vest avtar derfor lengden på vekstsesongen tilsvarende. Vestkysten av Norge ligger hovedsakelig i den boreonemorale vegetasjons-sonen, med noen unntak. Et unntak er sørboreal sone i områder nære Trondheimsfjorden. I Møre og Romsdal dominerer løv- og furuskog (*Pinus sylvestris*), med vesentlige innslag av plantet gran (*Picea abies*) i produktive skogsarealer. I Trøndelag er furu og bjørk (*Betula* spp.) dominante treslag i skogsområder, med økende andel granskog nordover (Mysterud et al., 2002). Jordbruksarealer ligger hovedsakelig i lavereliggende og flate områder, og grasproduksjon for husdyr er dominerende i de fleste områdene (Mysterud et al., 2022). For hjorten er dyrket eng et mye brukt beitehabitat (Mysterud et al., 2022). I

Norge består hjortebestandene av både stasjonære og trekkende individer (Bischof et al., 2012; Mysterud et al., 2011). Hjortebestandene i Norge er hovedsakelig utbredt i Sør-Norge og Midt-Norge og har økt kraftig i størrelse de siste tiårene (Mysterud et al., 2011).



Figur 1. Mørkeblå områder viser studieområdet bestående av fylkene Trøndelag og Møre og Romsdal i Norge.

#### [GPS-data og observasjon av kalving](#)

Materialet til oppgaven har bestått av GPS-data fra 188 koller som ble fulgt i perioden 2005-2021 i fylkene Trøndelag og Møre og Romsdal i Norge. Merking ble utført ved å sette GPS-halsbånd på immobiliserte hjort om vinteren ved fôringsplasser eller langs veier i vinterområdene til hjorten. Tidsperioden for overvåking av kollene varierte fra 1 til 38 måneder. For noen av kollene ble det samlet inn data over flere sesonger, som førte til data på 309 mulige kalvingshendelser. GPS-halsbåndene var programmert til å ta posisjoner hver time gjennom hele året. GPS-

halsbånda tok i utgangspunktet én posisjon i timen for alle hjortene. På grunn av tidvis manglende suksess for fiksering av posisjoner, hadde ikke alle hjorter 24 posisjoner i løpet av 24 timer. Dette kan være fordi enkelte halsbånd ikke klarte å registrere posisjon innen en viss tid, og halsbåndet koblet ut for å spare batteri. For å sikre god dekning på dagnivå ble kun dager der hjorten hadde minst 15 posisjoner inkludert i analysene når kovariatene ble hentet ut. Det var 93,3% av dagene som hadde alle 24 posisjonene.

Et utvalg av de GPS-merkede hjortene ble oppsøkt i felt 2-4 ganger i antatt kalvingsperiode via VHF-peiling for å undersøke om kolla hadde fødd kalv. Bestemmelse av om kolla hadde fødd kalv ved tidspunktet for feltobservasjon og kalvingstidspunkt ble estimert utfra atferden til kolla, for eksempel at kolla ikke beveget seg bort fra stedet og holdt seg i nærområdet eller om den trakk unna når observatøren nærmet seg. Hvis kalven ble observert ble alder på kalven vurdert ut fra størrelse og atferd (blant annet trykkeatferd), og kalvingstidspunkt bestemt ut fra disse observasjonene. Til sammen 20 koller fikk gjennom feltobservasjonene et observert kalvingstidspunkt, og disse ble brukt til å kalibrere metodene for å estimere kalvingstidspunkt utfra GPS-data. Spredningen av kalvingstidspunkt for koller med observert kalvingstidspunkt var fra 31. mai til 26. juni. Senere på sommeren ble kollene igjen observert, i en kombinasjon med peiling og observasjoner på innmark for å vurdere om kollene fortsatt var i følge med en kalv. I tillegg inneholdt materialet 74 koller med observert kalvingsstatus, hvorav 70 hadde kalv og 4 ikke hadde kalv som ble bestemt ut fra observasjoner før jaktstart (1. eller 10. september). For de 70 kollene som hadde kalv, hadde jeg også informasjon om kolla hadde kalv når den ble skutt, om den hadde kalv i første, andre og tredje sommer, og om kolla hadde kalv når den ble merket. De 4 som hadde sikker status uten kalv stammet fra datasettet fra de kollene observert i felt for å estimere kalvingstidspunkt.

### Kovariater for estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt

For å estimere kollenes kalvingsstatus og -tidspunkt, relaterte jeg GPS-posisjonene til ulike kovariater som beskriver aktivitet, områdebruk og habitat (se Tabell 1 for nærmere beskrivelse). Kovariatene ble beregnet med gjennomsnitt ut ifra et bevegelig tidsvindu på 48 timer, fordi kovariatene omhandler atferd og relateres til GPS punkter. Av den grunn kan kovariatene være følsomme for GPS-nøyaktighet (posisjonsfeil) og manglende posisjoner. Et gjennomsnitt over et 48-timers vindu vil imidlertid være mindre sensitivt for tilfeldigheter, som gir mer styrke til et 48 timers bevegelig tidsvindu. Størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, oppholdstid innenfor 100 m radius, og gjenbesøk innenfor 100 m radius ble estimert ved bruk av R-pakkene «adehabitatLT» og «adehabitatHR» (Calenge, 2006). Leveområdene ble estimert ved bruk av «kernel-metoden» og ble beregnet på 95% nivå for det aktuelle tidsrommet, dvs. det området hjorten oppholder seg 95% av tiden (Worton, 1989). Videre ble uteliggere fjernet, dvs. områdene som ligger over 95% kvantilen. Basert på størrelse kriteriet ble 1328 av 26548 områder fjernet. Kovariatene andel jordbruksareal og andel skog ble beregnet ut fra arealressurskartet AR50 fra NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi, 2023a), rasterisert med oppløsning 25x25 m. Avstand til vei ble hentet ut fra kart over offentlige og private veier fra Nasjonal vegdatabank, med oppløsning 100x100 m (Statens vegvesen, 2023). Videre ble antall trær, alder for trea, andel gran, andel furu og andel løvtrær innen det gitte skogbestandet hvor posisjonene lå hentet fra kartet SR16 fra NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi, 2023b). Disse kovariatene vil seinere bli referert til som SR16 samlet. SR16 er et skogressurskart med oppløsning 16x16 m som har detaljert informasjon om parametere i ulike skogbestand i Norge (Astrup et al., 2019).

Tabell 1. Tabellen viser kovariatene som blir brukt i endringspunktsanalysen og maskinlæringen. Første kolonne viser kovariatnavnet, og kolonne to viser forkortelsen for kovariatene, som blir brukt i endringspunktanalysen. Den tredje kolonnen beskriver kovariatene. Alle kovariatene er regnet ut for et 48-timers bevegelig vindu.

<b>Kovariat</b>	<b>Forkortelse</b>	<b>Beskrivelse</b>
Størrelse på leveområde	Leveområde	Beregnet som 95 % daglig leveområde ved bruk av «kernel-metoden» (Worton, 1989). Arealet er målt i m <sup>2</sup> .
Tilbakelagt distanse	Distanse	Avstand i rett linje mellom påfølgende GPS-punkter, som blir målt i meter.
Dreievinkel mellom påfølgende punkter	Dreievinkel	Relativ endring for retning i bevegelsesveien målt mellom 3 etterfølgende punkter.
Andel jordbruksareal	Jordbruksareal	Hvor stor andel av GPS-punkter som faller på areal som brukes til jordbruksformål.
Andel skog	Andel skog	Hvor stor andel av GPS-punkter som faller på skog. Skog regnes som tresatt areal som ikke er myr.
Oppholdstid	Oppholdstid	Gjennomsnittlig oppholdstid innenfor en 100 meters radius rundt hver GPS-posisjon. Ved fravær for 8 timer eller mer, indikerer det at hjorten har forlatt området.
Gjenbesøk	Gjenbesøk	Antall ganger hjorten vender tilbake til området innenfor en 100 m radius.
Avstand til vei	Vei	Snitt av alle avstander fra punkt til vei.
Antall trær	Antall trær	Gjennomsnittlig antall trær med brysthøydiameter over 8 cm.
Alder for trea	Trealder	Gjennomsnittlig bestandsalder for trær målt i år.
Andel gran	Gran	Hvor stor andel av GPS-punkter som faller på områder der gran er det dominerende treslaget.
Andel furu	Furu	Hvor stor andel av GPS-punkter som faller på områder der furu er det dominerende treslaget.
Andel løvtrær	Løvtrær	Hvor stor andel av GPS-punkter som faller på områder der løvtrær er det dominerende treslaget.

Bestandstettheten av hjort ble beregnet ut fra antall skutt hjort per kommune per år delt på det tellende arealet i kommunen og opplysningene ble hentet fra den offisielle jaktstatistikken fra SSB (Statistisk sentralbyrå, 2023), som er en anerkjent metode (Mysterud et al., 2007). Tellende areal er summen arealene av habitatene som hjorten regelmessig benytter (innmark, skog og myr).

### Statistiske analyser

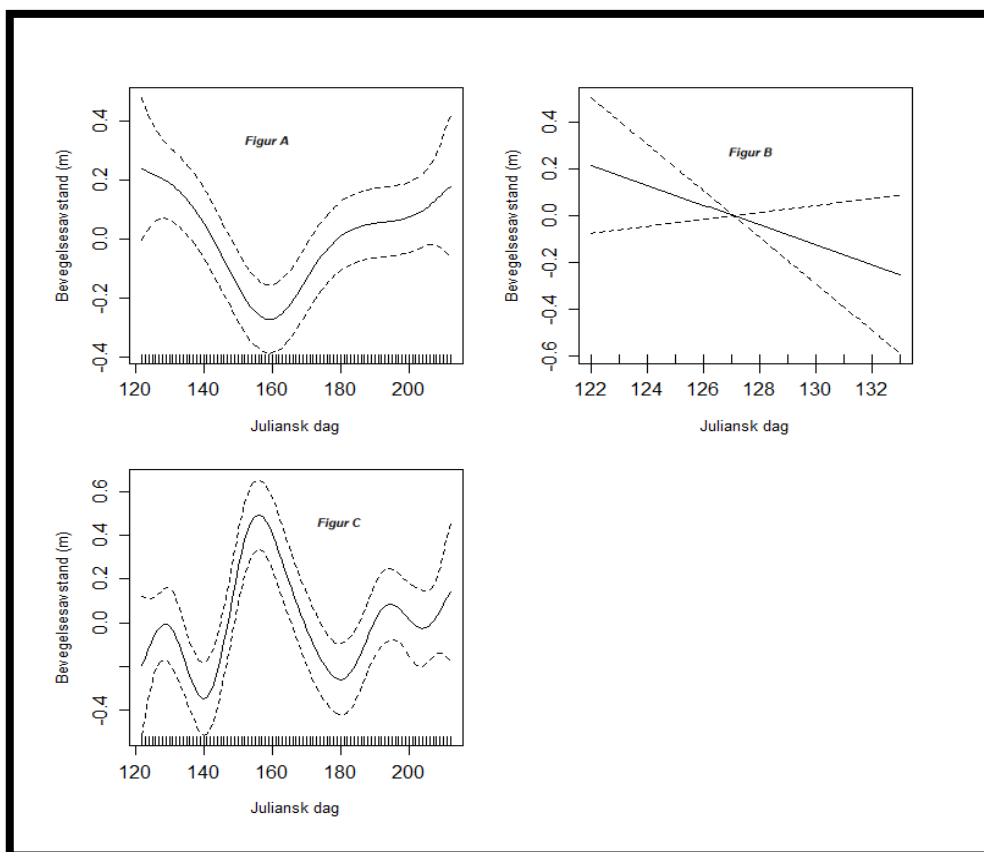
I denne oppgaven har to metoder blitt anvendt for analyser av beregning av kalving og kalvingstidspunkt. Metode 1 ble først utprøvd (se nærmere forklaring nedenfor) som enkle analyser av avstand mellom GPS-posisjoner over tid. Grunnet utydelige resultater ble det videre prøvd en mer avansert metode, Metode 2, som benytter flere ulike måleparametere på arealbruk. De statistiske analysene ble utført med R-versjon 4.1.2 (R Core Team, 2021).

#### Metode 1: Avstand mellom GPS-posisjoner.

Metode 1 går ut på å anvende generaliserte additive modeller (GAM) for å analysere avstand mellom påfølgende GPS-posisjoner for kollene, og identifisere perioder med lavere aktivitet som kan tyde på kalving. Metoden er bygget på en antagelse om at kollene beveger seg mindre rundt kalvingstidspunktet (DeMars et al., 2013; Marchand et al., 2021). Avstand mellom påfølgende posisjoner ble modellert som en funksjon av juliensk dag i GAM ved bruk av biblioteket «mgvc» i R (Wood, 2006). Juliensk dag er en kontinuerlig variabel fra 1-365 (366). Analysen ble begrenset til perioden fra 1. mai (juliensk dag 121) til 1. august (juliensk dag 213) for å dekke perioden hvor kalving vanligvis foregår (Loe et al., 2005). GAM-modellen velger automatisk frihetsgrader for kurven, dvs. hvor komplekse ikke-lineære sammenhenger som var nødvendig for å gi en tilfredsstillende beskrivelse av hovedmønstre. Deretter ble

bunnpunktene på kurvene manuelt avlest for å finne perioder med lite bevegelse og antatt dato for kalvingstidspunktet.

Videre i analysene av kalvingstidspunkt ble det selektert vekk enkelte hjorter av flere årsaker. Seleksjonskriteriene var at GAM-modellen ikke fant noen klar «bunn» eller mønster (årsaken for dette kan være for lite GPS-data), eller flere «bunner», dvs. flere perioder med mindre bevegelse enn før-og-etter. For å skille de ulike grafene, ble de delt i ulike kategorier basert på mønster: (1) en klar lav bunn i GAM modellen (Figur 2A), (2) flere bunnpunkter i GAM modellen (Figur 2C), og (3) ingen bunnpunkter og/eller intet tydelig mønster (Figur 2B). For GAM-modellen som hadde en klar bunn, ble kalvingstidspunktet notert som midtre dato ved bunn. Siden GAM-modellen hadde full fleksibilitet for juliansk dag førte det til grafer med to bunner. Der ble begge de laveste bunnverdiene notert, fordi det var vanskelig å skille mellom hvilket bunnpunkt som representerer kalvingstidspunkt uten å se det i sammenheng med andre faktorer (f.eks. tid eller andre bevegelsesparametre).



Figur 2. Metode 1 bruker avstand mellom GPS-posisjoner modellert over tid ved hjelp av GAM. På figurene er bevegelse på y-aksen og dagene (tid) på x-aksen. Figur A i dette eksempelet viser en klar lav bunn (punkt på y-aksen) lest av som dag 158 (kolle «aure\_kolle\_orange\_588\_2009»). Figur B viser et eksempel på et intet tydelig mønster (kolle «hitra\_kolle\_green\_447\_2011»). Det er ingen bunner i grafen og derfor kan det ikke leses av noen dag for kalving. For figur C vises det to lave bunner på dag 140 og dag 180 (kolle «oppdal\_kolle\_lilla\_2\_2016»).

#### Metode 2: Endringspunktanalyse og maskinlæring

Metode 2 tar utgangspunkt i metoden og R-koden fra Marchand et al. (2021). I denne metoden ble det brukt 303 potensielle kalvingshendelser med observert og ukjent kalvingstidspunkt. I metoden blir det brukt en kombinasjon av endringspunktanalyser og maskinlæring. Maskinlæringen bidrar til å identifisere strukturen til bevegelsesmønstrene for koller med observert kalvingstidspunkt og -status, for deretter å finne kalvingsstatus og -tidspunkt for koller med ukjent status ut ifra tilsvarende struktur i



bevegelsesmønstrene (Marchand et al., 2021). Data for perioden fra 1. mai (juliansk dag 121) til 31. juli (juliansk dag 212) ble benyttet, for å begrense dataene til sannsynlig kalvingsperiode (Loe et al., 2005). Juliansk dag blir brukt i analysene og er korrigert for skuddår.

#### Endringspunktanalyse

Endringspunktanalysen utføres på treningsdatasett som var datasettet for koller med observert kalvingstidspunkt (forklart ovenfor). I Marchand et al. (2021) sin analyse av kalvingstidspunkt hos rådyr var det fokus på  $\pm 5$  dager rundt estimert kalvingstidspunkt. For å finne det gunstigste tidsvinduet for analysen av hjort, ble det valgt å sammenligne kalvingstidspunkt for ulike tidsvindu, med  $\pm 2, 4, 6, 8$  og  $10$  dager rundt estimert kalvingstidspunkt. For sammenligning av tidsvinduene ble det tilpasset en lineær modell med avvik mellom observert og estimert kalvingstidspunkt i timer som respons, og tidsvindu (kategorisk) som prediktor. Ved bruk av R pakken «ggeffects» beregnes predikerte verdier for de ulike tidsvinduene med tilhørende 95% konfidensintervall som viser usikkerheten rundt de predikerte verdiene (Lüdecke, 2018). Deretter ble det tilpasset en enkel lineær modell med juliansk dag for observert kalvingstidspunkt som respons, og interaksjonen mellom juliansk dag for estimert kalvingstidspunkt og lengden på tidsvindu brukt for å estimere denne (kategorisk) som prediktorer for å se på samsvar mellom estimert og observert kalvingstidspunkt under ulike tidsvinduer. Det best mulige tidsvinduet estimeres fra kollene som har observert kalvingstidspunkt, og brukes så for å kalibrere maskinlæringsmetoden til å estimere kalvingsstatus for koller med ukjent kalvingsstatus, og kalvingstidspunkt hos koller med ukjent kalvingstidspunkt.

I analysene ble det brukt flere atferdsmålinger fra GPS-data. Kovariatene som ble brukt var: størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, andel jordbruksareal, andel skog,

oppholdstid, gjenbesøk, avstand til vei, antall trær, alder for trea, andel gran, andel furu og andel løvtrær (Tabell 1 og som er beskrevet ovenfor). Det er forventet at hjorten oppholder seg i tett habitat med mere skjul og lenger unna menneskelig aktivitet og infrastruktur under kalvingen. Derfor forventes det økning rundt kalvingstidspunktet for atferdsmålinger som andel skog, antall trær, avstand til vei, oppholdstid og gjenbesøk. Det er forventet at størrelse på leveområdet og tilbaketog distanse, synker rundt kalvingstidspunktet og holder et lavt nivå timer/dager rundt kalvingen, for deretter å øke igjen (Marchand et al., 2021). Når kolla har fått kalv forventes det at kolla vender tilbake til område (gjenbesøk) oftere (Lent, 1974). Mindre vinkler (dreievinkel mellom påfølgende punkter) indikerer at hjorten er mer i ro, som kan indikere at kolla kalver eller forbereder kalving eller har akkurat fått kalv.

I analysen ble kovariatene for datasettet prøvd både som skalerte og ikke-skalerte kovariater. Ved skalering standardiseres kovariatene slik at de var etter samme skala, uten å endre variasjonen og det relative forholdet. Hver kovariat ble sentrert rundt 0. «Scale»-funksjonen i R trekker fra gjennomsnittet for kovariaten, og deler på standardavviket for den enkelte kovariaten. For å lettere observere hvilke kovariater som endres rundt kalvingstidspunkt i treningsdatasettet, ble det først valgt å bruke skalert datasett. Et ikke-skalert datasett kan ha kovariater med høye verdier, som gjør det vanskelig å observere visuelt endringer for andre kovariater med lavere verdier.

Til slutt i endringspunktanalysen kjøres den såkalte hierarkiske «divisive» estimeringen for å finne endringspunkt i kovariatene (Marchand et al., 2021). Kalvingstidspunktet estimeres av brå forandringer i atferd gjennom endringer i kovariatene sine verdier, som ble identifisert av endringspunktsanalysen. Den «divisive» metoden kombinerer en binær

todelings- tilnærming og permutasjonstester (Matteson & James, 2014). Jeg brukte funksjonen «e.divisive» i R-biblioteket «ecp» (James & Matteson, 2015), og funksjonen ble programmert til å estimere ett enkelt sannsynlig endringspunkt i tidsserien for kollene. Dette endringspunktet representerte dermed det estimerte kalvingstidspunktet.

#### Maskinlæring

Maskinlæringen benyttet seg av fire ulike datasett for å estimere kalvingsstatus og -tidspunkt, to treningsdatasett og to testdatasett. Treningsdatasettene bestod av to deler, 1) alle kollene med observert kalvingstidspunkt, med info om id og estimert dato for kalving basert på endringspunktanalysen og 2) et datasett med alle disse kollenes GPS-posisjoner, tidspunkt for posisjon, og tilhørende kovariater mellom 1. mai og 31. juli (se Kovariater for estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt). Test-datasettene bestod av 1) alle kollene uten observert kalvingstidspunkt, med informasjon om id og observert kalvingsstatus, der status er «har kalv», «ikke kalv» eller «ukjent kalvingsstatus», og 2) GPS-posisjoner og tilhørende kovariater til disse kollene (se Kovariater for estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt). Av disse kollene var det 209 koller med ukjent kalvingsstatus, 4 koller som var observert uten kalv (fra datasett for koller med sikker kalvingsstatus), og 70 koller som hadde kalv (se GPS-data og observasjon av kalving).

For treningsdatasettet beregnes det tidsforskjell for hver kolle mellom observert og estimert kalvingstidspunkt. Feil blir beregnet fra kovariatene for tidsvindu mellom 24 og 240 timer. Maskinlæringen estimerer sannsynligheten for at en verdi befinner seg innenfor et vindu for kalving hos kollene. Sannsynlighet for kalving estimeres av «random forest»-metoden ved bruk av pakken «rfPermute» i R (Archer, 2022). Koller med observert kalvingsstatus og estimert kalvingstidspunkt fra endringspunktanalysen (testdatasettet) blir brukt for å sette en

terskelverdi for sannsynlig kalving. Koller med ukjent kalvingsstatus som hadde sannsynlighetsverdier innenfor sitt vindu som var over terskelverdien, indikerte kalving for kolla. Terskelverdien var 1% kvantilen av sannsynlighetene som ble beregnet innenfor kalvingsvinduet i treningsdatasettet. Ved flere observasjoner ble den korteste kalvingsperioden beholdt. Kolla ble beregnet som uten kalv når det ikke var identifisert noe kalving innenfor tidsvindue. Kalvingstidspunktet oppgis i juliansk dag og ble beregnet ut fra gjennomsnittet for kalvingsperioden, der korresponderende sannsynlighet for kalving per tid ble vektlagt.

#### Sammenligning og modeller

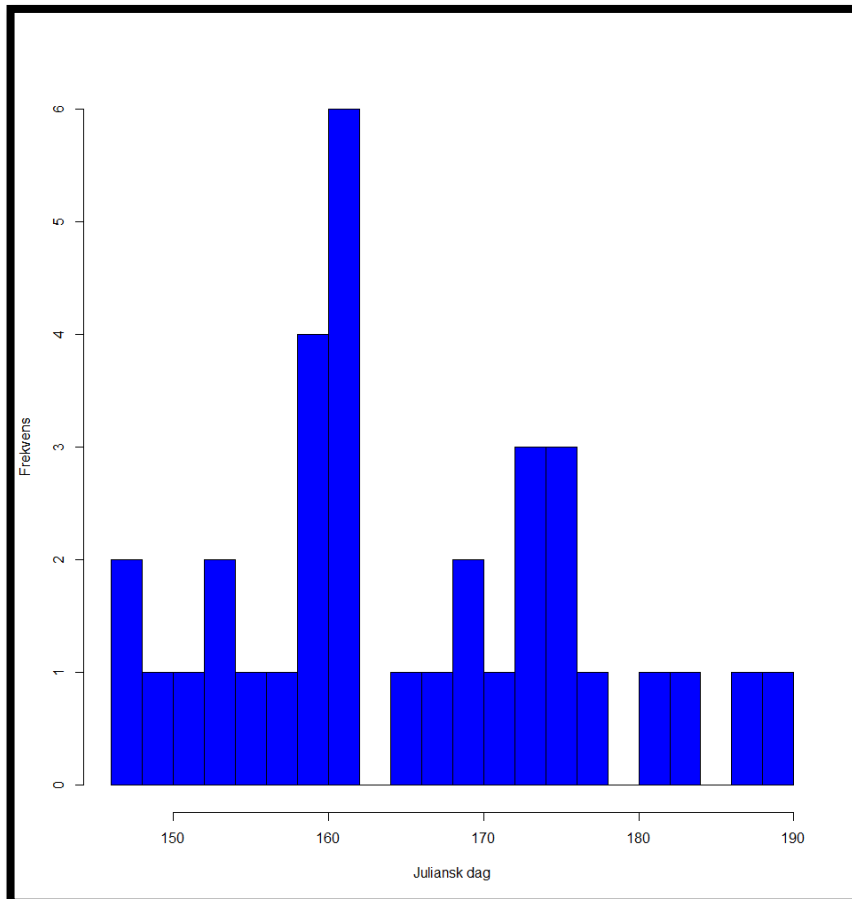
Fra maskinlæringen sammenlignes observert og estimert kalvingsstatus for skalerte og ikke-skalerte kovariater, for å undersøke om metoden fungerer. Jeg kjørte i tillegg maskinlæringen for ulike kombinasjoner av skalering for kovariatene med og uten avstand til vei og med og uten SR16. Modeller ble tilpasset for å se responsen til kalvingstidspunkt og -status over tid og på bestandstetthet av hjort for å undersøke signifikante trender. Det ble kjørt en enkel lineær regresjonsmodell der estimert kalvingstidspunkt ble brukt som respons, og år (kontinuerlig) og bestandstetthet (kontinuerlig) var prediktorer. Den andre modellen var en logistisk regresjonsmodell der kalvingsstatus (kalv/ikke kalv) ble satt som binær respons med år og bestandstetthet som prediktorer.

## Resultater

### Metode 1

Under Metode 1 var det kun 56% (34 av 60) av kollene som ga et tydelig resultat (en klar lav bunn) og hvor kalvingstidspunkt kunne estimeres. De usikre resultatene fordelte seg slik: «flere bunner» 7 av 60, «intet tydelig mønster» 17 av 60, og «ingen bunner» 2 av 60. Kalvingstidspunkt for kollene med tydelig resultat var spredt fra 26. mai (juliansk dag 146) til 9.

juli (juliansk dag 190) (Figur 3). For estimert kalvingstidspunkt var høyest frekvens og median 11. juni (juliansk dag 162) og gjennomsnitt 15. juni (juliansk dag 166, Figur 3).



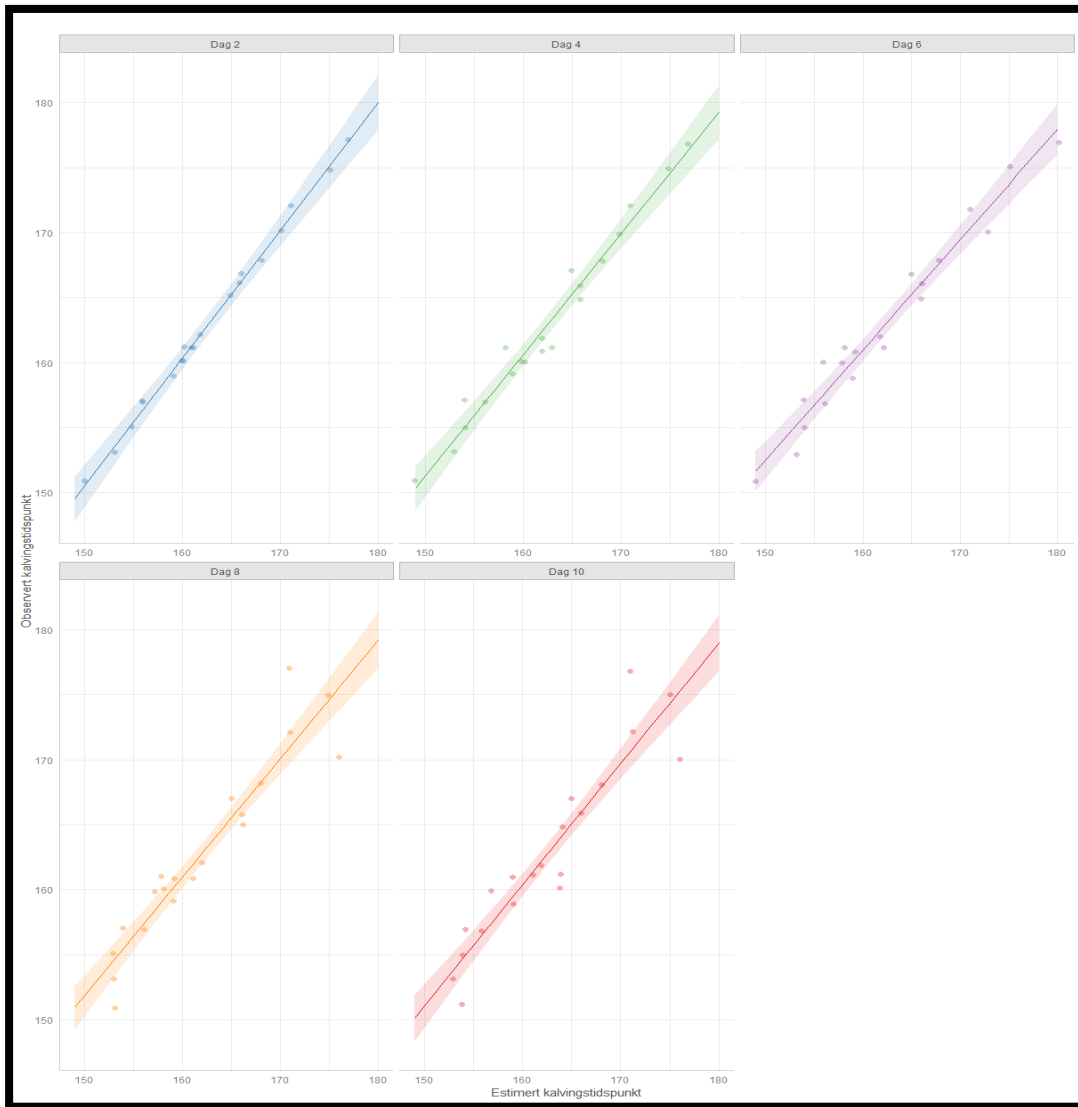
Figur 3. I dette frekvenshistogrammet er alle kollene med en klar lav bunn på GAM samlet (n=34). X-aksen viser til hvilken dag det var en klar lav bunn på GAM. Y-aksen viser frekvensen, antall koller som hadde en klar lav bunn samme dag.

## Metode 2

### Bestemme optimalt dagsvindu

De lineære modellene med interaksjoner mellom estimert kalvingstidspunkt og tidsvindu som prediktor og observert kalvingstidspunkt som respons viste godt samsvar mellom observert og estimert kalvingstidspunkt (målt i juliansk dag) for alle tidsvinduer (Figur

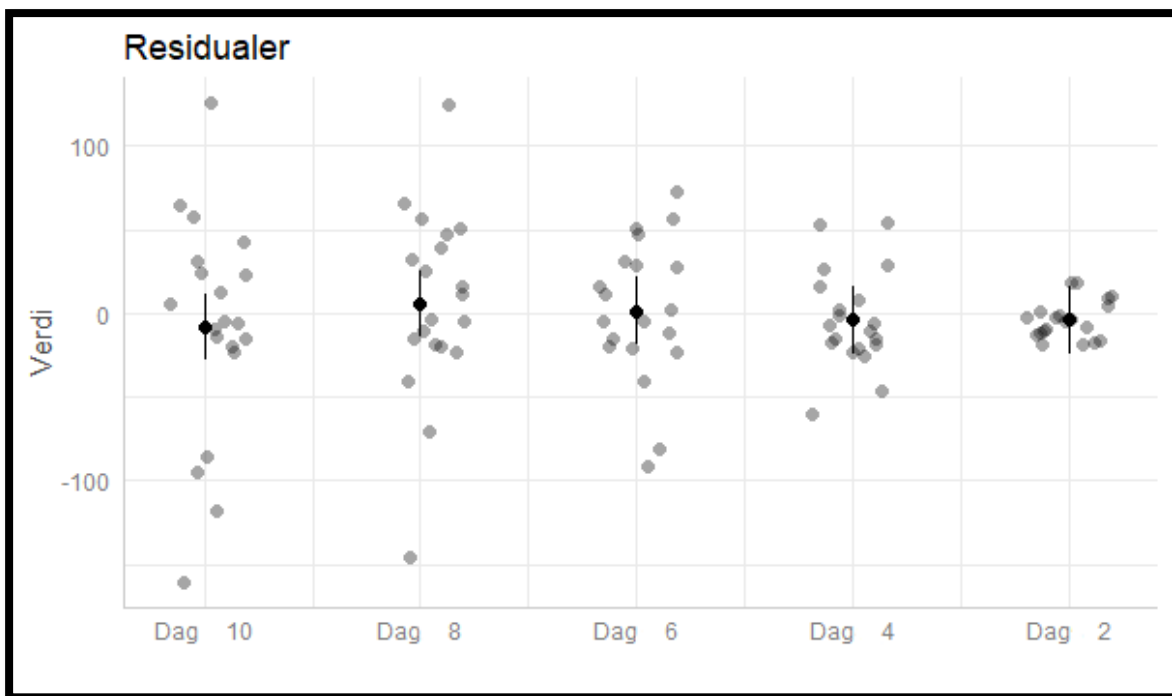
4). Datapunktene viser minst spredning for tidsvindu for dag 2, og mest spredning for dag 10 (Figur 4).



Figur 4. Predikerte verdier og tilhørende 95% konfidensintervall for alle tidsvinduene, basert på lineære modeller med observert kalvingstidspunkt som respons og interaksjon mellom estimert kalvingstidspunkt og tidsvindu som prediktor, målt i juliensk dag. Punktene viser residualene. For hver av grafene står dager for tidsvinduet øverst.

Den lineære modellen viser forskjell mellom observert og estimert kalvingstidspunkt i timer som respons med 95% konfidensintervall, og kategorisk variabelen tidsvindu som prediktor (Figur 5, Appendiks Figur

A1). Fra denne modellen viser figurene estimerte verdier og residualer (Figur 5, Appendiks Figur A1). Residualene er hvordan punktene avviker fra estimerte verdier fra modellen. For figuren med «rådata» øker spredningen med økende tidsvindu, der dag 2 er minst spredt og dag 10 er mest spredt (Appendiks Figur A1), som er naturlig, da det er begrenset hvor mye kalvingstidspunkt kan variere innenfor et mindre vindu rundt kalvingstidspunkt. Her vises dag 2 som optimalt tidsvindu, men dag 4 har også liten spredning (Appendiks Figur A1). Figuren med residualer viser samme mønster som figuren med «rådata» (Figur 5). Samtlige modeller viser at det er liten variasjon i estimert kalvingstidspunkt uavhengig av lengden på tidsvinduet som er valgt (2-10 dager), og generelt godt samsvar mellom observert og estimert kalvingstidspunkt innenfor tidsintervallet (Figur 4, Figur 5, Appendiks Figur A1). Et vindu på to dager kan vise seg å være for kort til å fange opp kalving hos noen koller, mens et for langt tidsvindu kan introdusere flere muligheter for feilkilder i estimeringen. Siden estimeringen virker relativt robust for valg av tidsvindu, velger jeg en middelvei med et vindu på 4 dager i videre analyser, som viser godt samsvar mellom estimert og observert kalvingstidspunkt (Figur 4, Figur 5, Appendiks Figur A1).

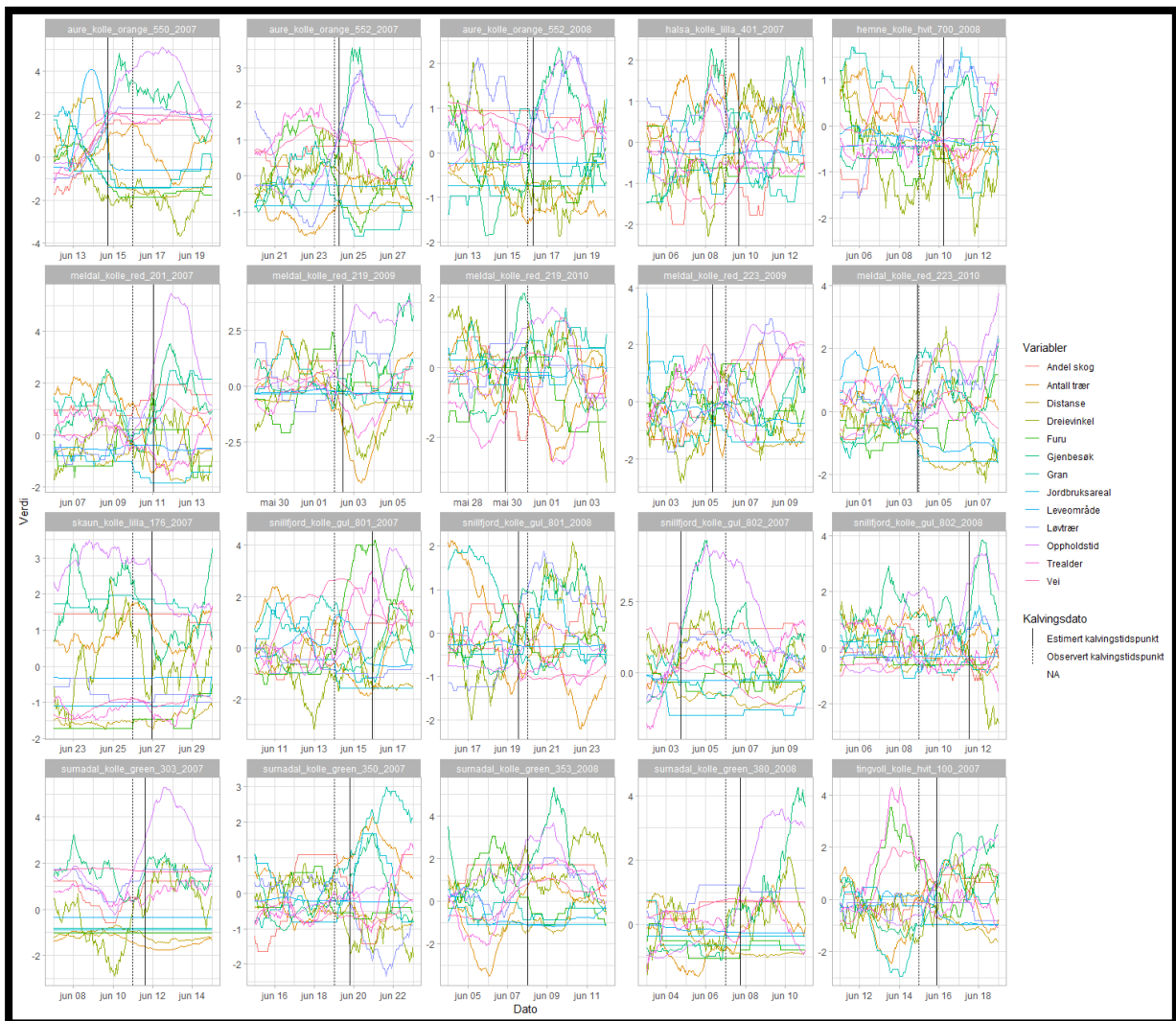


Figur 5. Grafen viser predikerte verdier for forskjell mellom observert og estimert kalvingstidspunkt (timer) med 95% konfidensintervall for hvert tidsvindu. De predikerte verdiene er responsen, og tidsvinduene er prediktor. Punktene viser residualene.

#### Endringspunktanalysen skalert

Ut ifra observasjoner fra skalert graf fra endringspunktanalysen estimerte de valgte kovariatene størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, andel jordbruksareal, andel skog, oppholdstid og gjenbesøk, kalvingstidspunktet best (Figur 7). Det vil si at det ut ifra mønstre i GPS-data ga estimater som er nærmest observert kalvingstidspunkt (Figur 6, Figur 7). Inkludering av SR16-kovariatene og avstand til vei ga ikke tydelige resultater i analysen (Figur 6). Derfor ble det valgt å kjøre analysene uten disse (Figur 7). Noen kovariater (leveområde og jordbruksareal) viste lite endringer rundt kalvingstidspunktet for noen koller, mens det derimot viste endring for andre koller, og ble derfor valgt å ta med videre (Figur 6, Figur 7).





Figur 6. Figuren viser grafer fra endringspunktanalysen med alle skalerte kovariaterne for hjortene med observert kalvingstidspunkt. For hver graf står navn for den tilhørende kolla øverst. X-aksen viser dato. Y-aksen viser verdier for ulike landskapskovariater, habitatkarakteristikk og bevegelse-beregninger. Den heltrukne vertikale linjen er observert kalvingstidspunkt, og de stiplede linjene er de estimerte datoene basert på kovariaterne.

#### Maskinlæring og ikke-skalert endringspunktanalyse

Endringspunktanalysene er relativt konsistent og estimerte

kalvingstidspunkt godt, men maskinlæringsprosessen er mer variabel

avhengig av hvilke kovariater som inkluderes, samt skaleringen. Det ble

først valgt å bruke skalerte kovariater siden de var intuitive og lettere å

tolke rent visuelt i tidlige analyser (Figur 6). De estimerte kalvingstidspunktene var kvalitativt like for skalerte og ikke-skalerte kovariater (Figur 6, Figur 7). For maskinlæringen/endringspunktanalysen ble det valgt å prøve ut ulike kombinasjoner av kovariatene og skalering (skalert, ikke-skalert, med SR16, uten SR16, med avstand til vei, uten avstand til vei), for å se hvilken sammensetning som er best til å estimere kalvingsstatus og antall som estimeres som kalvende (Tabell 2, Tabell 3).

Tabell 2. Resultatene av maskinlæringen med ulike kombinasjoner av skalering, kovariater for SR16 og avstand til vei for kollene. Alle maskinlæringsprosessene inneholdt i tillegg kovariatene størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, andel jordbruksareal, andel skog, oppholdstid og gjenbesøk. Kolonnene viser observert status for kollene i testdatasettet, og totalt antall koller estimert som med og uten kalv (sum). Radene viser antall koller med og uten kalv estimert av maskinlæringen. Tabellen viser stor variasjon for de ulike kovariatsammensetningene.

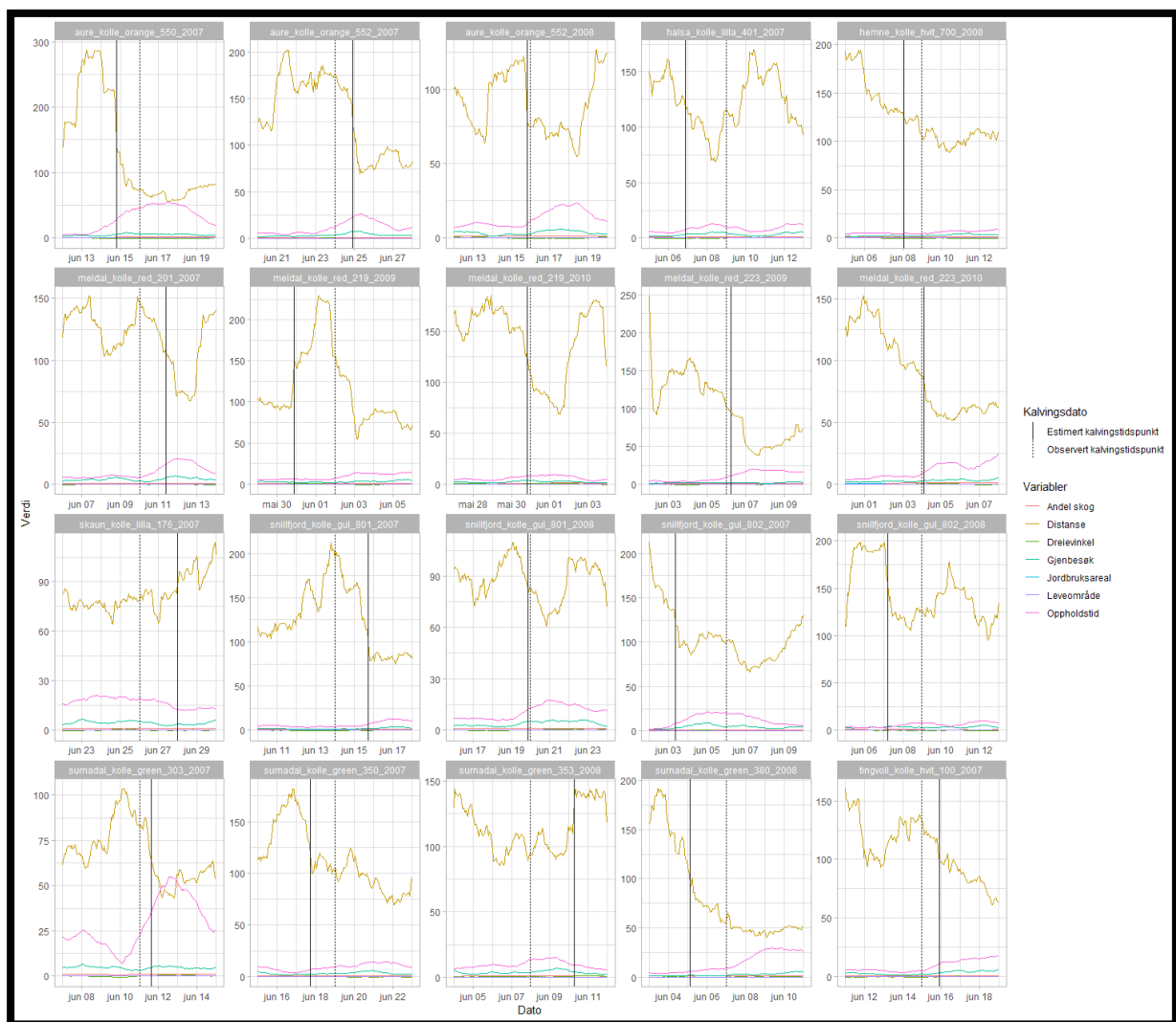
<b>Ikke-skalert</b>					<b>Skalert</b>				
<b>SR16 og vei</b>					<b>SR16 og vei</b>				
	Observert					Observert			
Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum	Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum
Ikke kalv	4	66	191	261	Ikke kalv	4	66	202	272
Kalv	0	4	18	22	Kalv	0	4	7	11
<b>Ikke SR16 og vei</b>					<b>Ikke SR16 og vei</b>				
	Observert					Observert			
Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum	Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum
Ikke kalv	3	21	52	76	Ikke kalv	3	49	158	210
Kalv	1	49	157	207	Kalv	1	21	51	73
<b>Ikke SR16 og ikke vei</b>					<b>Ikke SR16 og ikke vei</b>				
	Observert					Observert			
Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum	Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum
Ikke kalv	1	11	27	39	Ikke kalv	1	40	112	153
Kalv	3	59	182	244	Kalv	3	30	97	130
<b>SR16 og ikke vei</b>					<b>SR16 og ikke vei</b>				
	Observert					Observert			
Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum	Estimert	Ikke kalv	Kalv	Ukjent	Sum
Ikke kalv	4	64	193	261	Ikke kalv	3	64	182	249
Kalv	0	6	16	22	Kalv	1	6	27	34

Tabell 3. Prosentandeler for estimert kalvingsstatus fra maskinlæringen og observert kalvingsstatus for ulike kombinasjoner av skalering, kovariater for SR16 og avstand til vei for kollene. Alle maskinlæringsprosessene inneholdt i tillegg kovariatene størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, andel jordbruksareal, andel skog, oppholdstid og gjenbesøk. Kolonnene viser de ulike kombinasjonene for kovariatene. Radene viser prosentandeler (rundet av til nærmeste heltall) for kollene: andel korrekt klassifisert med og uten kalv, andel totalt korrekt klassifisert, og andel estimert kalvende. Prosentandelene varierer mye for de ulike kovariatsammensetningene.

	Ikke-skalert				Skalert			
	SR16 og vei	Ikke SR16 og vei	Ikke SR16 og ikke vei	SR16 og ikke vei	SR16 og vei	Ikke SR16 og vei	Ikke SR16 og ikke vei	SR16 og ikke vei
Andel korrekt klassifisert med kalv	6%	70%	85%	9%	6%	30%	43%	9%
Andel korrekt klassifisert uten kalv	100%	75%	25%	100%	100%	75%	25%	75%
Totalt korrekt klassifisert	11%	70%	81%	14%	11%	32%	42%	12%
Andel estimert kalvende	8%	73%	86%	8%	4%	26%	46%	12%

Det er en stor spredning av korrekt estimert kalvingsstatus for de ulike sammensetningene (Tabell 2, Tabell 3). Generelt kan det observeres at ikke-skalerte kovariater estimerte kalvingsstatus for koller med observert kalvingsstatus mer nøyaktig enn skalerte kovariater (Tabell 2, Tabell 3). For ikke-skalerte kovariater varierte korrekt estimert kalvingsstatus fra 11%-81%, men for skalerte kovariater varierte det fra 11%-42% (Tabell 2, Tabell 3). Uten SR16 og uten avstand til vei estimerte kalvingsstatus «ikke kalv» dårligst (Tabell 2, Tabell 3). SR16 estimerte kalvingsstatus «kalv» dårligst (Tabell 2, Tabell 3). For sammensetningen for ikke-skalerte kovariater uten SR16 og uten avstand til vei, var det 85% av kollene som kalvet der kalvingsstatus var korrekt estimert, og 81% av kollene hadde korrekt estimert kalvingsstatus (Tabell 2, Tabell 3).

De fleste kombinasjoner av kovariatsammensetning og skalering ga en ganske lav andel kalvende koller, noe som ikke er sannsynlig. Det var høyest antall koller estimert som kalvende der SR16 ikke var inkludert (Tabell 2, Tabell 3). Fjerning av avstand til vei ga også noe lavere andel koller estimert som kalvende (Tabell 2, Tabell 3). Ikke-skalerte kovariater uten SR16 og uten avstand til vei ga resultater for maskinlæringen som ligger tette opp mot sannsynlig fordeling av kalv/ikke kalv blant kollene (86% klassifisert som kalvende) (Langvatn et al., 2004), og estimerte kalvingsstatus bedre (81% korrekt estimert kalvingsstatus), men kun 25% av ikke-kalvende koller hadde riktig estimert kalvingsstatus (Tabell 2, Tabell 3).

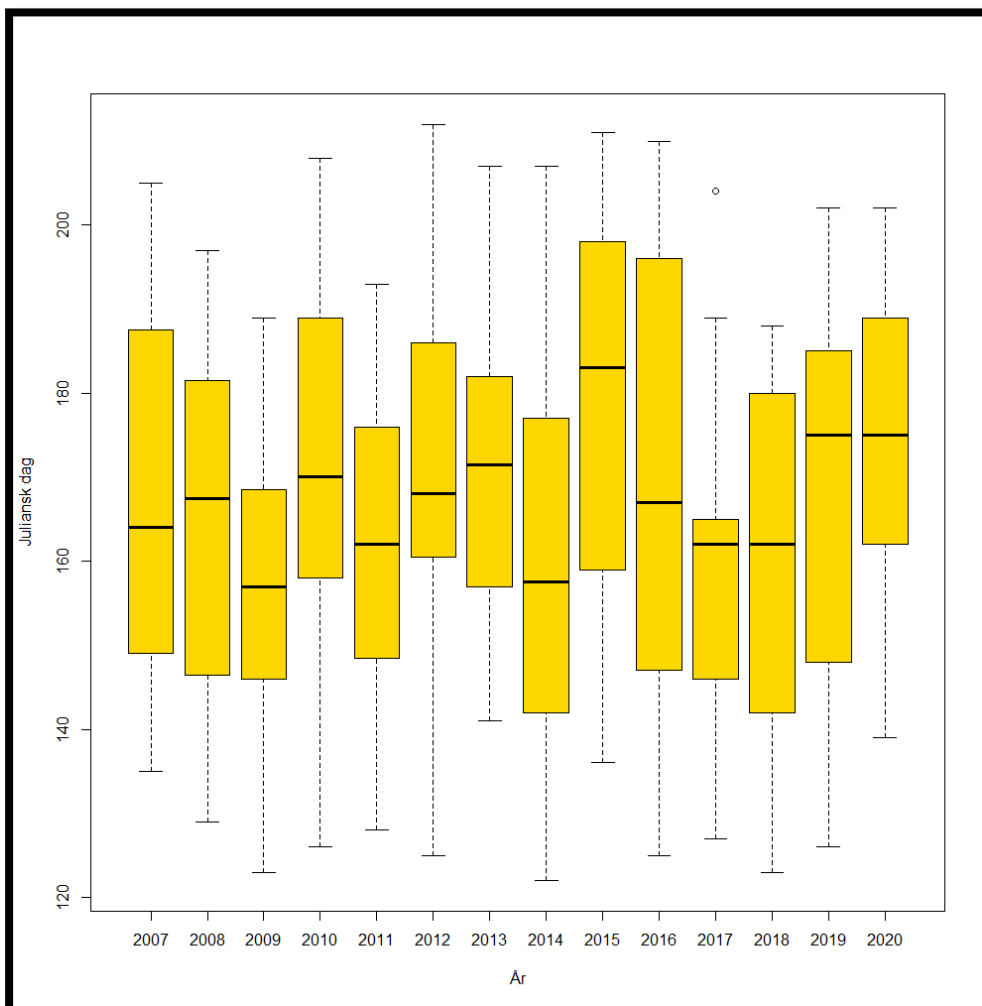


Figur 7. Endringspunktanalyse grafer med de valgte ikke-skalerte kovariater for kollene med observert kalvingstidspunkt. Øverst for hver graf står navnet for tilhørende kolle. Y-aksen viser verdier for ulike landskapskovariater, habitatkarakteristikker og bevegelse beregninger. X-aksen viser dato. Den heltrukne vertikale linjen viser observert kalvingstidspunkt påvist av observert kalvingsstatus. Kalvingstidspunkt estimert fra kovariatene er den stiplede vertikale linja.

#### Kalving som respons av tid og bestandstetthet

Jeg brukte de estimerte kalvingstidspunktene fra maskinlæringsprosessen som inneholdt kovariatene (størrelse på leveområde, tilbakelagt distanse, dreievinkel mellom påfølgende punkter, andel jordbruksareal, andel skog, oppholdstid og gjenbesøk) for å undersøke tidstrender og effekter av bestandstetthet på kalvingstidspunkt. Det var ingen signifikant

sammenheng mellom kalvingsstatus og bestandstetthet eller endring i kalvingsstatus over tid (Tabell 4). Jeg fant heller ingen signifikant endring i kalvingstidspunkt for kollene over tid, og heller ingen effekt av bestandstetthet (Tabell 5). Estimert kalvingstidspunkt fra maskinlæringen viste en stor spredning fra 2. mai til 30. juli (Figur 8). Det måles en forsinkelse som er cirka 10 dager fra gjennomsnittsdatoen i 2007 og til 2020 (Figur 8). Dette viser en senere kalvingstidspunkt over flere år, men på grunn av den store spredningen av kalvingstidspunkt innen år, og stor variasjon mellom år, er sammenhengene svake.



Figur 8. Observerer hvordan estimert kalvingstidspunkt (målt i juliansk dag) fra maskinlæring varierer over tid, fremstilt i et boksplott. Juliansk dag er respons og år er prediktor.

Tabell 4. Koeffisientene fra logistisk regresjonsmodell der kalvingsstatus (kalv eller ikke kalv) er respons, og med årstall og bestandstetthet som prediktorer. Kolonnene viser estimat, standardfeil, z-verdi og p-verdi.

Parameter	Estimat	SE	z-verdi	p-verdi
Skjæringspunkt	- 55,72005	98,96607	- 0,563	0,573
År	0,02874	0,04922	0,584	0,559
Bestandstetthet	-0,21393	0,30270	- 0,707	0,480

Tabell 5. Koeffisientene for en lineær modell der juliensk dag for kalvingstidspunkt er responsen, og bestandstetthet og årstall er prediktorer. Kolonnene viser estimat, standardfeil, t-verdi og p-verdi.

Parameter	Estimat	SE	t-verdi	p-verdi
Skjæringspunkt	- 481,8393	827,6556	- 0,582	0,561
År	3,0815	2,5345	1,216	0,225
Bestandstetthet	0,3202	0,4115	0,778	0,437

## Diskusjon

I dette studiet har jeg prøvd ut ulike metoder for å estimere kalving for hjort i Norge basert på GPS-posisjoner, sett i sammenheng med bestandstetthet og om tidspunktet har endret seg over tid. Metodene hadde ikke vært mulig å utføre hvis ikke det var for individbaserte posisjonsdata data fra GPS-halsbånd (Cagnacci et al., 2010; Marchand et al., 2021), og metoder for gjenkjenning av kalving på grunn av endret atferd (DeMars et al., 2013; Marchand et al., 2021). Den ene metoden som ble benyttet i dette studiet (Metode 2), viste en stor variasjon i klassifisering av kalvingsstatus og andel estimert som kalvende, gitt ulike kovariater og skalering (Tabell 2, Tabell 3). Kun 81% av kollene hadde korrekt estimert kalvingsstatus i den beste maskinlæringen (Tabell 2, Tabell 3), som er noe lavere enn andre studier (DeMars et al., 2013; Marchand et al., 2021; Mueller et al., 2022). I tillegg ble 86% av kollene



estimert som kalvende (Tabell 2, Tabell 3), som er noe avvikende fra forventningen om at de fleste voksne koller kalver (Langvatn et al., 2004). Basert på estimert kalvingstidspunkt for 244 kalvingshendelser var det ingen klare trender i kalvingstidspunkt eller kalvingsstatus over tid, eller med bestandstetthet (Figur 8, Tabell 4, Tabell 5). Den manglende sammenhengen for kalvingsstatus og -tidspunkt med bestandstetthet og år må derfor tolkes med varsomhet, og hypotesene om senere kalvingstidspunkt ved høy bestandstetthet eller tidligere kalving (f.eks. grunnet klimaendringer) bør undersøkes videre. Det behøves utbedring av maskinlæring for bedre estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt.

#### Ulike metoder for å beregne kalvingstidspunkt og -status

I dette studiet ble to ulike metoder testet ut for å benytte GPS-posisjoner for estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt hos hjort. Metode 1 tok i bruk GAM til å analysere avstand mellom påfølgende GPS-posisjoner, for estimering av kalvingstidspunkt. Kalvingstidspunktet kunne estimeres for kun 56% av kollene. Noen av de uklare resultatene kan skyldes at steglengden til hjort ikke endres tilstrekkelig rundt kalving, og for lite GPS-data eller full fleksibilitet for juliensk dag (flere bunnpunkter på GAM). Den lave andelen av koller der kalvingstidspunktet ble estimert, førte til at jeg valgte å utvide oppgaven med bruk av andre metoder.

Metode 2 basert på metodene benyttet av Marchand et al. (2021), fikk 86% av kollene ett estimert kalvingstidspunkt for den beste sammensetningen av kovariater (Tabell 2, Tabell 3). Ut fra mine resultater er det derfor grunn til å anta at metode 2 fungerte bedre for å estimere kalving, sammenlignet med metode 1.

### Forarbeid til analyser

For endringspunktanalysen ble det valgt et tidsvindu rundt estimert kalvingstidspunkt for koller med observert kalvingstidspunkt. Marchand et al. (2021) sitt optimale tidsvindu for rådyr var  $\pm 5$  dager, som er nært tidsvinduet på  $\pm 4$  dager som jeg valgte å bruke i mine analyser. Siden målet er å observere endringer rundt kalvingstidspunktet, er det derfor viktig å begrense tidsvinduet innenfor en periode der kalving oppdages med høyere sannsynlighet. Blir tidsvinduet for lite eller for stort kan det være vanskelig å oppdage en endring i atferd rundt kalvingen. Valg av tidsvindu kan påvirke resultatene fra endringspunktanalysen, som igjen kan påvirke resultatene man får ut av maskinlæringen.

Det kunne med fordel ha vært flere koller med observert kalvingstidspunkt i treningsdatasettet for å øke validiteten av studiet. Kun 20 hjort hadde observert kalvingstidspunkt i mitt studium. Andre studier har generelt hatt flere antall dyr med observert kalvingstidspunkt, f.eks. 73 wapiti (Berg et al., 2021), 70 rådyr og 29 muflon (*Ovis gmelini musimon*) (Marchand et al., 2021). I mitt testdatasett var det også kun 4 koller som ble observert uten kalv og fikk status som «ikke med kalv», som førte til en liten datamengde å trene på. Andre studier har også hatt høyere andel individer uten kalv å trene på, med henholdsvis 58 rådyr i Marchand et al. (2021) og 13 frittgående rein i Mueller et al. (2022), mens andre studier har hatt tilsvarende få individer i denne gruppen (f.eks. 3 muflon og 9 alpesteinbukk (*Capra ibex*) (Marchand et al., 2021)). Kollene med observert status som «ikke med kalv», kan også ha vært en feil observasjon. Det kan hende at kolla har fått kalv, men at dette ikke har blitt observert. Få koller med observert kalvingstidspunkt, få koller observert uten kalv og usikkerhet rundt observasjonene, kan ha ført til at maskinlæringen gir feil resultater ved estimering av kalvingsstatus og -tidspunkt.

Hjort i mitt studium hadde generelt et kortere tidsintervall mellom fiksering av posisjonsdata (målt hver time hele året) sammenliknet med andre studier. For eksempel hver sjettede time hos rådyr (Marchand et al., 2021), hver andre time hos muflon (Marchand et al., 2021), to-timers bevegelsesdata hver dag under kalvingsperioden for wapiti (Berg et al., 2021), seks-timers intervall for måling for de fleste rein (Mueller et al., 2022), og to-timers og fire-timers intervall for rein (DeMars et al., 2013). Siden perioden for atferdsendring rundt kalving kan være kort, er det viktig at GPS-posisjonene for kollene i mitt studium har blitt målt hver time gjennom hele døgnet. Slik høy frekvens på målingene gir et pålitelig bevegelsesbilde for hjort under kalvingsperioden. Tidsintervallet mellom målingene i min studie er derfor ikke en sannsynlig årsak til de svake sammenhengene mellom atferdsendringer målt ved GPS og observert kalvingstidspunkt fra analysene.

#### [Bruk av GPS data til å studere dyr](#)

Overvåking av kalving er utfordrende på grunn av den endrede atferden til hjortedyr under kalvingsperioden med begrenset bevegelse og oppholdelse i tett skog (Barbknecht et al., 2011; Berg et al., 2021; Marchand et al., 2021). Direkte observasjoner av hjort rundt kalving var viktig for å kunne observere kalvingstidspunkt. Tidligere måtte mottakeren være nær dyrets VHF-sender for å kunne triangulere posisjonen til dyret (Cagnacci et al., 2010). Dette førte til at forskeren måtte være i felt, som kunne forstyrre atferden til dyrene (Cagnacci et al., 2010). Forstyrrelser fra menneskelig fritidsaktiviteter kan føre til økt årvåkenhet og endret atferd hos hjorten (Jayakody et al., 2008). Den teknologiske utviklingen av GPS har gitt mange nye muligheter for overvåking av dyr, blant annet mindre direkte observasjoner i felt (Cagnacci et al., 2010). GPS bidrar til å kartlegge detaljer om bevegelsene til hjorten og kan vise interaksjonen med økosystemet (Cagnacci et al., 2010). Noen utfordringer som kan oppstå ved bruk av GPS er

batterilevetid, arkivminne og bevaring av dataintegritet (Cagnacci et al., 2010; Deon & Delparte, 2005; Graves & Waller, 2006). Positive utviklinger av GPS er blant annet en betydelig økning de siste årene av batterilevetid (Marchand et al., 2021). Nylig har det kommet flere metoder som gjør det mulig å sannsynliggjøre tidspunkt for kalving utfra GPS-data, grunnet en endret atferd under kalvingsperioden (DeMars et al., 2013; Marchand et al., 2021).

Under innhenting av data til mitt studium ble det gjort direkte observasjoner samtidig som hjorten var merket med GPS-halsbånd, men de var der minst mulig slik at forstyrrelsen ble minimal. Jeg antar derfor at forstyrrelser fra forskere i felt ikke har påvirket dataene av betydning for å estimere kalvingstidspunkt og -status. Kalvingstidspunkt ble i felt estimert ved vurdering av alder for kalven og atferd til kolla (se GPS-data og observasjon av kalving). Under estimeringen kan det ha oppstått feil, som videre kan få følgefeil for estimering av kalving under maskinlæringen. Sikrere metoder for estimering av kalving, kan gi en mer pålitelig observert kalving. Blodprøver av kolla kan gi sikrere observasjoner av kalving, fordi kalvingsstatus blir påvist (Berg et al., 2021; DeMars et al., 2013). Vaginale implantatsendere (VIT-sendere) sammen med GPS-sendere kan gi sikrere kalvingsstatus og -tidspunkt, ved gitt informasjon om posisjon og tidspunkt for kalving (Berg et al., 2021; Dion et al., 2019).

#### [Atferd og gjemmer-strategi](#)

For arter av hjortedyr skilles det mellom to strategier med hensyn på tilknytning mellom mor og kalv i en tidlig fase: følgere (rein) og gjemmere (rådyr, wapiti) (Barbknecht et al., 2011; Berg et al., 2021; Lent, 1974). Følgere er definert som arter der kalven følger moren umiddelbart etter kalving (Lent, 1974). En følger er i mer bevegelse enn en gjemmer, og tar i bruk et bredere leveområde, men med kalv vil bevegelsene og område

de beveger seg på bli redusert over en lenger tidsperiode (Lent, 1974). Gjemmere går i skjul etter kalving og bruker lengre tid før de følger moren (Berg et al., 2021; Lent, 1974; Marchand et al., 2021). Gjemmere er mer begrenset fordi moren må besøke kalven ofte etter kalving for omsorg og pleie (f.eks. diegiving), og er i mindre bevegelse og er mer begrenset til et mindre område etter kalving (Berg et al., 2021; Lent, 1974; Marchand et al., 2021). Derfor vil kovariatene gjenbesøk kunne ha en høyere verdi hos gjemmere sammenlignet med følgere.

Atferdsendringer for strategiene fører til typiske bevegelsesmønstre under kalving for henholdsvis gjemmer- og følger-strategi. Hjortekalven gjemmer seg den første uka og deretter følger den etter moren (Espmark & Langvatn, 1985; Lent, 1974). Resultatene fra min analyse samsvarer med typisk atferd for gjemmer-strategi, der det f.eks. viste trender på økning av kovariatene oppholdstid, gjenbesøk, samt mindre dreievinkel mellom påfølgende punkter rundt kalving (Figur 7). Denne atferden var likevel ikke konsistent nok til å gi sikker klassifisering.

Fra maskinlæringen ga ulike kombinasjoner av kovariat-sammensetningene og skalering lav andel av koller estimert som kalvende (Tabell 2, Tabell 3). Et slikt resultat er en indikasjon på at metoden ikke fungerte, da det er en unormal lav andel kalvende koller (Langvatn et al., 2004). De ulike sammensetningene ga et stort sprik i andel koller estimert som kalvende (4%-86%, Tabell 2, Tabell 3). Det er usannsynlig at endring i sammensetning for kovariater vil gi så ulike resultater. Ikke-skalerte kovariater uten SR16 og uten avstand til vei, hadde høyest antall koller estimert med kalv (86%, Tabell 2, Tabell 3). Det er forventet at de fleste voksne koller vil kalve (Langvatn et al., 2004), 86% er derfor noe lavere enn forventet. Denne sammensetningen hadde også høyest antall koller med korrekt estimert kalvingsstatus (81%, Tabell 2, Tabell 3), og var derfor den sammensetningen som hadde lavest feilrate og ble valgt å bruke. De ulike sammensetningene av kovariater ga variabelt resultat for

korrekt estimert kalvingsstatus (11%-81%, Tabell 2, Tabell 3). En så stor variasjon av korrekt estimert kalvingsstatus ut ifra ulike sammensetninger av kovariater virker usannsynlig.

I Marchand et al. (2021) hadde rådyr kun 76% korrekt estimert kalvestatus (nøyaktighet), 71 % andel av kalvende som er korrekt identifisert (sensitivitet), og 79% der andel av ikke-kalvende er korrekt identifisert (spesifisitet). Rådyr klassifiseres som gjemmere, og siden hjort er gjemmere den første uka i livet (Lent, 1974), kan hjortens atferd i mitt studium sammenliknes med rådyrene i studiet til Marchand et al. (2021). Andre dyr har generelt god estimering for fødsel. For muflon (følger) var nøyaktigheten 89%, sensitiviteten 92% og spesifisiteten 66% (Marchand et al., 2021). For wapiti (gjemmer) i Berg et al. (2021) var gjennomsnittlig antall dager forskjell mellom estimert dato og observert dato  $-1,43 \pm 0,85$  (standardfeil). I Mueller et al. (2022) sitt studie var det 85% nøyaktighet for rett estimert kalvingshendelser for frittgående rein (følger), mens i DeMars et al. (2013) sin studie estimerte begge de benyttede metodene kalving for rein med nær nøyaktighet  $>97\%$ , og estimerte nær observert kalvingstidspunkt.

Forskjeller mellom arter som har ulike strategier kan påvirke nøyaktigheten for GPS-metoden. For gjemmere er perioden rett etter kalving (en kort periode med gjensidig stimulering og intensiv kontakt) kortere enn for følgere (Lent, 1974), som fører til at det kan være vanskeligere å detektere kalvingshendelser sammenlignet med følgere. Dette kan forklare hvorfor det var vanskelig å beregne kalvingsstatus hos hjort i mitt studium. Man kan derimot anta at rein (følgere) har sterkt signal da de beveger seg mye før kalving, mens de etter kalving begrenses av at kalven må følge med (Lent, 1974). Enkle metoder fungerte bra for å estimere kalving for rein (DeMars et al., 2013; Mueller

et al., 2022), imidlertid fungerte enkle metoder dårligere til å estimere kalving for hjort i mitt studium.

Selv om hjortedyr generelt endrer atferd rundt kalving, er det lite konkret kunnskap om hvilke indekser på atferd målt med GPS som fungerer best for å identifisere kalving for ulike arter. Det er mulig at andre kombinasjoner av kovariater kan føre til et mer konsistent resultat for å estimere kalvingsstatus og -tidspunktet. Både kovariatene som brukes i mine analyser og andre kovariater burde prøves ut i senere studier. Andre kovariater som kan vurderes er sensorer som måler aktivitet fra ulike bevegelser, som bevegelse fra side til side og frem og tilbake (Marchand et al., 2021). Disse bevegelsene kan kombineres til en aktivitetsindeks (kombinasjon av frem og tilbake sensor og fra side til side sensor), og kan også brukes som kovariat. Disse kovariatene ble brukt for estimering av kalvingstidspunkt for rådyr i Marchand et al. (2021). For hjort kunne det da vært mulig å studert om aktivitetsmønsteret endret seg under kalvingen, eller en uke etter estimert kalving, fordi de er kun gjemmer den første uken (Lent, 1974).

#### Trender i kalving over tid

To faktorer bestemmer i hovedsak kalvingstidspunkt: tiden for unnfangelse og lengde på drektighetsperiode, som ofte er arts-spesifikk, og kan ha større påvirkning på kalvingstidspunkt enn vårphenologien til planter (Mysterud et al., 2009). En relativt synkron brunstperiode og kalvingsperiode (Gaillard et al., 1993; Linnell & Andersen, 1998), sammen med den sesongbegrensede tilgangen til høykvalitetsbeite i nordlige breddegrader (Langvatn et al., 2004), gjør også at kalvingen vil være synkronisert innenfor samme tidsrom (Langvatn et al., 2004). Dette vil si at det ikke ventes å være et stort spenn i kalvingstidspunkt for kollene. Resultatene mine viste et stort spenn for kalvingstidspunkt, fra 2. mai til 30. juli (Figur 8). Denne spredningen tilsvarer nesten nøyaktig

begrensningen som var satt i analysene for kalvingsperiode (1. mai-31. juli), og er en del større enn spredningen for observert kalvingstidspunkt (26. mai-9. juli). Dette er langt ifra å fange opp det korrekte kalvingstidspunktet for hver kolle. For andre studier er det mindre spredning for kalvingstidspunkt, for eksempel wapiti 8. mai-11. juli (Berg et al., 2021), wapiti 17. mai-11. juni og 22. mai-20. juli (Barbknecht et al., 2011), hjort 4. mai-10. juni og 31. mai-22. juli (Loe et al., 2005). Det er derfor større spredning enn forventet for kalvingstidspunkt i mitt studium, som understøtter at metoden ikke fungerte optimalt. Videre kan dette være årsaken til manglende trend for endring i respons for kalvingstidspunkt ved ulike år og bestandstetthet (Figur 8, Tabell 5).

Det var ingen tydelige mønstre for kalvingstidspunkt eller kalvingsstatus som trend over år, eller med endringer i bestandstetthet (Figur 8, Tabell 4, Tabell 5). Studier har vist trender for senere kalvingsperiode med endring i tid (Nussey et al., 2005; Peláez et al., 2020), mens andre har vist en trend for tidligere kalvingsperiode med endring i tid (Danielsen, 2016; Hagen et al., 2021). Studiet til Langvatn et al. (2004) viste senere brunst ved økende bestandstetthet.



## Konklusjon

Mitt studium viser at det kan være utfordrende å estimere kalvingsstatus og -tidspunkt for hjort ved bruk av posisjonsdata fra GPS-halsbånd. Metoden viste stor variasjon i treffsikkerhet og var sensitive for valg av skalering og inkludering av kovariater. For dyr med gjemmer-strategi virker det som at det er vanskeligere å estimere kalving enn for dyr med følger-strategi. Jeg anbefaler derfor at ulike kombinasjoner av kovariater på atferd blir undersøkt for gjemmere. Ved bruk av ulike typer kovariater, og flere koller med observert kalvingsstatus (spesielt de som ikke har kalv) og kalvingstidspunkt, kan det forbedre maskinlæringen. Det kreves lang tid å finne den «perfekte» modellen. Det er behov for metoder som er bedre utviklet og undersøkt, for å kunne forske på klimaendringenes innvirkning på kalvingstidspunkt og bestandstetthet hos hjort. Dette er et viktig tema å studere i fremtiden, da det kan bidra til å avdekke hvordan klimaendringene påvirker hjortens livssyklus samt oppdage mulige mismatches som kan føre til blant annet redusert overlevelse og betydelige bestandsnedganger.

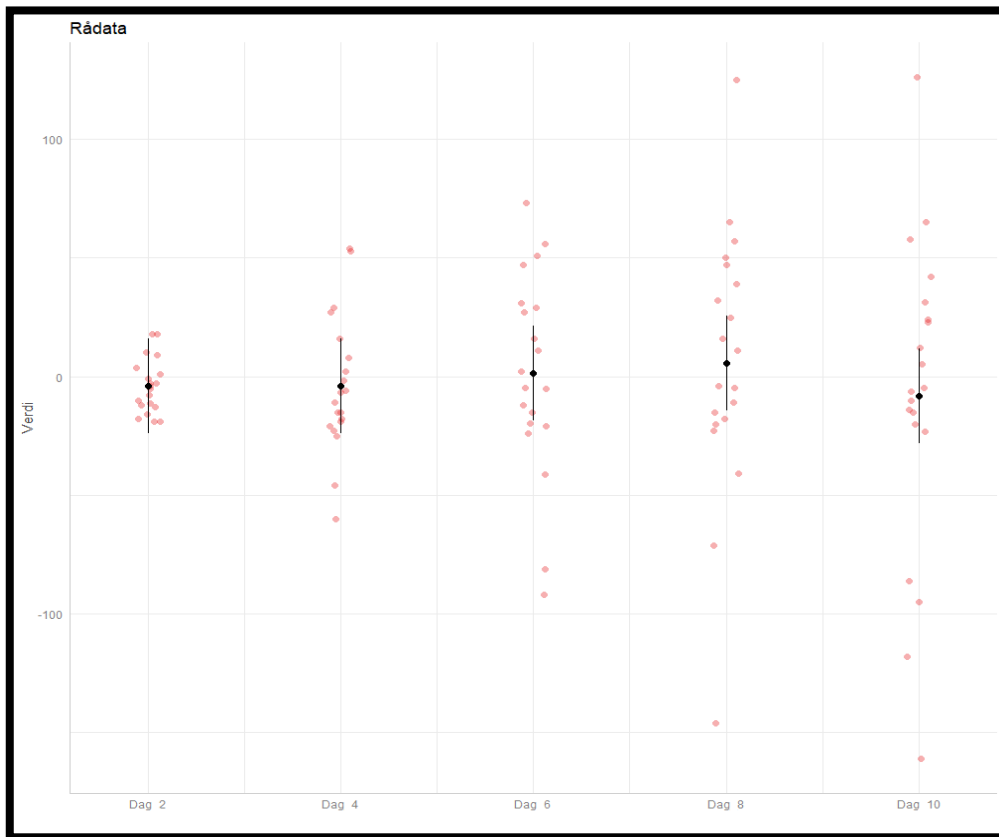
## Litteraturliste

- Archer, E. (2022). rfPermute: Estimate permutation p-values for random forest importance metrics. <https://CRAN.R-project.org/package=rfPermute>
- Astrup, R., Rahlf, J., Bjørkelo, K., Debella-Gilo, M., Gjertsen, A.-K., & Breidenbach, J. (2019). Forest information at multiple scales: development, evaluation and application of the Norwegian forest resources map SR16. *Scandinavian Journal of Forest Research*, *34*, 484-496. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1588989>
- Barbknecht, A., Fairbanks, W., Rogerson, J., Maichak, E., Scurlock, B., & Meadows, L. (2011). Elk parturition site selection at local and landscape scales. *Journal of Wildlife Management*, *75*, 646-654. <https://doi.org/10.1002/jwmg.100>
- Berg, J. E., Reimer, J., Smolko, P., Bohm, H., Hebblewhite, M., & Merrill, E. H. (2021). Mothers' movements: shifts in calving area selection by partially migratory elk. *Journal of Wildlife Management*, *85*, 1476-1489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jwmg.22099>
- Bischof, R., Loe, L. E., Meisingset, E. L., Zimmermann, B., Van Moorter, B., & Mysterud, A. (2012). A migratory northern ungulate in the pursuit of spring: jumping or surfing the green wave? *The American Naturalist*, *180*, 407-424. <https://doi.org/10.1086/667590>
- Cagnacci, F., Boitani, L., Powell, R. A., & Boyce, M. S. (2010). Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *365*, 2157-2162. <https://doi.org/doi:10.1098/rstb.2010.0107>
- Calenge, C. (2006). The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, *197*, 516-519. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017>
- Coulson, T., Kruuk, L. E. B., Tavecchia, G., Pemberton, J. M., & Clutton-Brock, T. H. (2003). Estimating selection on neonatal traits in red deer using elasticity path analysis. *Evolution*, *57*, 2879-2892. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb01528.x>
- Couriot, O. H., Cameron, M. D., Joly, K., Adamczewski, J., Campbell, M. W., Davison, T., Gunn, A., Kelly, A. P., Leblond, M., Williams, J., Fagan, W. F., Brose, A., & Gurarie, E. (2023). Continental synchrony and local responses: Climatic effects on spatiotemporal patterns of calving in a social ungulate. *Ecosphere*, *14*, e4399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecs2.4399>
- Danielsen, P. (2016). Climate trends, weather fluctuations and calving phenology in Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). In T. H. Ringsby, B. Bremset Hansen, V. Veiberg, & Ø. Varpe (Eds.): NTNU.
- Davidson, S. C., Bohrer, G., Gurarie, E., LaPoint, S., Mahoney, P. J., Boelman, N. T., Eitel, J. U. H., Prugh, L. R., Vierling, L. A., Jennewein, J., Grier, E., Couriot, O., Kelly, A. P., Meddens, A. J. H., Oliver, R. Y., Kays, R., Wikelski, M., Aarvak, T., Ackerman, J. T., . . . Hebblewhite, M. (2020). Ecological insights from three decades of animal movement tracking across a changing Arctic. *Science*, *370*, 712-715. <https://doi.org/doi:10.1126/science.abb7080>
- DeMars, C. A., Auger-Méthé, M., Schlägel, U. E., & Boutin, S. (2013). Inferring parturition and neonate survival from movement patterns of female ungulates: a case study using woodland caribou. *Ecology and Evolution*, *3*, 4149-4160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ece3.785>
- Deon, R., & Delparte, D. (2005). Effects of radio-collar position and orientation on GPS radio-collar performance, and the implications of PDOP in data screening: Effects of radio-collar position. *Journal of Applied Ecology*, *42*, 383-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01010.x>
- Dion, J., Haus, J., Rogerson, J., & Bowman, J. (2019). An initial performance review of vaginal implant transmitters paired with GPS collars. *Animal Biotelemetry*, *7*. <https://doi.org/10.1186/s40317-019-0184-4>
- Doiron, M., Gauthier, G., & Lévesque, E. (2015). Trophic mismatch and its effects on the growth of young in an Arctic herbivore. *Global Change Biology*, *21*, 4364-4376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.13057>

- Espmark, Y., & Langvatn, R. (1985). Development and habituation of cardiac and behavioral responses in young red deer calves (*Cervus elaphus*) exposed to alarm stimuli. *Journal of Mammalogy*, *66*, 702-711. <https://doi.org/10.2307/1380796>
- Gaillard, J. M., Delorme, D., Jullien, J. M., & Tatin, D. (1993). Timing and synchrony of births in roe deer. *Journal of Mammalogy*, *74*, 738-744. <https://doi.org/10.2307/1382296>
- Graves, T. A., & Waller, J. S. (2006). Understanding the causes of missed global positioning system telemetry fixes. *Journal of Wildlife Management*, *70*, 844-851. <http://www.jstor.org.ezproxy.uio.no/stable/3803440>
- Hagen, R., Ortmann, S., Elliger, A., & Arnold, J. (2021). Advanced roe deer (*Capreolus capreolus*) parturition date in response to climate change. *Ecosphere*, *12*, e03819. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecs2.3819>
- Howe, P. D. (2018). Perceptions of seasonal weather are linked to beliefs about global climate change: evidence from Norway. *Climatic Change*, *148*, 467-480. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2210-6>
- James, N. A., & Matteson, D. S. (2015). ecp: An R package for nonparametric multiple change point analysis of multivariate data. *Journal of Statistical Software*, *62*, 1 - 25. <https://doi.org/10.18637/jss.v062.i07>
- Jayakody, S., Sibbald, A. M., Gordon, I. J., & Lambin, X. (2008). Red deer *Cervus elephus* vigilance behaviour differs with habitat and type of human disturbance. *Wildlife Biology*, *14*, 81-91. [https://doi.org/https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2008\)14\[81:RDCEVB\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.2981/0909-6396(2008)14[81:RDCEVB]2.0.CO;2)
- Langvatn, R., Albon, S. D., Burkey, T., & Clutton-Brock, T. H. (1996). Climate, plant phenology and variation in age of first reproduction in a temperate herbivore. *Journal of Animal Ecology*, *65*, 653-670. <https://doi.org/10.2307/5744>
- Langvatn, R., Mysterud, A., Stenseth, N. C., & Yoccoz, N. G. (2004). Timing and synchrony of ovulation in red deer constrained by short northern summers. *The American Naturalist*, *163*, 763-772. <https://doi.org/10.1086/383594>
- Lent, P. C. (1974). Mother-infant relationships in ungulates. In G. V & W. F (Eds.), *The behaviour of ungulates and its relation to management* (pp. 14-55). International Union for Conservation of Nature, Morges, Switzerland.
- Linnell, J. D. C., & Andersen, R. (1998). Timing and synchrony of birth in a hider species, the roe deer *Capreolus capreolus*. *Journal of Zoology*, *244*, 497-504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1998.tb00055.x>
- Loe, L. E., Bonenfant, C., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Langvatn, R., Klein, F., Calenge, C., Ergon, T., Pettorelli, N., & Stenseth, N. C. (2005). Climate predictability and breeding phenology in red deer: timing and synchrony of rutting and calving in Norway and France. *Journal of Animal Ecology*, *74*, 579-588. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00987.x>
- Loison, A., Langvatn, R., & Solberg, E. J. (1999). Body mass and winter mortality in red deer calves: disentangling sex and climate effects. *Ecography (Copenhagen)*, *22*, 20-30. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb00451.x>
- Lüdecke, D. (2018). ggffects: Tidy data frames of marginal effects from regression models. *Journal of Open Source Software*, *3*. <https://doi.org/10.21105/joss.00772>
- Marchand, P., Garel, M., Morellet, N., Benoit, L., Chaval, Y., Itty, C., Petit, E., Cargnelutti, B., Hewison, A. J. M., & Loison, A. (2021). A standardised biologging approach to infer parturition: An application in large herbivores across the hider-follower continuum. *Methods in Ecology and Evolution*, *12*, 1017-1030. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/2041-210X.13584>
- Matteson, D. S., & James, N. A. (2014). A nonparametric approach for multiple change point analysis of multivariate data. *Journal of the American Statistical Association*, *109*, 334-345. <https://doi.org/10.1080/01621459.2013.849605>
- Mohr, A. S., Ewanyk, J., Hardy, O., Windsor, J., Zulliger, E., Hilson, C., Gunther, M. S., & Bean, W. T. (2022). A multi-metric movement model for identifying elk parturition events. *Wildlife Society Bulletin*, *46*, e1256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wsb.1256>

- Mueller, M., Johnson, C. J., & McNay, R. S. (2022). Influence of maternity penning on the success and timing of parturition by mountain caribou (*Rangifer tarandus caribou*). *Canadian Journal of Zoology*, *100*, 548-560. <https://doi.org/10.1139/cjz-2021-0144>
- Mysterud, A., Langvatn, R., Meisingset, E. L., & Rivrud, I. M. (2022). Agricultural grasslands buffer density effects in red deer populations. *Journal of Wildlife Management*, *87*, e22357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jwmg.22357>
- Mysterud, A., Langvatn, R., Yoccoz, N. G., & Stenseth, N. C. (2002). Large-scale habitat variability, delayed density effects and red deer populations in Norway. *Journal of Animal Ecology*, *71*, 569-580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00622.x>
- Mysterud, A., Loe, L. E., Zimmermann, B., Bischof, R., Veiberg, V., & Meisingset, E. (2011). Partial migration in expanding red deer populations at northern latitudes – a role for density dependence? *Oikos*, *120*, 1817-1825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19439.x>
- Mysterud, A., Meisingset, E., Veiberg, V., Langvatn, R., Solberg, E. J., Loe, L. E., & Stenseth, N. C. (2007). Monitoring population size of red deer *Cervus Elaphus*: An evaluation of two types of census data from Norway. *Wildlife Biology*, *13*, 285-298. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[285:MPSORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[285:MPSORD]2.0.CO;2)
- Mysterud, A., Røed, K. H., Holand, Ø., Yoccoz, N. G., & Nieminen, M. (2009). Age-related gestation length adjustment in a large iteroparous mammal at northern latitude. *Journal of Animal Ecology*, *78*, 1002-1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01553.x>
- Neumann, W., Singh, N. J., Stenbacka, F., Malmsten, J., Wallin, K., Ball, J. P., & Ericsson, G. (2020). Divergence in parturition timing and vegetation onset in a large herbivore—differences along a latitudinal gradient. *Biology Letters*, *16*, 20200044. <https://doi.org/doi:10.1098/rsbl.2020.0044>
- Norsk Institutt for Bioøkonomi. (2023a). *AR50*. <https://nibio.no/tema/jord/arealressurser/ar50>
- Norsk Institutt for Bioøkonomi. (2023b). *Skogressurskart (SR16)*. <https://www.nibio.no/tema/skog/kart-over-skogressurser/skogressurskart-sr16>
- Nussey, D. H., Clutton-Brock, T. H., Elston, D. A., Albon, S. D., & Loeske, E. B. K. (2005). Phenotypic plasticity in a maternal trait in red deer. *Journal of Animal Ecology*, *74*, 387-396. <http://www.jstor.org/stable/3505627>
- Peláez, M., Gaillard, J.-M., Bollmann, K., Heurich, M., & Rehnus, M. (2020). Large-scale variation in birth timing and synchrony of a large herbivore along the latitudinal and altitudinal gradients. *Journal of Animal Ecology*, *89*, 1906-1917. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2656.13251>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* In (Version 4.1.2) R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Statens vegvesen. (2023). *Vegkart*. <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal-vegdatatabank/hente-ut-og-se-pa-data-i-nasjonal-vegdatatabank/kart/>
- Statistisk sentralbyrå. (2023). *Hjortejakt*. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/jakt/statistikk/hjortejakt>
- Visser, M. E., & Gienapp, P. (2019). Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat Ecol Evol*, *3*, 879-885. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0880-8>
- Wood, S. N. (2006). *Generalized Additive Models: an introduction with R*. CRC Press. <https://books.google.no/books?id=xhPNBQAAQBAJ>
- Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, *70*, 164-168. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1938423>

## Appendiks



Appendiks Figur A1. Forskjell mellom observert og estimert kalvingstidspunkt som respons (i timer) med 95% konfidensintervall for hvert tidsvindu. Her er de predikerte verdiene respons og tidsvinduene prediktor. Datapunktene viser «rådataene» i datasettet.