



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2025 45 stp
Fakultet for Miljøvitenskap og Naturforvaltning

Fra vintermodus til sommermodus – når ender vårknipa til svalbardreinen?

From Wintertime to Summertime – What Ends the
Hunger Gap for the Svalbard Reindeer?

Kristine Thujord

Master i naturforvaltning

Forord

Denne masteroppgava markerer avslutningen på fem år som student, hvor de to siste årene ble tilbrakt her på NMBU som masterstudent i naturforvaltning. Jeg kommer til å se tilbake på fem fantastiske år, fylt med mange nye erfaringer og vennskap som har vært med på å forme meg både faglig og personlig.

Jeg ønsker først og fremst å takke veileder Leif Egil Loe og medveileder Liv-Monica Trondrud for verdifull veiledning, konstruktive tilbakemeldinger og støtte gjennom hele prosjektperioden. Dere har vært uvurderlige når jeg har stått fast i analysene eller i skriveprosessen, men har samtidig gitt meg rom for å arbeide i mitt eget tempo, slik at jeg kan ta eierskap til oppgaven min.

En stor takk går også til Hannah Vickers og Steve Albon for tilgang til data og faglig støtte. Videre vil jeg takke Vemund Veiberg, Jenny Mattisson, og Marcus Fjeld Gran for en fantastisk tid på Svalbard. Til tross for lange dager i felt, var stemningen alltid god når vi kom fram til nattens camp.

Jeg setter stor pris på venner og familie som har hørt meg klage over oppgaven min, uten å forstå hva jeg snakket om. Takk for all mental støtte, og takk for at dere har lest igjennom og kommet med konstruktive tilbakemeldinger på oppgaven min før innlevering. Takk til alle som sitter på lesesalen på Sørhellinga. Takk for alle lunsjene, kakespisinga, klaginga og for at vi har stått sammen gjennom hele prosessen.

Til slutt ønsker jeg å takke hunden min Jago. Du har alltid vært der i både gode og vonde perioder gjennom studietiden min. Dessverre måtte jeg ta farvel med deg altfor tidlig. Takk for alt.

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

Mai 2025

Kristine Thujord

Sammendrag

Vårknipa er et begrep som brukes for å beskrive den tøffe perioden i overgangen fra vinter til vår. Det referer til den kritiske perioden hvor vinterens fettreserver nærmer seg oppbrukt samtidig som næringstilgangen enda er dårlig på grunn av manglende vegetasjonsvekst. Arter i Arktis har utviklet fysiologiske tilpasninger for å tåle den tøffe vinteren. Svalbardreinsdyr (*Ranigfer tarandus platyrhynchus*) regulerer blant annet energibruken ved å redusere aktivitetsnivået og senke hjerterefrekvensen om vinteren, noe som reduserer energibehovet når næringstilgangen er lav. Tidligere studier har vist at svalbardreinen har en markant økning i aktivitetsnivået omtrent når våren setter inn, men hva som påvirker når dette knekkpunktet skjer er ukjent.

I denne masteroppgaven undersøker jeg aktivitetsmønstre hos to populasjoner av svalbardreinsdyr som holder til i Ny-Ålesund og i Reindalen. Jeg bruker GPS data fra 238 individ-år fra Ny-Ålesund og 390 individ-år fra Reindalen. Disse dataene ble brukt for å se på om det er en geografisk variasjon i når aktivitetsnivået øker, samt hvordan aktivitetsnivået påvirkes av årlig variasjon i miljøvariabler som snøforhold, meteorologisk start for vår (temperatur) og veksts sesongens start, og til slutt individuelle variabler som vekt, drektighet og alder.

Resultatene viser en geografisk variasjon i tidspunktet for knekkpunktet. I gjennomsnitt kommer knekkpunktet 2,5 dager senere i Ny-Ålesund enn i Reindalen. Analysene av miljøforhold ble gjort med data fra Reindalen, og viser at temperatur er den beste forklaringen for tidspunktet til knekkpunktene. Også modellen basert på tidspunktet for når landskapet er 10% snøfritt ga gode resultater, og var sterkt konkurrerende med temperaturmodellen. Når det gjelder individuelle faktorer, hadde både drektighetsstatus og vekt signifikant effekt. Knekkpunktet inntreffer i gjennomsnitt 2,8 dager senere hos drektige simler. Hvis vekta til en simle øker med 5kg, vil knekkpunktet komme én dag senere. Det er en tydelig sammenheng mellom vekt og drektighet på simla, da tynge simler ofte er drektige.

Resultatene har praktisk betydning for forståelsen av svalbardreinens overlevelse og reproduksjon under krevende forhold. Dersom vårknipa inntreffer senere enn normalt, kan det få stor innvirkning på dyrenes helse og overlevelse. Studien viser at temperatur er en av de beste forklaringsvariablene for tidspunktet for knekkpunktet. Dette er særlig relevant fordi temperaturdata er lett tilgjengelig fra værstasjoner. Det gir forvaltningen en

enkel og konkret indikator på hvor krevende våren har vært for bestanden, noe som kan være nyttig ved vurdering av jaktkvoter og andre forvaltningstiltak. Funnene understreker viktigheten av å forstå hvordan både miljømessige og individuelle faktorer påvirker reinsdyrenes fysiologiske tilpasninger til klimaendringer. Dette er, så vidt jeg vet, det første studiet som systematisk undersøker hvordan slike variabler påvirker knekkpunktet i aktivitetsmønstre hos svalbardrein. Det gir viktige innsikter for fremtidig forvaltning og bevaring av arten i et klima som er under stadig forandring.

Abstract

The hunger gap is a term used to describe the challenging transition period between winter and spring. It refers to the critical phase when the fat reserves from the winter are nearly depleted while food availability remains low due to delayed vegetation growth. Arctic species have evolved physiological adaptations to endure the harsh winter. Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*) regulate their consumption by reducing activity levels and lowering heart rates during winter, thereby decreasing their energy requirements when food is scarce. Previous studies have shown that Svalbard reindeer experience a significant increase in activity around the onset of spring, but what determines the timing of this breakpoint remains unknown.

In this master's thesis, I will investigate activity patterns in two populations of Svalbard reindeer located in Ny-Ålesund and Reindalen. I used GPS data from 238 individual-years from Ny-Ålesund and 390 individual-years in Reindalen. These data were used to examine whether there is geographic variation in the timing of increased activity, and how the timing is influenced by annual variation in environmental variables such as snow conditions, meteorological spring (based on temperature), and the growing season onset, as well as individual variables like body mass, pregnancy status, and age.

The results show a geographic variation in the timing of the breakpoint. On average, the breakpoint occurs 2.5 days later in Ny-Ålesund than in Reindalen. Analyses of environmental factors were conducted using data from Reindalen and show that temperature is the best predictor of breakpoint timing. The model based on the date when the landscape is 10% snow-free also performed well and was strongly competitive compared to the temperature model. Regarding individual factors, both pregnancy status and body mass had significant effects. On average, the breakpoint occurred 2.8 days later in pregnant females. A 5 kg increase in body mass delayed the breakpoint by one day. There is a clear relation between body mass and pregnancy, as heavier females are more often pregnant.

The findings have practical implications for understanding the survival and reproduction of Svalbard reindeer under challenging conditions. If the hunger gap occurs later than usual, it may greatly impact the animals' health and survival. The study shows that temperature is one of the best predictors of breakpoint timing, which is particularly relevant because temperature data is readily available from weather stations. This

provides wildlife managers with a simple and concrete indicator of how difficult spring conditions have been for the population, which may be useful when assessing hunting quotas and other management measures. The findings emphasize the importance of understanding how both environmental and individual factors influence the reindeer's physiological adaptations to climate change. To my knowledge, this is the first study to systematically investigate how such variables affect the activity breakpoint seen in Svalbard reindeer. It provides important insights for future conservation and management of the species in a rapidly changing climate.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	II
Sammendrag.....	III
Abstract	V
1. Introduksjon.....	1
2. Metode.....	4
2.3.1 Feltarbeid	7
2.3.2 Aktivitetsdata fra GPS-halsbånd	8
2.4 Miljødata.....	8
2.4.1 Snødata	8
2.4.2 Meteorologisk start for vår	9
2.4.3 Vekstsesongens start	9
2.5 Bruk av kunstig intelligens (KI)	10
2.6 Statistiske analyser	10
2.6.1 Forberedende analyser	10
2.6.2 Segmentert regresjon (Piecewise regression).....	11
2.6.3 Lineære blandede modeller (Linear mixed effects models)	12
3. Resultater	13
3.1 Geografisk variasjon	13
3.2 Årlig variasjon	14
3.2.1 Korrelasjon mellom de årlige miljøvariablene	14
3.2.2 Hvilke miljøvariabler forklarer knekkpunkt best?	16
3.3 Individuell variasjon	18
4. Diskusjon	22
4.2 Årlig variasjon	24
4.3 Individuell variasjon	27
5. Konklusjon	30
6. Referanseliste.....	32
7. Vedlegg	37

1. Introduksjon

Arktiske økosystemer kjennetegnes ved sterke sesongvariasjoner, hvor lange og kalde vintre etterfølges av korte, men biologisk produktive somre. Denne sesongmessige variasjonen stiller store krav til artenes fysiologiske og atferdsmessige tilpasninger (Corlatti et al., 2013; Denryter et al., 2024; Gilg et al., 2012). Primærproduksjonen i Arktis er sterkt begrenset til en kort vekstsesong, og planteetende dyr er særlig sårbare for endringer i årstidsovergangene. Energibalansen og reproduktiv suksess for disse dyrene er tett knyttet til tilgjengeligheten av vegetasjon som de kan beite på i løpet av sommermånedene. Som et resultat må arktiske planteetende dyr tilpasse seg raske og kraftige sesongmessige endringer i miljøet (Gilg et al., 2012).

Et begrep som kan brukes for å forstå hvordan dyrene takler disse utfordringene, er «vårknipa». Begrepet er opprinnelig brukt i jordbruket for å beskrive perioden på senvinteren hvor vinterfôret er oppbrukt, men vekstsesongen ennå ikke har startet (Høeg, 1974). Vårknipa kan også benyttes til å beskrive en økologisk utfordring for planteetende dyr. Det refererer til den kritiske perioden når vinterens fettreserver er på vei til å bli oppbrukt, samtidig som næringstilgangen er dårlig, ettersom vekstsesongen ikke har startet. Dersom vinteren varer lenger enn normalt, kan dette bli en kritisk periode for dyrene som overvintrer, ettersom de risikerer å gå tom for energireserver før den nye vegetasjonen blir tilgjengelig.

For å tilpasse seg perioder med høy sesongvariasjon, har enkelte arter utviklet strategier for å håndtere energimangel, slik som under vårknipa. Bevegelsene deres er ofte drevet av behovet for å følge ressursene som endrer seg over tid og rom (Armstrong et al., 2016). Migrerende klovdyr forflytter seg synkront med når og hvor vegetasjonen vokser om våren, også kalt den grønne bølgen (Merkle et al., 2016). Både migrerende og ikke-migrerende klovdyr kan få like store beitefordeler, men bevegelsestaktikkene varierer. Migrerende dyr utnytter den grønne bølgen mer effektivt, mens ikke-migrerende arter tilpasser seg mer lokalt etter landskapet (Aikens et al., 2020). Bevegelsesmønstrene deres påvirkes av både tilgjengeligheten av mat og hvordan ressursene utvikler seg over tid og rom, noe som understreker viktigheten av å forstå ressursdynamikk (Aikens et al., 2020).

I områder med høye sesongvariasjoner har noen arter utviklet flere fysiologiske tilpasninger for å håndtere variasjonene i ressursene (Pedersen et al., 2015). Noen arter har utviklet en årlig syklus der aktivitet og fysiologiske prosesser er synkronisert med

sesongmessige variasjoner hvor de senker aktivitetsnivå på vinteren (Svalbardrein, *Rangifer tarandus platyrhynchus*, Arnold et al., 2018; Reinsdyr, *Rangifer tarandus*, Erriksson et al., 1981; Joly et al., 2025; Hjort, *Cervus elaphus*, Loudon, 1989). Andre eksempler på tilpasninger er sesongvariasjoner i metabolismehastigheter (Bighorn sheep, *Ovis canadensis*, Chappel & Hudson, 1978; Fugler, Smit & McKechnie, 2010), og tilpasninger i matanskaffelse og næringsopptak som fører til årlige sykluser i kroppsvekt og fettmasse (Denryter et al., 2024). For mange dyr i sesongmessige miljøer er lagring av kroppsfett spesielt viktig som en buffer mot matmangel, som ofte kan være kritisk for både overlevelse og reproduksjon (Rein og Caribou, *Rangifer tarandus granti*, Barboza & Parker, 2008; Hvithalehjort, *Odocoileus virginianus*, Mautz, 1978; Bighorn sheep, Smiley et al., 2022).

I tillegg til naturlige utfordringer, har klimaendringer allerede forårsaket omfattende endringer i Arktis (Descamps et al., 2017). Økende temperaturer, endringer i snødekke og flere ekstreme værhendelser, som «rain-on-snow» (ROS), påvirker dyrenes tilgang til vinterbeite. ROS-hendelser kan danne et islag over vegetasjonen, som gjør vinterbeite utilgjengelig for dyr som er avhengige av å grave etter mat i snøen (Albon et al., 2017; Peeters et al., 2019). Selv om mildere vintre kan være en fordel, kan ROS-forhold forsterke vårknipeeffekten ved å gjøre energimangelen verre før vekstsesongen starter. Slike endringer øker presset på planteetende dyr og tvinger dem til å tilpasse seg raskere i et stadig mer usikkert klima (Descamps et al., 2017).

Svalbardrein er en nøkkelart i det terrestriske økosystemet på Svalbard, og har utviklet flere tilpasninger til det ekstreme, sesongpregete arktiske miljøet. Arten regulerer blant annet energibruken ved å redusere aktivitetsnivået og senke hjerterfrekvensen i vinterperioden, noe som reduserer energibehovet når næringstilgangen er lav (Trondrud et al., 2021a). Fettlagrene som bygges opp i løpet av sommeren, spiller en avgjørende rolle for overlevelse i løpet av den lange vinteren, og er viktigere enn kroppsstørrelse for utholdenhet under faste (Trondrud et al., 2021b). Disse fysiologiske strategiene er nødvendige for å opprettholde energibalanse gjennom året, men gjør også dyrene sårbare dersom overgangen til sommeren forsinkes (Denryter et al., 2024).

Selv om bestanden har vist høy tilpasningsevne, vil tidspunktet for når våren ankommer være avgjørende for hvor raskt dyrene kan gjenoppta næringsinntak og bygge opp energireservene før kalving. Terrestrisk snødekke er en nøkkelvariabel som kontrollerer arktiske økosystemer (Pedersen et al., 2015). Variasjonen i snøsmelting er nært knyttet til

andre vårvariabler, og kan dermed ha betydning for tidspunktet for vårens ankomst. Variasjon i snøsmelting er ofte korrelert med NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), som er et mål på vegetasjonens grønnskap og tetthet (Pedersen et al., 2015). En forlenget vårknipetid kan dermed ha direkte konsekvenser for dyrenes kondisjon, reproduksjon og populasjonsdynamikk. I tillegg kan genetiske faktorer, påvirket av tidligere reintroduksjoner og naturlige rekoloniseringsprosesser, ha betydning for hvordan ulike delbestander responderer på miljøendringer (Burnett et al., 2023).

I oppgaven min vil jeg bruke aktivitetsdata fra 628 GPS-merka rein i to områder på Svalbard fra 2009 til 2023. Tidligere studier har vist at reinens aktivitetsnivå øker markant når våren setter inn (Arnold et al., 2018). Det er imidlertid fortsatt begrenset kunnskap om hvilke miljøfaktorer som styrer tidspunktet for denne raske økningen i aktivitetsmønsteret, som markerer slutten på vårknipa for reinen. Det er store geografiske forskjeller i snøsmelting på Svalbard. For eksempel smelter snøen senere i de snørike kystområdene i nord enn i de mer kontinentale innlandsområdene på Nordenskiöld Land (se klima.met.no). Jeg forventer at aktivitetsnivået hos reinen i Ny-Ålesund, som ligger lenger nord, vil endre seg senere enn i Reindalen, ettersom smeltingen av snø og klimaet vil variere mellom disse områdene. Jeg antar at reinen i Ny-Ålesund vil oppleve et senere skifte til sommermodus sammenlignet med reinen i Reindalen.

Videre vil jeg undersøke årlig variasjon i miljøfaktorene som påvirker aktivitetsnivået hos svalbardrein. I noen år kan Svalbard lufthavn være snøfri så tidlig som 7. mai (for eksempel i 2020), mens i andre år ligger snøen helt til 2. juni (som i 2021). Dette viser at smeltingstiden kan variere betydelig mellom år. Hva som styrer skiftet fra vintermodus til sommermodus for reinen er langt fra trivielt. De første varme dagene kan sette fart på smeltingen av snøen, men det er også mulig at en viss mengde snø må smelte bort før fjorårets visne og næringsfattige plantemateriale blir tilgjengelig. Det kan også hende at dette skjer først etter at våren virkelig har fått fotfeste og plantene begynner å spire. Jeg forventer at temperatur og snøforhold spiller en betydelig rolle i denne prosessen. Jeg antar at høyere temperaturer vil føre til mindre snø, noe som vil øke aktivitetsnivået hos reinen, ettersom de begynner å lete etter næringsrik vegetasjon når snøen smelter bort.

I tillegg vil jeg undersøke individuell variasjon i aktivitetsnivået hos svalbardrein. Det er usikkert hvordan faktorer som kroppsvekt, drektighet og alder vil påvirke reinenes aktivitetsmønster. Selv om svalbardreinens strategi er å tære på fettreserver gjennom vinteren, må så mye som to tredjedeler av energibehovet dekkes gjennom matinntak om

vinteren (Trondrud et al., 2021b). Jo mer tappet for fettreserver og nærmere sultedøden en rein er, desto mer avhengig er de av et konstant inntak av selv næringsfattig vinterføde for å komme gjennom vårknipa. På denne måten kan tidspunktet for vårknipa gi viktig informasjon om både årlig og individuell variasjon i næringssituasjonen hos svalbardrein i en periode da observasjoner i felt er svært vanskelig. Jeg forventer at tyngre dyr vil ha et senere knekkpunkt for aktivitetsnivået, ettersom de har større energireserver og bedre evne til å håndtere perioder med lavere næringstilgang. Tilsvarende vil lettere dyr trolig ha et tidligere knekkpunkt, ettersom de har et høyere behov for næring og derfor er mer avhengige av tidlig tilgang til beite (Denryter et al., 2024). Drektige simler forventes også å ha et tidligere knekkpunkt på grunn av det økte energibehovet knyttet til fosterutviklingen. Eldre og yngre dyr kan også ha et tidligere knekkpunkt, da de kan ha en redusert evne til å håndtere energikrevende perioder, og dermed vil de være mer avhengige av tidlig beiteopptak.

2. Metode

2.1 Studieområde

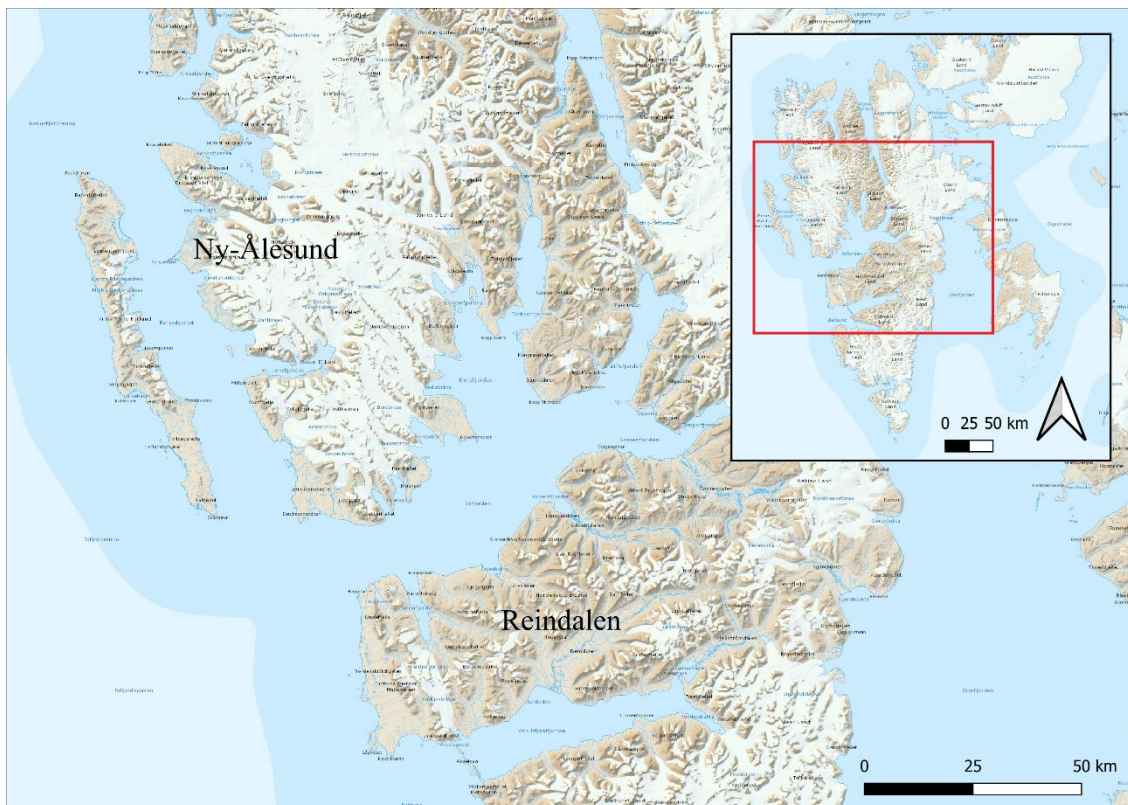
Studiet er gjennomført i to områder på Spitsbergen, Svalbard: Nordenskiöld Land og Oscar II Land. Svalbard er en arktisk øygruppe preget av høye fjell, dype fjorder og brede daler. Isbreer dekker omkring 61% av landoverflaten, mens kun 16% av arealet er dekket av vegetasjon (Johansen et al., 2012). Vegetasjonen forekommer hovedsakelig i lavere høyder, da det er lite plantevekst over 250 moh., selv om fjellene strekker seg over 1000 moh. (Loe et al., 2021). Klimaet er oceanisk, med høy luftfuktighet og milde temperaturer til tross for den nordlige beliggenheten (Johansen et al., 2012). Det arktiske økosystemet kjennetegnes av lav artsrikdom og enkle næringskjeder (Albon et al., 2017).

I Nordenskiöld Land (78°N, 15–16°Ø, ca. 150 km²) består studieområdet av de tre sammenhengende dalene Reindalen, Semmeldalen og Colesdalen, samt noen tilknyttede smådaler (Figur 1). Landskapet består av vide U-daler og et mangfold av habitattyper (Paulsen et al., 2021). Dalbunnene er dominert av myrsletter, våtmarker og fuktig mosetundra, mens de høyere delene av dalsidene består av lynghei og ulike typer mosetundra (Johansen et al., 2012; Paulsen et al., 2021). Heretter brukes Reindalen som felles betegnelse for studieområdet i Nordenskiöld Land.

Studieområdet i Oscar II land (78°N, 11–12°Ø, ca. 296 km²) inkluderer de tre adskilte områdene Brøggerhalvøya, Sarsøyra og Kaffiøyra (Figur 1). I motsetning til det sammenhengende landskapet i Nordenskiöld Land, er disse områdene fysisk adskilt av hav og tidevannsbreer (Paulsen et al., 2021). Landskapet er mer preget av flate kystsletter som brått stiger opp mot alpine fjell. Vegetasjonen består av lynghei, åpne rabbvegetasjonssamfunn og spredte flekker av ulike typer mosetundra (Johansen et al., 2012; Paulsen et al., 2021). Videre vil dette området omtales som Ny-Ålesund.

Til tross for geografiske forskjeller, er klimaet i de to studieområdene relativt likt. I perioden 2009-2024 var gjennomsnittstemperaturen i januar $-8,1^{\circ}\text{C} \pm 2,2$ i Ny-Ålesund (stasjonnr. SN99910), og $-8,4^{\circ}\text{C} \pm 2,5$ ved Svalbard Lufthavn (stasjonsnr. SN99840), som er stasjonen nærmest Reindalen. Sommeren er kjølig i begge områder, med juli-temperaturer på henholdsvis $6,5^{\circ}\text{C} \pm 0,7$ i Ny-Ålesund og $7,9^{\circ}\text{C} \pm 0,9$ på Svalbard Lufthavn (seklima.met.no). Studier har vist en lineær økning i temperaturen mellom 1994 og 2014, noe som indikerer en tydelig oppvarmingstrend (Albon et al., 2017).

Selv om temperaturen er relativt lik, varierer snøforholdene mellom områdene. Ny-Ålesund har generelt mer nedbør, og blir i gjennomsnitt snøfritt den 143. dagen i året, rundt 23. mai. I Reindalen skjer snøsmeltingen tidligere, og det blir normalt snøfritt rundt den 132. dagen i året, omtrent 12. mai (seklima.met.no).



Figur 1: Områdekart over Spitsbergen, Svalbard. Kartet viser de to studieområdene Ny-Ålesund og Reindalen. Kartet er laget i QGIS med kartlag hentet fra Norsk Polarinstitutt.

2.2 Studieart

Svalbardreinen er en unik underart av rein som kun finnes på Svalbard, og som er godt tilpasset til det arktiske miljøet der (Banfield, 1961; van der Knaap, 1989). Som det eneste store, planteetende pattedyret på øygruppen, har svalbardreinen vært til stede i over 5000 år (Pedersen et al., 2019). Arten finnes i dag på de fleste lokaliteter med tilgjengelig vegetasjon, og den totale bestanden er estimert til rundt 22 000 individer (Le Moullec et al., 2019; Pedersen et al., 2019). I motsetning til andre underarter av rein migrer ikke svalbardreinen, men den danner små, stedbundne grupper som ofte er seksuelt segregerte (Loe et al., 2006). På grunn av lite migrasjon og geografiske barrierer som fjorder og fjell, består bestanden av flere adskilte subpopulasjoner. Denne strukturen gir opphavet til en tydelig metapopulasjon med lokal variasjon i både økologi og genetikk (Burnett et al., 2023; Peeters et al., 2020).

Svalbardreinens økologi påvirkes i økende grad av klimaendringer og samspill med andre arter. Svalbardreinen har ingen naturlige predatorer (Derocher et al., 2000; Loe et al., 2006) selv om noe predasjon fra isbjørn kan forekomme (Stempniewicz et al., 2021). De

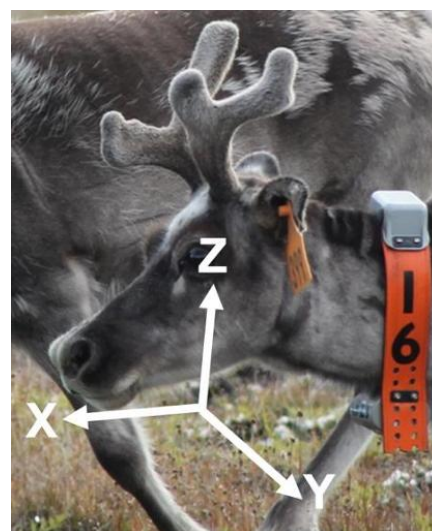
har ingen konkurrenter blant store planteetere (Albon et al., 2017), men er selv utsatt for miljøvariasjoner. Vekten til reinen varierer tydelig mellom årstidene, og voksne simler veier mellom 40-50 kg om vinteren og 60-70 kg om sommeren (Loe et al., 2006). Simlene har en drektighetsperiode på omtrent 230 dager, og kalvingen skjer vanligvis i begynnelsen av juni (Pedersen et al., 2019; Veiberg et al., 2017a). Samlet sett er artens livshistorietrekk tilpasset et tøft og variabelt arktisk miljø.

Svalbardreinenens diett og habitatbruk varierer både mellom årstider og geografiske områder. Om vinteren dominerer næringsfattige beiteplanter som gress, polarvier og moser, mens sommerdietten er mer variert og inkluderer urte- og myrplanter (Bjørkvoll et al., 2009). Beitepreferanse påvirkes også av snøforhold. I Reindalen foretrekkes vegetasjonsrike plantesamfunn i år med lite snø, mens i snørike vintre trekker reinen mot rabber og snøfrie områder (Loe, pers. komm.). I kystnære områder som i Ny-Ålesund er det observert individer som pendler mellom å beite på tang i strandlinjene og næringsrik vegetasjon i fuglefjell (Pedersen et al., 2021). Disse variasjonene i diett og habitatbruk viser at svalbardreinen har en viss fleksibilitet, men at de også er avhengige av lokale forhold og tilgang på beiteressurser.

2.3 Reinsdyrdata

2.3.1 Feltarbeid

Studien er utført på voksne simler i forbindelse med fangst-gjenfangststudier i Reindalen siden 1994 (Albon et al., 2017) og i Ny-Ålesund siden 2012 (Paulsen et al., 2021). I denne oppgaven brukes data fra GPS-halsbånd som har vært tatt i bruk siden 2009 i Reindalen og siden 2014 i Ny-Ålesund. Feltarbeidet gjennomføres på våren før snøen smelter, der fangst-merk-gjenfangst (CMR) metoden benyttes for å merke simlene. Fangstnett og snøscootere brukes i fangstprosessen i studieområdet (Trondrud et al., 2022). Simlekalvene blir merket med øremerker og halsbånd, på denne måten er man sikre på alderen til individet ved gjenfangst. De voksne individene (> 3 år gamle) i Reindalen får også påsatt et GPS-satellitt-halsbånd (Vertex Plus X, Vectronic Aerospace GmbH, Tyskland), som registrer posisjoner og aktivitetsnivå (Figur



Figur 2: Simle med GPS-halsbånd og aktivitetsmåler. Simlens ID-nummer er R399 (øremerke) og går med GPS-halsbåndet oransje 16 (Skagseth, 2024).

2). I Ny-Ålesund blir de voksne simlene utstyrt med Followit GPS satellitt-halsbånd (Tellus Followit, Lindesberg, Sverige) (Trondrud, upubliserte data; Paulsen et al., 2021). Alle individene blir veid ($\pm 0,5\text{kg}$), og lengden på bakbeinet blir målt ($\pm 1\text{ mm}$) som en indikator på kroppsstørrelse. Ultralyd brukes til å sjekke om de er drektige. Begge typene GPS-halsbånd veier omtrent 800 gram.

2.3.2 Aktivitetsdata fra GPS-halsbånd

Aktivitet måles som akselerasjon langs to ortogonale akser – høyre-venstre (y) og framover-bakover (x)- med en frekvens på 4 Hz. Verdiene varierer mellom 0 og 255, og beregnes som gjennomsnitt over 5-minutters intervaller (Krop-Benesch et al., 2011; Skagseth, 2024). Aktivitetsdataene brukes til å skille mellom ulike atferdsmønstre som beiting, hvile og vandring. Det er viktig å merke seg at aktivitetsdataene fra GPS-halsbåndene i Reindalen og Ny-Ålesund har forskjellige tidsskalaer. I Reindalen er aktivitetsdataene kumulative og beregnes over 5-minutters intervaller, noe som gir jevnere og mer pålitelig representasjon av aktivitetsnivået hos individene. I motsetning til dette er aktivitetsdataene i Ny-Ålesund registrert som øyeblikkelig aktivitet hver 8. time, noe som gjør at dataene har mer støy, da man kun får et kort øyeblikksbilde hver åttende time. Denne forskjellen i datainnsamlingens oppløsning kan påvirke hvordan vi tolker og sammenligner aktivitetsdataene i de to områdene. Frem til 2023 har det blitt samlet inn 538 individ-år fra bestanden i Reindalen, og 238 individ-år fra Ny-Ålesund. Siden fokuset var på overgangen fra vinter- til sommeraktivitet ble data fra perioden 1. januar til 2. juli (1. juli i skuddår) brukt.

2.4 Miljødata

2.4.1 Snødata

Snødataene i dette studiet er hentet fra MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500 m Grid, Version 6 (MOD10A1), som gir daglige estimater av snødekningsgraden på Svalbard, og ble regnet ut av Hannah Vickers (upublisert data, 2024). For å kvantifisere snødekke, ble snødekke-fraksjonen (SCF) beregnet ved hjelp av en universell formel (Vickers et al., 2020):

$$SCF = (0.06 + 1,21 \times NDSI) \times 100\%$$

SCF gir en prosentandel av hvor stor del av et gitt område som er dekket av snø. Snødekke er vurdert for 5%, 10% og 50% snøfritt område. Det er også beregnet koeffisient variasjonen «coefficient of variation»; CV) til disse tersklene. Koeffisient variasjonen for snødataene måler hvor stor variasjon det er i tidspunktet for snøsmelting i forhold til gjennomsnittlig tidspunkt. Er det høy koeffisient variasjon betyr det at snøen smelter på veldig ulikt tidspunkt det året og landskapet er mer heterogent. Er koeffisient variasjonen lav derimot, vil snøen smelte jevnt over hele landskapet og man har et mer homogent landskap. Datasettet har en daglig oppløsning fra perioden 1. mars til 1. november hvert år fra 2000 til 2022. i vintermånedene er det ikke tilgjengelige data på grunn av mangel på sollys.

For å bestemme første snøfrie dag ble tidspunktet funnet ved å identifisere når SCF først falt under 50% og forble der i minst ti dager. Områder med skyer, hav og vintermørke ble maskert ut, og en multitemporal interpolasjonsteknikk ble brukt for å fylle hull i datasettet for dager med manglende observasjoner. Datasettet ble reprojisert til WGS 1984 UTM sone 33N, og en vegetasjonskartlegging fra Landsat TM/ETM+ ble benyttet for å maskere vannmasser og isbreer (Vickers et al., 2020). Det ble innhentet og behandlet snødata fra Colesdalen, Reindalen sør og Reindalen nord. Videre analyser ble gjennomført med gjennomsnittlige snødata fra Colesdalen og Reindalen sør, da disse områdene representerer studieområdet hvor de GPS-merkede reinsdyrene er.

2.4.2 Meteorologisk start for vår

For å regne ut meteorologisk start for vår, ble det regnet ut et glidende gjennomsnitt over et tidsvindu på ti dager av døgnmiddeltemperaturer fra værstasjonen ved Svalbard Lufthavn. Glidende gjennomsnitt ble brukt for å redusere effekten av kortvarige ekstremtemperaturer med liten effekt på snøsmelting. I denne oppgaven blir dato for vårstart definert som den første datoen gjennomsnittstemperaturen i dette vinduet overstiger 0 grader Celsius.

2.4.3 Vekstsesongens start

For å beregne starten på vekstsesongen (“growing season onset”) på Svalbard, ble satellittdata fra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) benyttet med en NDVI-basert terskelmetode. NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index”) er en

vegetasjonsindeks som reflekterer grønnheten i vegetasjonen og brukes som en indikator for vekstsesongens start. MODIS Terra-dataene som ble benyttet er MOD09Q1 og MOD09A1, begge med 8-dagers komposittbilder. En sentral utfordring er skydekke, da dette kan påvirke nøyaktigheten av analysen. Det ble derfor anvendt en kombinasjon av tre skymaskeringsmetoder: (1) bruk av MODIS State QA-verdier, (2) egne algoritmer for skydeteksjon, og (3) manuell fjerning av skypåvirkede piksler. Når skydekket fra pikslene ble redusert, kartlegges vekstsesongens start ved å identifisere tidspunktet hvor NDVI overstiger en forhåndsdefinert terskelverdi (Karlsen et al., 2014).

2.5 Bruk av kunstig intelligens (KI)

I dette arbeidet har jeg brukt KI for å hjelpe meg med utviklingen a R-skript samt for språkvasking av tekst. R-studio og R (4.4.2) ble benyttet sammen med ChatGPT (OpenAI, 2025) for å hjelpe meg med å lage gode skript og effektivisere prosessene. Ved hjelp med språkvasking innebar bruken at KI ble benyttet ved å komme med forslag til bedre setnings- og/eller avsnittsstruktur. All bruk av KI er kvalitetssikret. Bruken av KI har vært i samsvar med NMBUs retningslinjer for etisk og ansvarlig bruk av kunstig intelligens (NMBU, 2025).

2.6 Statistiske analyser

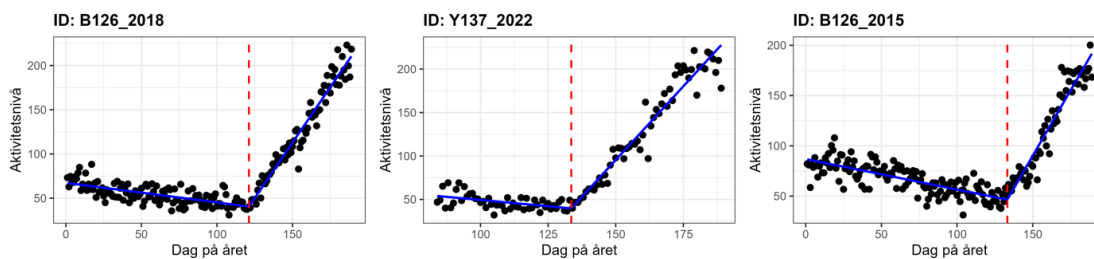
2.6.1 Forberedende analyser

Før de statistiske analysene ble gjennomført, ble gjennomsnittlig daglig aktivitetsnivå (summen av bevegelse på X- og Y-aksen) beregnet for hvert individ per år. For å identifisere perioden der en potensiell endring i aktivitetsnivå kunne inntreffe, ble det benyttet en generalisert additiv modell (GAM). Denne analysen indikerte en tydelig endring i aktivitetsmønsteret rundt dag 130 (10. mai), som markerte overgangen fra vinter- til sommeraktivitet. Aktivitetsnivået var relativt stabilt fram til denne datoen, før det økte tilnærmet lineært fram mot dag 183 (2. juli) (Vedlegg 1). Dette tidsintervallet ble brukt for å estimere datoer for knekkpunkt for hvert individ og år. Deretter ble knekkpunktene brukt for å undersøke hvilke miljøfaktorer som best forklarer variasjonen i tidspunktet for denne aktivitetsendringen mellom år og individer.

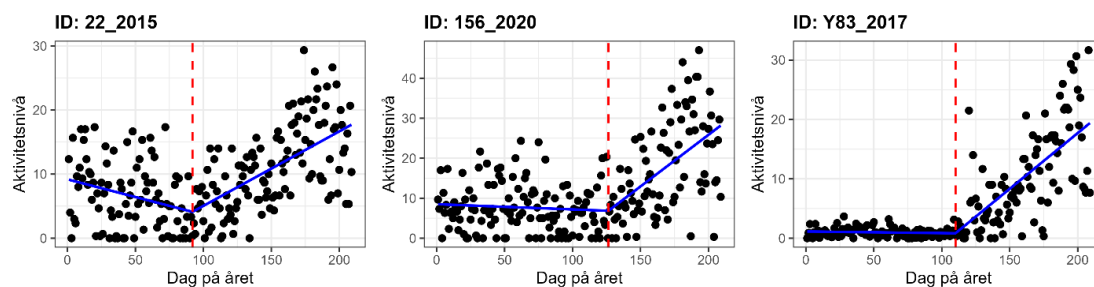
2.6.2 Segmentert regresjon (Piecewise regression)

I første analysetrinn ble segmentert regresjon brukt for å estimere knekkpunktet i aktivitetsnivået for hvert individ hvert år. Segmentert regresjon tillater identifisering av et punkt der forholdet mellom aktivitetsnivå og dag i året endrer seg, og innebærer tilpasning av to separate regresjonslinjer før og etter dette punktet.

Segmentert regresjon ble gjennomført ved bruk av funksjonen *segmented* i R-pakken med samme navn (Muggeo, 2025). Tilnærmingen innebar at man først må tilpasse en enkel lineær regresjonsmodell mellom aktivitetsnivå og dag. Deretter estimerte modellen automatisk knekkpunktet, med utgangspunkt i en forhåndsdefinert startverdi her satt til dag 130. Knekkpunktet ble validert ved visuell inspeksjon av figurer for hver individ-år-kombinasjon. Dette gjorde det mulig å kvantifisere når reinsdyrenes aktivitetsnivå begynte å øke om våren (Figur 3 og Figur 4).



Figur 3: Segmenterte regresjonsmodeller for aktivitetsnivået fra tre validerte ID-år fra Reindalen. Den blå linjen viser aktivitetsnivå gjennom våren, og den røde stiplede linjen markerer knekkpunktet. Aktivitet er målt som summen av akselerometerverdier over 5-minutters intervaller.



Figur 4: Segmenterte regresjonsmodeller for aktivitetsnivået fra tre validerte ID-år fra Ny-Ålesund. Aktivitet er målt som akselerometerverdier registrert hver 8. time. Den blå linjen viser aktivitetsnivå gjennom våren, og den røde stiplede linjen markerer knekkpunktet.

2.6.3 Lineære blandede modeller (Linear mixed effects models)

Etter at knekkpunktene var estimert individuelt gjennom segmentert regresjon, ble disse brukt som responsvariabler i videre analyser. Formålet var å undersøke hvilke faktorer som best forklarte variasjonen i tidspunktet for aktivitetsendringen. De statistiske analysene ble utført ved hjelp av lineære blandede modeller (eng: «linear mixed models») med funksjonen *lmer* fra R-pakken *lme4* (Bates et al., 2003). Forklaringsvariablene varierte avhengig av hva som skulle undersøkes, men år og individ ble alltid inkludert som tilfeldige effekter (“random effects”) for å kontrollere for gjentatte målinger på samme individ og for variasjon mellom år. Signifikansen av disse ble vurdert ved hjelp av Likelihood Ratio Test (LRT).

2.6.3.1 Geografisk variasjon

For å undersøke om tidspunktet for aktivitetsendring varierte mellom de to studieområdene Reindalen og Ny-Ålesund, ble en lineær blandet modell tilpasset ved at studieområde ble inkludert som en fast effekt (“fixed effect”). Denne modellen testet om reinsdyrene i de to områdene økte aktivitetsnivået sitt på forskjellige tidspunkter.

2.6.3.2 Årlig variasjon

For å undersøke hva som forklarer den årlige variasjonen i knekkpunktene, ble analysen begrenset til Reindalen. Miljøvariablene som ble testet inkluderte: meteorologisk start for vår, ulike terskler for snøsmelting, vekstsesongens start, og siste dag med snø ved Svalbard Lufthavn. Hver miljøvariabel ble testet separat som fast effekt i egne modeller.

Siden flere miljøvariabler potensielt korrelerte, ble korrelasjonsanalyser utført ved hjelp av *corrplot*-pakken i R (Wei et al., 2024). For å velge de beste forklaringsvariablene ble modellene sammenlignet med Akaike’s Information Criterion (AIC). Dersom forskjellen i AIC var mindre enn 2 mellom en enklere og en mer kompleks modell, ble den enklere modellen foretrukket (Arnold, 2010; Burnham & Anderson, 2004).

2.6.3.3 Individuell variasjon

Til slutt ble individuelle faktorer undersøkt for å forklare variasjonen i knekkpunktet. De individuelle variablene som ble testet var drektighetsstatus, vekt og alder. Alle modellene inkluderte også den beste årlige variabelen som forklaringsvariabel for å kontrollere for

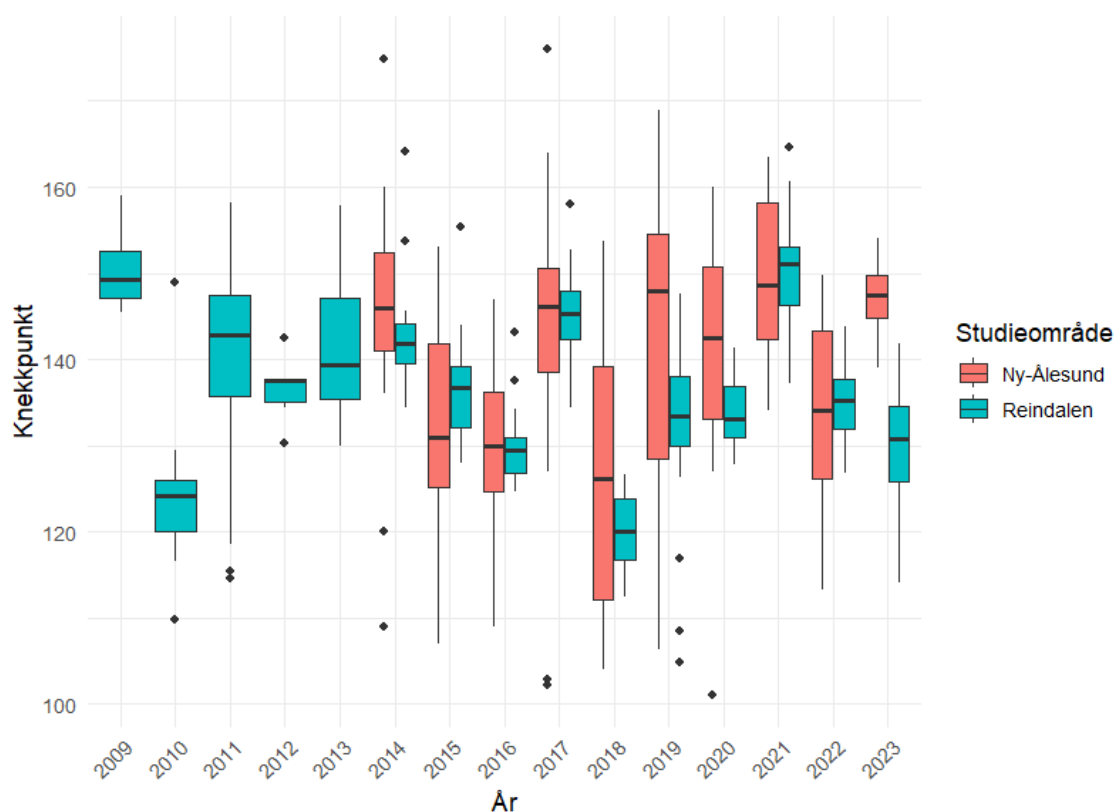
årlige variasjoner. De individuelle variablene ble testet for multikollinearitet ved bruk av Variance Inflation Factor (VIF), kalkulert med *vif()*-funksjonen fra R-pakken *car* (Fox et al., 2024). En VIF-verdi under 2 ble ansett som indikasjon på fravær av multikollinearitet. Modellens resultater ble vurdert basert på estimerte koeffisienter, standardfeil og p-verdier.

3. Resultater

De aller fleste GPS-merkede simlene viste et tydelig knekkpunkt i aktivitet fra stabilt eller synkende aktivitetsnivå om vinteren til brått økende aktivitet utover våren og sommeren. Av simlene i Ny-Ålesund ble 150 av knekkpunktene for individ-år beholdt som følge av validering og 88 forkastet. I Reindalen, hvor det er betydelig flere merkede dyr, ble 395 individ-år beholdt og 143 forkastet. Knekkpunktene som hører til individene i Reindalen hadde et mye tydeligere knekkpunkt enn de i Ny-Ålesund, antagelig på grunn av bedre kvalitet på aktivitetsdata. Vedlegg 3 og 4 inkluderer et utvalg eksempler på individer som ble forkastet.

3.1 Geografisk variasjon

Det ble funnet en signifikant forskjell i tidspunktet for knekkpunkt mellom Ny-Ålesund og Reindalen (estimat=-2,5 dager, SE=1,2, p-verdi=0,04). Resultatene viste at gjennomsnittlig knekkpunkt for Reindalen er på dag 136, og Ny-Ålesund på dag 138. Dette tilsvarer 15. og 17. mai. Man ser at knekkpunktene i Ny-Ålesund er mer spredt enn i Reindalen (Figur 5).



Figur 5: Sammenligning av knekkpunkt mellom studieområdene Ny-Ålesund og Reindalen. Ny-Ålesund har data fra 2014-2023 ($n=150$), mens Reindalen har data fra 2009-2023 ($n=395$). Figuren viser knekkpunktene for hvert år, med medianer, interkvartilområder, og uteliggere. Knekkpunktene er plottet mot år, med Ny-Ålesund i rødt og Reindalen representert i blått. Resultatene viser en signifikant forskjell i tidspunktet for knekkpunkt mellom de to områdene ($p\text{-verdi}=0,04$). Gjennomsnittlig knekkpunkt for Ny-Ålesund er på dag 138, mens det for Reindalen er på dag 136.

3.2 Årlig variasjon

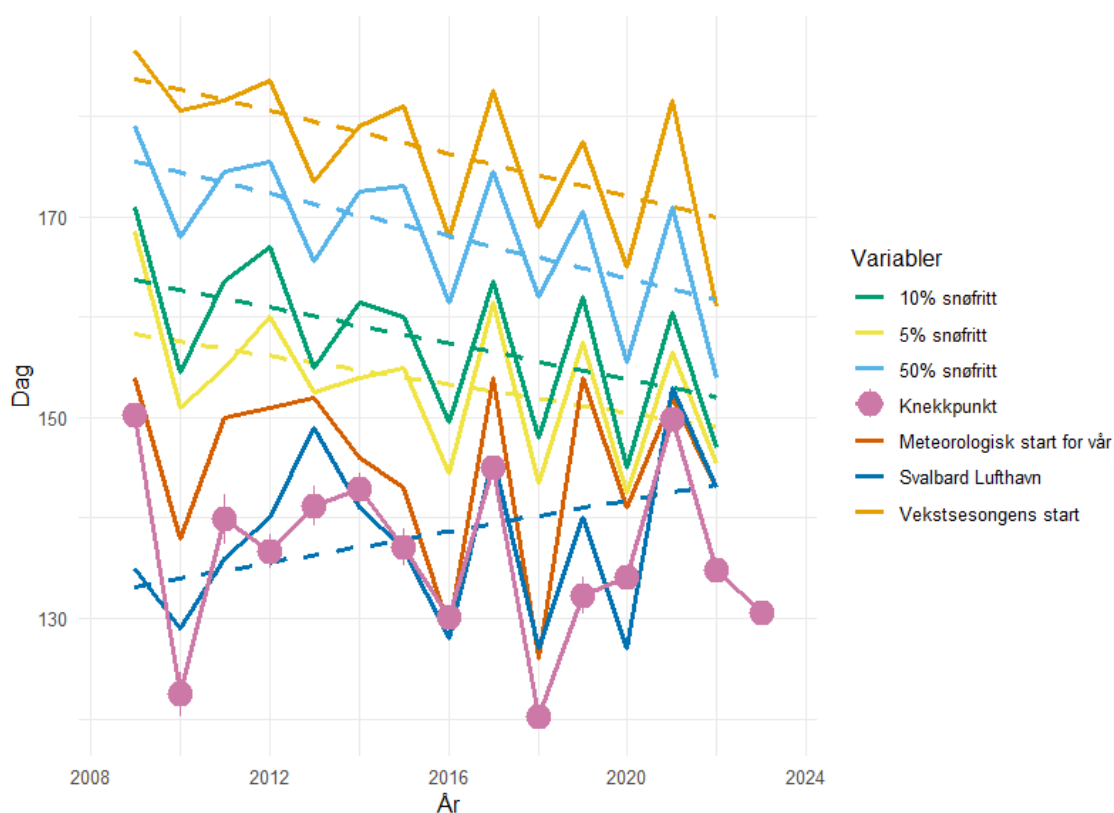
For modellen som undersøker om knekkpunkt varierer mellom år, ble en Likelihood Ratio Test (LRT) brukt for å teste om den årlige variasjonen i knekkpunkt er signifikant. Resultatene viste at inkludering av år som en tilfeldig effekt forbedret modelltilpasningen signifikant ($p<0,001$), noe som indikerer at tidspunktet for knekkpunkt varierer mellom år. Knekkpunktene kom tidligere i 2010 og 2018 enn vanlig. Man ser også at knekkpunktene i 2009 og 2021 kom noe senere enn vanlig (Figur 5).

3.2.1 Korrelasjon mellom de årlige miljøvariablene

Variablene som korrelerte aller mest var planteveksts sesongens start (fra NDVI data) og 50% snøfritt område (0,98). Veksts sesongens start var også sterkt korrelert med 10% og

5% snøfritt område (0,92 og 0,88). De tre snøvariablene hadde også en sterk korrelasjon med hverandre. Når det gjelder meteorologisk start for vår, korrelerte denne mest med 5% snøfritt område (0,81), deretter med 10% snøfritt område (0,74).

De ulike miljøvariablene fulgte i stor grad et likt mønster fra år til år (Figur 7). Tidspunktet for når 5%, 10% og 50% av området er snøfritt, samt starten på vekstsesongen, har alle vist en signifikant endring mot tidligere dato på året. Datoen for når det blir snøfritt ved Svalbard lufthavn hadde derimot endret seg signifikant mot et senere tidspunkt. Verken tidspunktet for knekkpunkt eller den meteorologiske starten for vår viste noen signifikant endring over tid.

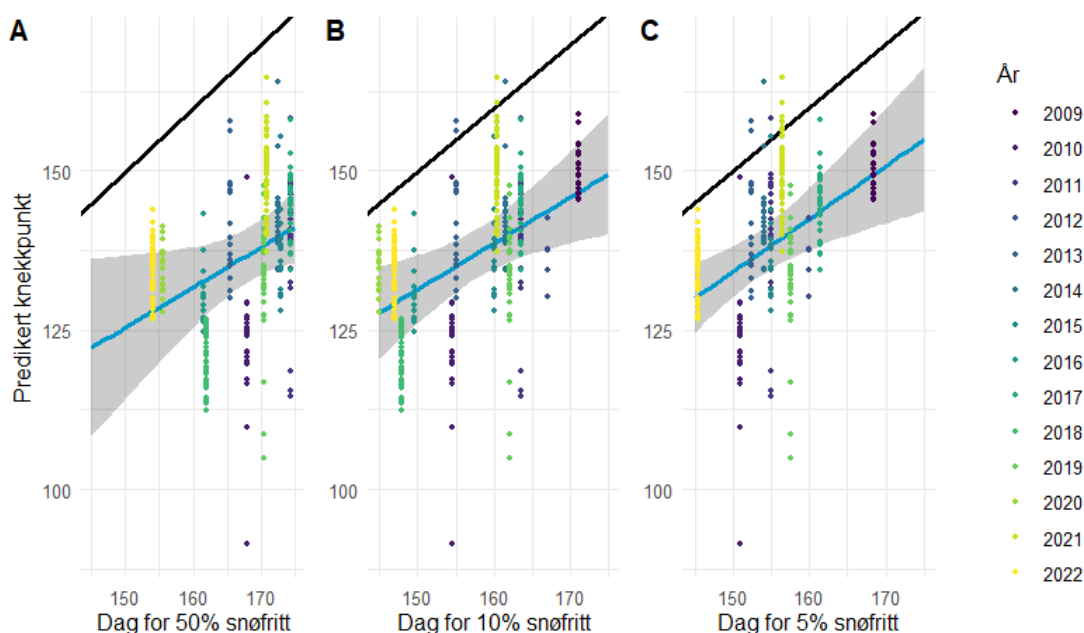


Figur 6: Årlige endringer i tidspunktet for miljøvariabler og aktivitetsknekkpunkt hos svalbardrein fra 2009 til 2023. Figuren viser utviklingen i ulike variabler som er relevante for overgangen fra vinter til sommer, inkludert tidspunkt for 5 %, 10 % og 50 % snøfritt område, meteorologisk vårstart, snøfri dato ved Svalbard lufthavn og vekstsesongens start, samt aktivitetsknekkpunktet hos reinen (rosa punkter). Regresjonslinjer er vist for hver variabel, og stiplede linjer indikerer signifikante trender ($p < 0,05$). Resultatene viser at tidspunktet for knekkpunktet i reinsdyrenes aktivitet i flere år inntreffer før de klimatiske og fenologiske indikatorene, noe som antyder at reinsdyrene responderer på tidlige signaler før grønn vegetasjon er fullt tilgjengelig.

3.2.2 Hvilke miljøvariabler forklarer knekkpunkt best?

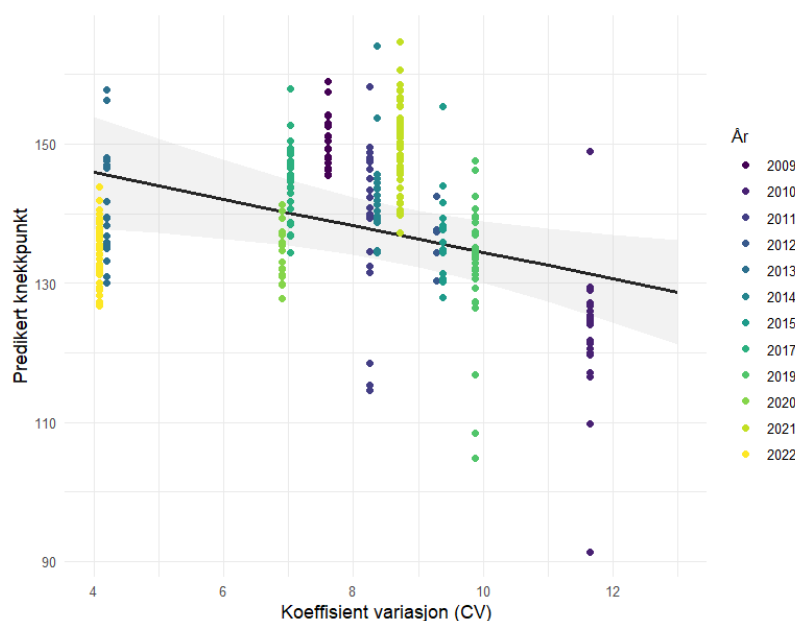
Modellen som inkluderte gjennomsnittlig dato og koeffisient variasjon for 10% snøfritt område, var den modellen som forklarte knekkpunkt best, med lavest AIC-verdi (AIC: 1789,5, Tabell 1, Figur 8).

Det predikerte knekkpunktet i reinens aktivitet inntraff tidligere i år med tidligere snøsmelting, noe som ble vist gjennom en positiv sammenheng for alle de tre snøfrie tersklene (50%, 10% og 5%) (Figur 8). I alle panelene lå det predikerte knekkpunktet under 1:1-linjen, noe som indikerer at knekkpunktet skjer før datoen for snøsmelting.



Figur 7: Sammenheng mellom tidspunkt for 50 % (A), 10 % (B) og 5 % (C) snøfritt areal og predikert knekkpunkt i aktivitetsnivå hos Svalbardrein. Hver prikk representerer ett individ i ett år (fargekodet etter år). Den blå linjen viser predikert sammenheng med 95 % konfidensintervall (grått bånd), mens den svarte linjen viser 1:1-forholdet. Knekkpunktene tilhører de validerte simlene fra Reindalen ($n=395$).

Koeffisient variasjonen hadde en signifikant negativ effekt på knekkpunktene (estimat=-1,9, $p=0,03$). Knekkpunktet ble forsinket med 1,9 dager for hver økning i én enhet CV (Figur 9).



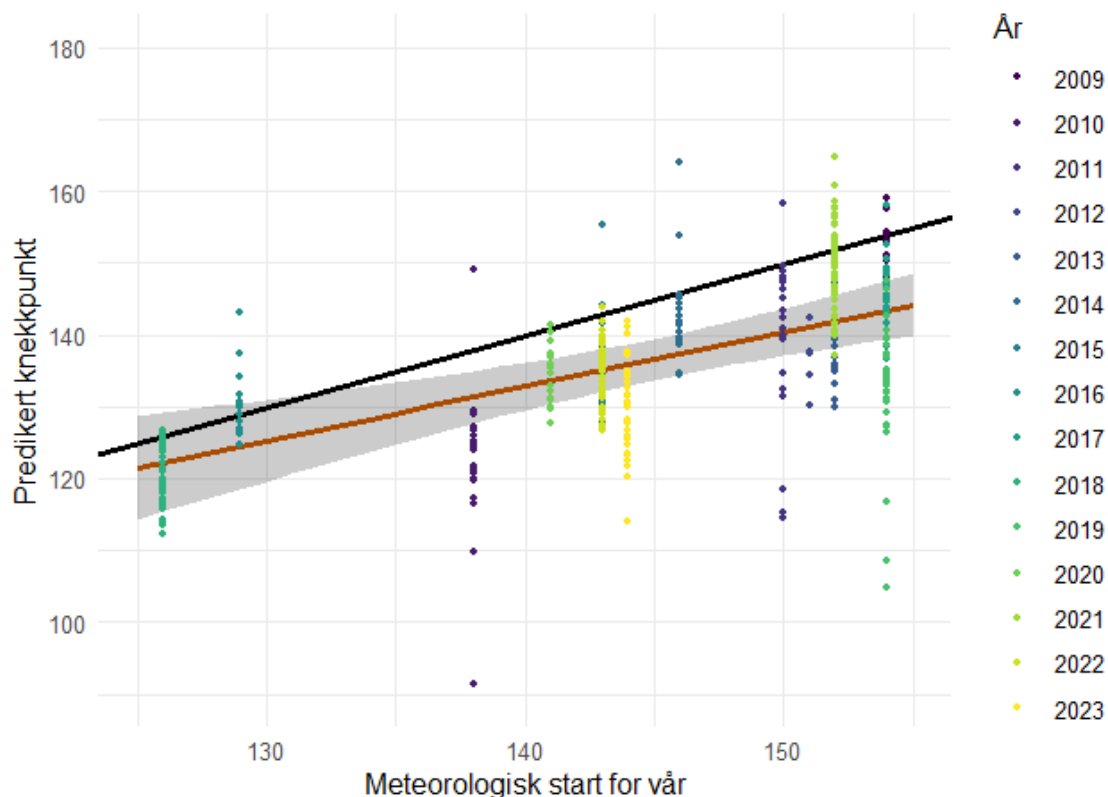
Figur 9: Effekten av koeffisient variasjon (CV) på predikert knekkpunkt for svalbardreinsdyr ($n=395$). Plottet viser hvordan den predikerte verdien for knekkpunktet endres i forhold til koeffisientene for 10% snøfritt område. Den svarte linjen representerer den predikerte trenden, mens den grå skyggen angir konfidensintervallet for prediksjonene.

Tabell 1: Modellseleksjon for prediksjon av knekkpunkt basert på ulike forklaringsvariabler. Tabellen viser de 11 modellene rangert etter lavest AICc. For hver modell oppgis modellstruktur, $\Delta AICc$, AIC vekt. Alle modellene inkluderer tilfeldige effekt for individ og år.

Model	Variabler	$\Delta AICc$	AIC-vekt
1	10% snøfritt+ CV	0,00	0,38
2	Meteorologisk start for vår	0,65	0,27
3	5% snøfritt + CV	2,00	0,14
4	50% snøfritt + CV	2,90	0,09
5	5% snøfritt	4,33	0,04
7	Svalbard Lufthavn	5,39	0,03
8	10% snøfritt	6,64	0,01
9	50% snøfritt	9,27	0,00
10	Vekstsesonens start	9,45	0,00

Det predikerte knekkpunktet i reinens aktivitet viste en positiv sammenheng med den meteorologiske starten på våren (Figur 11). De fleste knekkpunktene lå under 1:1-linjen, noe som indikerer at knekkpunktet som regel inntreffer før den meteorologiske starten for

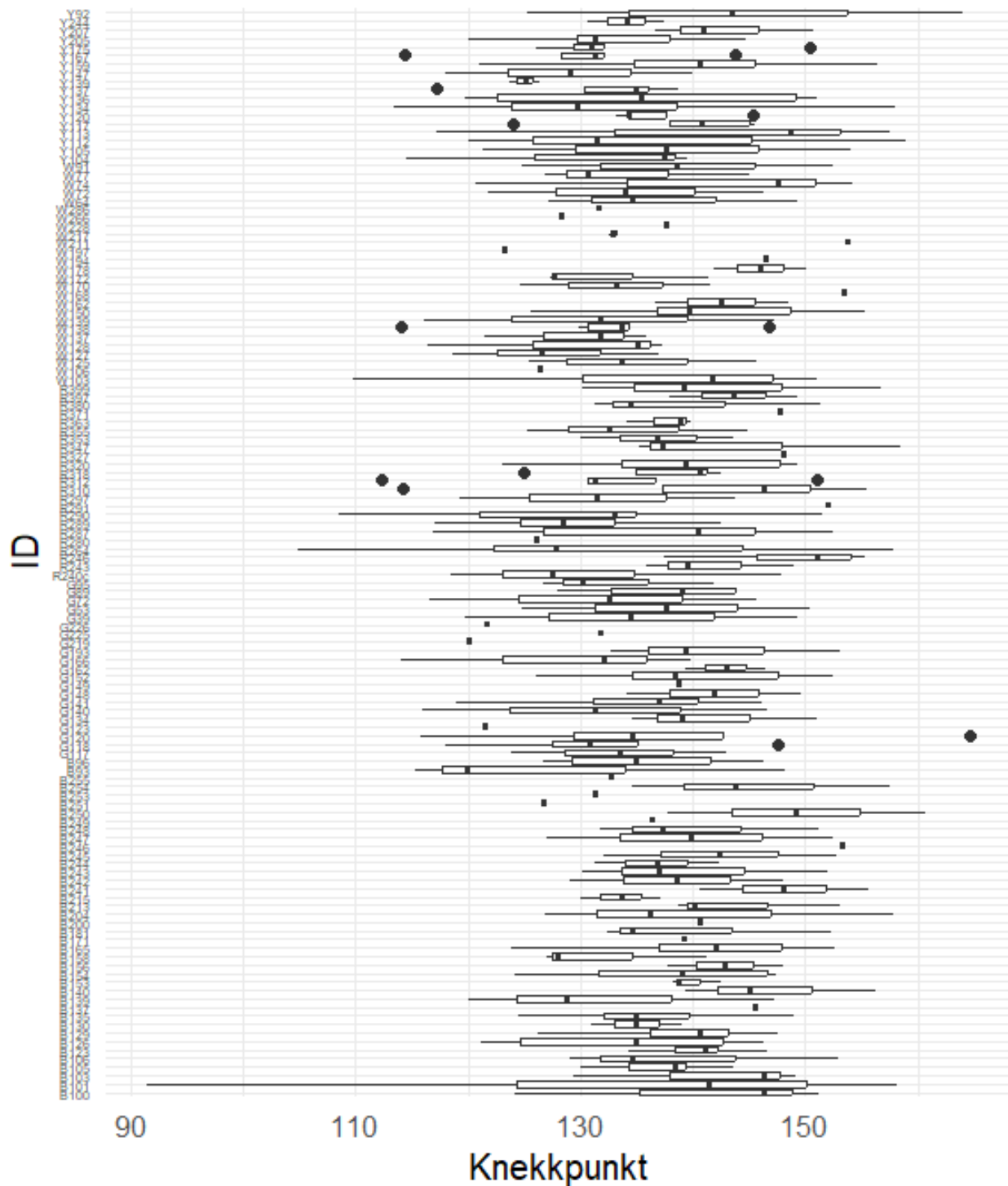
vår. Modellen basert på meteorologisk start for vår hadde en AIC-verdi som kun var 0,65 høyere enn modellen med 10% snøfritt område (Tabell 1). Siden den er enklere, men har tilnærmet samme forklaringsstyrke, ble den denne modellen valgt som utgangspunkt i videre analyser av hvordan individuelle variabler påvirker knekkpunktet (Figur 11).



Figur 8: Sammenhengen mellom meteorologisk start for vår og knekkpunktene ($n=395$) visualisert gjennom et prediksjonsplott. Plottet viser den estimerte effekten av vekstsesongens start på reinsdyrenes aktivitetsendring, inkludert både prediksjoner og konfidensintervaller for å illustrere modellens usikkerhet. Den svarte 1:1-linjen representerer hvor de predikerte knekkpunktene ville falle hvis de predikerte og faktiske verdiene er like.

3.3 Individuell variasjon

Når individuell variasjon ble inkludert i modellen ved å legge til ID som en tilfeldig effekt i tillegg til år, ble det observert en sterk tendens til individuell variasjon i knekkpunkt (p -verdi=0,06). Selv om denne effekten ikke er helt statistisk signifikant, antyder resultatene at det finnes variasjon i knekkpunkt mellom individer (Figur 10). Funnene åpner for videre undersøkelser av hvilke faktorer som kan bidra til denne individuelle variasjonen.



Figur 9: Boksplott som viser variasjonen i knekkpunkt for ulike individ. Knekkpunkt ligger langs x-aksen og ID ligger langs y-aksen. Plotet representerer knekkpunktene til 128 simler, som totalt gir data for 395 individ-år fra Reindalen. Hver boks representerer fordelingen av knekkpunkt-verdiene for hvert individ, med medianen markert som en vertikal strek i boksen, og eventuelle utliggere som prikker utenfor halene. Halene strekker seg til de laveste og høyeste verdiene som ikke regnes som utliggere.

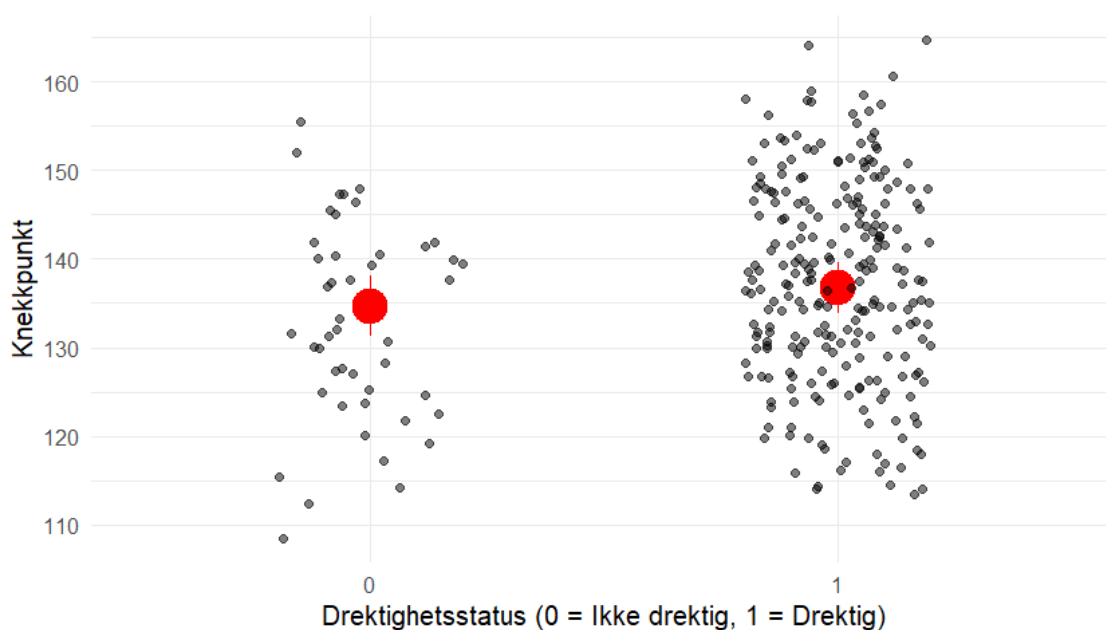
Når de individuelle variablene ble analysert hver for seg sammen med meteorologisk start for vår, viser ikke alder en signifikant effekt (effekt=-0,15, p-verdi=0,35). Derimot var både drektighet (effekt=2,78, p-verdi=0,01) og vekt (effekt=0,19, p-verdi=0,01) signifikant (Figur 11 og Figur 12). Dersom simla var drektig kom knekkpunktet 2,8 dager senere enn om simla ikke var drektig. For at knekkpunktet skulle komme én dag senere måtte vekta til simla øke med omtrent 5kg. Når drektighet og vekt ble testet sammen i modellen, falt effekten av vekt bort (effekt=0,12, p-verdi=0,14). Selv om drektigheten her heller ikke var helt signifikant (effekt=2,12, p-verdi=0,06), så antydte den lavere p-verdien at det var drektighet som var den viktigste individuelle variabelen som påvirket knekkpunkt mest.

Modellutvalget støtter også at drektighet var den viktigste prediktoren for variasjon i tidspunktet for knekkpunkt. Modellen som inkluderte meteorologisk start for vår, drektighetsstatus og vekt hadde klart lavest AICc-verdi og høyest AIC-vekt (0,93), noe som indikerte sterk støtte for denne modellen sammenlignet med de andre alternative modellene (Tabell 2).

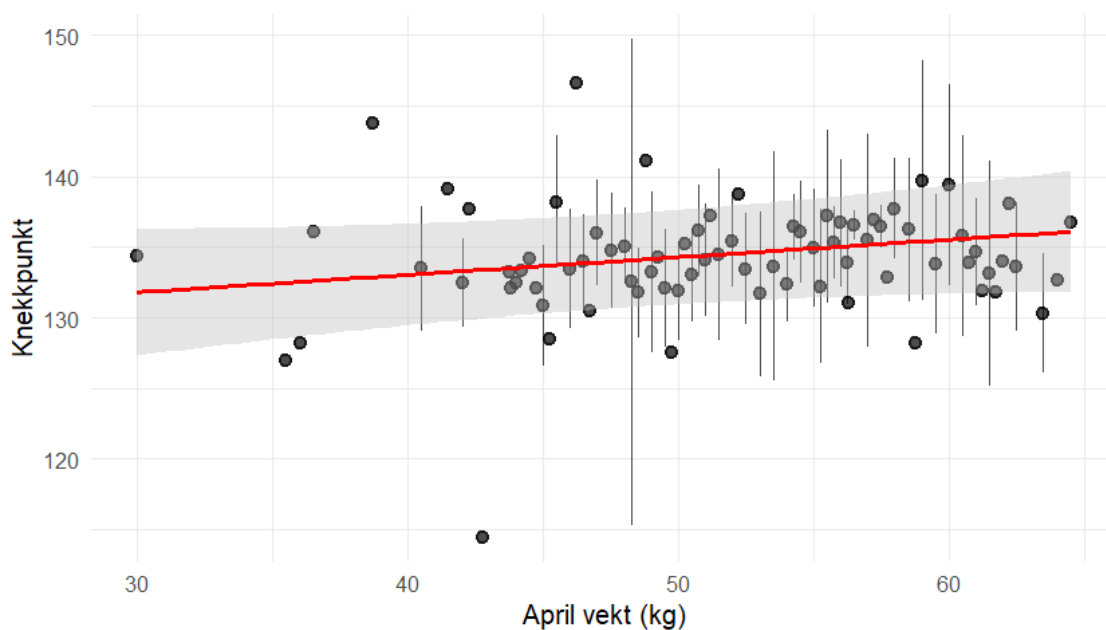
Tabell 2: Modellutvalg basert på AICc for å forklare variasjon i tidspunktet for knekkpunkt i aktivitetsnivå hos simlene. Modellene inkluderer knekkpunkt som responsvariabel og ulike forklaringsvariabler: meteorologisk start for vår, og de individuelle variablene drektighetsstatus, vekt og alder. Alle modellene inkluderer tilfeldige effekt for individ og år. $\Delta AICc$ viser forskjellen i AICc-verdi sammenlignet med den beste modellen (Modell 1). AIC-vekt angir den relative sannsynligheten for at en modell er den beste blant kandidatmodellene. Modell 1, som inkluderer meteorologisk start for vår, drektighetsstatus og vekt hadde høyest støtte (AIC-vekt =0.93).

Modell	Variabler	$\Delta AICc$	AIC-vekt
1	Meteorologisk start for vår Drektighetsstatus Vekt	0,00	0,93
2	Meteorologisk start for vår Drektighetsstatus	5,07	0,07
3	Meteorologisk start for vår Vekt	54,78	0,00
4	Meteorologisk start for vår Alder	435,72	0,00
5	Meteorologisk start for vår	666,01	0,00

VIF-analysen viste at både drektighetsstatus og vekt lå nær 1, noe som betyr at forklaringsvariablene ikke førte til multikollinearitet. Dette betyr at de inkluderte forklaringsvariablene var tilstrekkelig uavhengige av hverandre, og at regresjonsestimatene kan tolkes uten bekymring for betydelige samvariasjoner mellom variablene.



Figur 10: Sammenheng mellom drektighetsstatus og tidspunktet for knekkpunkt i aktivitetsnivået hos simler ($n=395$). De svarte prikkene viser individuelle observasjoner (knekkpunkt) med tilfeldig forskyvning på x-aksen for å unngå overlapp. De røde punktene med vertikale streker viser modellens predikerte gjennomsnittlige knekkpunkt for hver gruppe, med tilhørende 95 % usikkerhetsintervall.



Figur 11: Sammenheng mellom reinens vekt i april og tidspunktet for knekkpunkt i aktivitetsnivået ($n=395$). De grå punktene med vertikale streker viser «partial residuals» estimert fra modellen med tilhørende usikkerhet (± 1 standardavvik). Den røde linjen viser den predikerte sammenhengen mellom aprilvekt og knekkpunkt, og det grå båndet viser modellens predikerte 95 % usikkerhetsintervall.

4. Diskusjon

Denne studien har undersøkt hvordan geografiske, årlige og individuelle faktorer påvirker aktivitetsøkningen hos svalbardrein, med fokus på overgangen fra vinter- til sommeraktivitet. Resultatene viser at knekkpunktet kommer 2,5 dager senere i Ny-Ålesund enn i Reindalen, noe som kan reflektere geografiske forskjeller i klimaforhold. Videre viser analysene at årlige variasjoner, som temperatur og snødekke, har en betydelig effekt på tidspunktet for når knekkpunktene skjer. Modellen som inkluderte koeffisient variasjon i 10 % snøfritt område hadde høyest signifikans, og tyder på at tidlig dato og mer heterogent landskap under snøsmelting fører til tidligere økning på aktivitetsnivået hos svalbardreinen. Samtidig ble denne effekten fanget vel så godt opp av temperatur som en enkelt forklaringsvariabel. Individuelle faktorer som drektighet og kroppsvekt viste seg også å ha en påvirkning på aktivitetsnivået. Drektige simler har et knekkpunkt som er 2,8 dager senere enn hos simler som ikke er drektige. Dette kan reflektere et behov for å spare på energien de har under fosterutviklingen. Samlet sett gir funnene innsikt i hvordan både miljøfaktorer og individuelle tilstander påvirker svalbardreinens tilpasning til de raske og intense sesongendringene som skjer i arktiske økosystemer, og hvordan disse tilpasningene er essensielle for å håndtere utfordringene i

vårknipa. Allerede ved å sammenligne modellenes forklaringskraft og signifikans, ser vi at mellomårsvariasjonen har lagt større betydning enn de individuelle faktorene. Dette tyder på at reinsdyr i stor grad tilpasser seg de ytre miljøsignalene som varierer fra år til år, heller enn at forskjeller mellom enkeltindivider i stor grad styrer atferdsendringen. Dette gir viktig innsikt i hvor stor påvirkning klimatiske forhold har på arten, og understreker behovet for å forstå miljøfaktorene i lys av klimaendringer.

4.1 Geografisk variasjon

Resultatene fra denne studien viser at gjennomsnittlig tidspunkt for knekkpunkt i aktivitetsnivået hos svalbardrein kommer senere i Ny-Ålesund enn i Reindalen. I gjennomsnitt kommer knekkpunktet rundt 17. mai i Ny-Ålesund, altså omtrent 2,5 dager senere enn i Reindalen, der tilsvarende dato er rundt 15. mai. Dette mønsteret er også tydelig når man ser på medianverdiene, der knekkpunktene i Ny-Ålesund kommer senere i 7 av 10 år sammenlignet med Reindalen (Figur 5). Dette samsvarer med hypotesen om at knekkpunktet skjer senere lenger nord, til tross for at forskjellen er overaskende lav. En mulig forklaring på at variasjonen er lavere enn forventet kan være det lokale mikroklimatiske forhold som påvirker snøsmelting og vegetasjonstilgjengelighet på en mer kompleks måte enn det som kan forklares bare av breddegrad og lengdegrad (Farnsworth, 2013; Ford et al., 2013). Ettersom Reindalen består av sammenhengende daler, kan dette være et område med mulighet for snøakkumulering og isdannelse (Eveland et al., 2012). Ny-Ålesund derimot er et område preget av kystlandskap med åpne sletter som er mer utsatt for vind, noe som kan føre til at snøen forflytter seg, eller smelter raskere selv om det ligger lenger nord enn Reindalen (Bruland et al., 2004).

Det er viktig å vurdere metodiske faktorer som kan ha påvirket sammenligningen mellom lokalitetene. Bruken av ulike GPS-halsbånd som gir ulik oppløsning på aktivitetsdataene mellom Reindalen og Ny-Ålesund kan ha påvirket resultatene. I Reindalen er dataene kumulative og samles hvert 5. minutt, noe som gir en jevn og mer pålitelig presentasjon av aktivitet. I Ny-Ålesund, der dataene samles hver 8. time, kan tilfeldige variasjoner og støy føre til mindre presisjon i målingene. Denne forskjellen i tidsskala kan gjøre sammenligningen av aktivitetsøkningen mellom de to områdene usikker. For å forbedre datainnsamlingen i fremtidige studier, vil det være fordelaktig å standardisere bruken av GPS-halsbånd og benytte samme type utstyr som i Reindalen. Dette vil redusere støy i dataene og gi en mer presis oversikt over svalbardreinens aktivitetsnivå. En slik

standardisering vil ikke bare forbedre datakvaliteten, men også muliggjøre mer pålitelige sammenligninger mellom populasjonene i de to områdene. Det vil gi en verdifull innsikt i geografiske forskjeller. Har man mer sammenlignbare data, ville det også vært interessant å analysere hvordan miljøvariablene påvirker bestanden i Ny-Ålesund. Disse analysene ble ikke gjennomført i dette studiet på grunn av begrensninger i omfanget, som kun har inkludert Reindalen.

4.2 Årlig variasjon

Knekkpunktene varierte betydelig mellom år, noe som støtter hypotesen om at årlige miljøforhold spiller en viktig rolle for når reinsdyrene øker aktiviteten om våren. Samtidig viser analysene at selve aktivitetsknekkpunktet inntreffer brått, noe som kan tyde på at reinen responderer på et terskelsignal snarere enn på en gradvis prosess. Dette kan skyldes fysiologiske mekanismer som krever et visst nivå av beitetilgang eller temperatur før atferden endres. I et arktisk miljø, der forholdene skifter raskt, kan det også være en adaptiv strategi å utnytte korte og presise signaler for å time overgangen. År som tilfeldig effekt forbedret modellene, og det tyder på at variasjon i miljøfaktorer som temperatur, snødekke og vegetasjonstilgjengelighet påvirker tidspunktet for aktivitetsøkning. Dette kan bety at reinen tilpasser seg ikke bare etter langsiktige endringer, men også de kortsiktige svingningene i miljøforhold som oppstår hvert år.

Modellen som inkluderte 10% snøfritt område og koeffisient variasjon (CV) viste seg å være den beste modellen for å forklare tidspunktet for når knekkpunktene i aktivitetsnivået oppstår. Denne modellen indikerer at et mer heterogent landskap under snøsmelting fører til en tidligere økning i aktivitetsnivået hos reinen. Det er mulig at reinsdyrene foretrekker områder med ujevnt snødekke, ettersom disse områdene gir større mulighet for å finne snøfrie flekker med tilgjengelig vegetasjon. Datoen for når området er 10% snøfritt er også en viktig faktor i modellen, da dette representerer tidspunktet for når 10% av landskapet er helt snøfritt og dermed gir en indikasjon på når reinen kan få tilgang til beite. Denne datoen fungerer som en praktisk indikator på at tilstrekkelig mengde vegetasjon har blitt tilgjengelig for beiting, og korrelerer tett med tidspunkt for økt aktivitet. Når hele området i snitt er 10% snøfritt, betyr det at et betydelig område har blitt tilgjengelig for reinen. Dette kan ha en direkte innvirkning på tidspunktet for aktivitetsøkning (Holtan et al., 2023). Denne variabelen fanger opp de første tegnene på

at snøsmelting har nådd et punkt der tilgjengeligheten på mat begynner å øke og reinen dermed øker aktivitetsnivået sitt.

Datoen for siste dag med snø ved Svalbard lufthavn hadde en signifikant positiv effekt på aktivitetsknekkpunktet, noe som tyder på at reinsdyrene øker aktivitetsnivået senere i år der snøen forsvinner sent. Denne sammenhengen viser at snøforhold kan fungere som en viktig driver for sesongmessig atferdsendring. Selv om denne modellen ikke viste seg å være en god modell, er dette en enkel, standardisert og lett tilgjengelig klimavariabel, som kan brukes som en praktisk indikator i forvaltningen av svalbardrein. Ved å overvåke denne datoen, kan man få et tidlig varsel om når reinsdyrene forventes å endre atferd, noe som kan være nyttig i vurdering av beitetilgang, ro og eventuelle forstyrrelser.

Meteorologisk start for vår, altså temperatur, hadde også en signifikant positiv effekt på aktivitetsknekkpunktet. Selv om snødekke gir et mer direkte mål på tilgjengelighet av beite, kan temperatur fungere som et tidlig og indirekte signal. Økende temperatur ved sesongskifte kan påvirke dyrenes fysiologiske prosesser ved å signalisere vårens ankomst. Dette underbygges også visuelt ved at den predikerte sammenhengen i figuren ligger under 1:1-linja, noe som indikerer at knekkpunktet i aktivitet som regel inntreffer før den meteorologiske starten for vår. Med andre ord begynner reinen å øke aktivitetsnivået allerede før temperaturen når det nivået som definerer vårstart. Dette tyder på at temperatur fungerer som et tidlig signal snarere enn en direkte utløser. Temperatur kan varsle om vårens ankomst og føre til fysiologiske og atferdsmessige endringer før det skjer synlige endringer i snødekke eller plantevekst (Chauveau et al., 2025; Loe et al., 2021). Studier har vist at temperaturstigning kan være et signal for dyr å øke aktivitetsnivået sitt før snøen er borte (Helm et al., 2013; Sheriff et al., 2010). Effekten av temperatur kan være kompleks, da det både kan ha direkte fysiologiske effekter på dyrene og indirekte effekter på vegetasjonen og mattilgangen. Det er mulig at reinsdyr responderer på temperatur i samspill med andre miljøsignaler, som snødybde og dagslys, noe som gjør temperatur til ett av flere utløsende faktorer for sesongmessig atferd (Arnold et al., 2018; Loudon, 1989). En økning i temperatur kan også skape en forventning om at beite snart blir tilgjengelig, selv om bakken fortsatt har snødekke. Dette kan forklare hvorfor aktiviteten øker før vegetasjonen er tilgjengelig. At variablene er nært knyttet sammen kommer også frem i analysene, hvor for eksempel vekstsesongens start og meteorologisk start på våren var moderat til sterkt korrelert ($r=0.58$, Vedlegg 2). At reinen responderer før vekstsesongens start og NDVI fanger opp grønn vegetasjon, kan tyde på

at temperatur og andre signaler brukes proaktivt i atferdsjustering. Samtidig kan reaksjonen på temperatur variere mellom individer, aldersgrupper eller livshistorietilstand (Smiley et al., 2022). Temperatur som indikator blir ekstra relevant i lys av klimaendringer, hvor tidligere meteorologisk start for vår kan føre til et skifte i atferd før beitet er tilgjengelig og dermed skape et mindre synkront forhold mellom energibehov og mattilgang (Post & Forchhammer, 2007). Dette kommer også frem i tidspunktet når knekkpunktet i aktivitetsnivået oppstår da det konsekvent kommer noen dager før vekstsesongens start de fleste årene. Med andre ord så øker reinens aktivitet før selve planteveksten er i gang. Dette tyder på at temperaturen og snødekke fungerer som forvarsler snarere enn en presis indikator på mattilgang. Dette støtter påstanden om et mindre synkront forhold.

Når korrelasjonen mellom miljøvariablene ble testet, er både 10% snøfritt, koeffisient variasjon i snødekket, og meteorologisk start for vår har høy korrelert med tidspunktet for vekstsesongens start og reinenes aktivitetsøkning. Snødekke, temperatur og vekstsesongen er tett knyttet sammen (Pedersen et al., 2015). Snødekke fungerer som en indikator på tilgjengeligheten av beite for reinen. Hastigheten og omfanget av snøsmelting er sterkt påvirket av temperaturen, som fungerer som en primær driver for både smelting og vegetasjonsvekst.

Vekstsesongens start hadde en signifikant effekt på knekkpunkt, noe som tyder på at svalbardreinen øker aktivitetsnivået senere i de årene der vegetasjonsutviklingen også er forsinket. Dette stemmer overens med hypotesen om at knekkpunktet reflekterer overgangen til en mer aktiv atferd i forkant av vekstsesongen. Det betyr likevel ikke at reinen nødvendigvis venter på selve vekststarten før de blir mer aktive. De har trolig allerede tilgang på flekker med eldre vegetasjon som har tint frem, eller på ny vegetasjon som begynner å vokse før NDVI-signalene blir sterke nok til å registreres i satellittdata. I likhet med det som beskrives i studien av Merkle et al. (2016), kan det hende at reinsdyrene «surfer» på en grønn bølge av kvalitetsbeite som gradvis blir tilgjengelig ut i vekstsesongen, og dermed utnytter områder med økt vegetasjonstilgjengelighet før den grønne bølgen, som måles med NDVI, er fullt synlig. Studien konkluderte med at syv av ti populasjoner surfer på den «grønne bølgen» og valgte beite med høy kvalitet, men at store planteetere ofte valgte områder med middels kvalitet. Dette kan indikere at fysiologiske faktorer og tidlig tilgjengelighet er viktigere enn å vente på maksimal plantekvalitet (Merkle et al., 2016). Denne tilpasningen kan være en forklaring på hvorfor

vekstsesonens start i seg selv ikke er et primært signal for aktivitetsøkning. Som vist i Aikens et al. (2020), kan både migrerende og ikke-migrerende klovdyr oppnå like store beitefordeler. For svalbardreinen, som er ikke-migrerende, betyr dette at de trolig responderer på lokale variasjoner i vegetasjonsutviklingen og starter aktivitetsøkningen før NDVI viser tydelige signaler (Aikens et al., 2020). Når temperaturen øker, smelter snøen raskere, og dermed blir beite tilgjengelig for reinen tidligere. Dette signaliserer til reinen at det er tid for å øke aktivitetsnivået, og derfor korrelerer rask smelting og mindre snødekke med en tidligere start på vekstsesonen. Videre har temperaturen en indirekte effekt på vekstsesonen, ettersom høyere temperaturer setter i gang biologiske prosesser i vegetasjonen, noe som fører til at vekstsesonen starter tidligere. Tidspunktet på smeltingen av snø og temperaturøkningen bidrar til når vekstsesonen kommer i gang (Kelsey et al., 2021).

4.3 Individuell variasjon

Individuelle forskjeller spiller en rolle i variasjonen i knekkpunkt, i tillegg til den årlige variasjonen som tidligere ble rapportert, selv om effekten ikke var helt signifikant ($p=0,06$). Dette skyldes nok at noen individer ved en tilfeldighet bare har data fra år med tidlig knekkpunkt eller bare data fra år med sene knekkpunkt. Sammenlignet med effekten av mellomårsvariasjon, er effekten av individuell variasjon begrenset. Selv om drektighet og vekt viser tendenser til å påvirke knekkpunktet, forklarer de langt mindre av variasjonen i reinens atferd enn faktorer som snødekke og temperatur. Dette indikerer at fysiologiske forskjeller spiller en sekundær rolle i forhold til årlige, klimatiske forhold.

Knekkpunktet til drektige simler kommer 2,7 dager senere enn hos simler som ikke er drektige. Grunnen til dette kan være knyttet til behovet for å spare energien til fosterutvikling i stedet for å begynne å søke etter ny vegetasjon. Dette funnet er ikke i tråd med hypotesen om at drektige dyr vil ha et tidligere knekkpunkt på grunn av økt energibehov knyttet til fosterutvikling. I stedet ser det ut til at de drektige simlene har en fysiologisk tilpasning der de venter på mer gunstige forhold før de bruker energiresurser på å lete etter beite. Dette samsvarer med forskning som viser at arter med overvintrede drektighet i stor grad er avhengige av lagrede energiresurser, og at reproduktiv suksess i slike arter i liten grad påvirkes av tidspunktet for vegetasjonens grønning. Kalveproduksjon hos svalbardrein er sterkt korrelert med simlenes kroppstilstand på

slutten av vinteren, og ikke med vårens fenologi (Veiberg et al., 2017b). Studien fant ingen sammenheng mellom tidspunkt for snøsmelting eller grønning og kalveoverlevelse, og konkluderte med at det er simlenes energistatus på senvinteren som bestemmer utfallet av reproduksjonen. Tidligere har Post og Forchhammer (2007) antydnet at caribou kan ha en strategi hvor de tidfester kalving for å synkronisere et langsiktig gjennomsnitt av gunstige forhold. De viste også at klimaendringer har ført til at vekstsesongen har blitt framskyndet i et tempo som gjør at caribouen ikke klarer å synkronisere kalvingen i same tempo. I årene med høyest forsinkelse i synkroniseringen mellom kalving og vekstsesong var kalvemortaliteten høyere enn vanlig. Denne tolkningen har imidlertid blitt utfordret fordi de blant annet ikke kontrollerte for sentrale faktorer som simlenes kondisjon, alder eller bestandstetthet, faktorer som er kjente for å påvirke reproduksjon (Veiberg et al., 2017b). Funnene som viser at drektige simler har et senere knekkpunkt sammenlignet med ikke-drektige simler kan dermed tolkes som en strategi hos svalbardreinen, hvor de begrenser energiforbruket inntil forholdene for beiting blir bedre. På samme måte som hos caribou, hvor en økende avstand mellom kalving og vekstsesong kan påvirke kalve kvalitet og overlevelse, kan en tilpasning i aktivitetsmønsteret hos drektige simler være viktig for å sikre god energibalanse fram mot kalving under varierende klimatiske forhold.

Tyngre simler hadde et knekkpunkt som i gjennomsnitt kom 0,19 dager senere for hver kilo ekstra de veide. Det vil si at hvis simla er 5kg tyngre vil knekkpunktet komme omtrent én dag senere. Dette støtter hypotesen om at individer med større energireserver har mulighet til å være mer tålmodige og vente med å øke aktivitetsnivået til forholdene er mer gunstige, da dyrene må veie opp energibehovet mot risikoen de tar ved å lete etter mer mat (Denryter et al., 2024; Joly et al., 2025). Denne fysiologiske tilpasningen kan bidra til å sikre at dyrene ikke bruker energi unødvendig, men heller venter på optimale forhold for mattilgang, spesielt i den kritiske perioden før vekstsesongen starter (Arnold et al., 2018). Selv om VIF-verdiene var lave i modellen der både drektighet og kroppsvekt var inkludert som forklaringsvariabler, tyder resultatene likevel på at tyngre simler har høyere sannsynlighet for å være drektige. Det kan være nyttig å knytte dette opp til det faktum at drektighet er en fysiologisk tilstand som krever mer energi, og at tyngre individer, som har større energireserver derfor er bedre rustet til å være drektige (Barboza & Parker, 2008; Hansen et al., 2010; Smiley et al., 2022). Reproduksjon krever såpass mye energi, at et individ ofte må ha en «trade-off» mellom overlevelse og reproduksjon

når det er begrenset med ressurser (Hamel et al., 2011). Hos svalbardrein er dette godt dokumentert, og studier har vist at simlenes kroppsmasse mot slutten av vinteren er den viktigste forklaringen på årlig variasjon i reprodutiv suksess og bestandsvekst (Veiberg et al., 2017b).

Alder hadde ikke en signifikant effekt på knekkpunktet, noe som tyder på at eldre og yngre dyr ikke skiller seg systematisk i hvordan de reagerer på når vårknipa er over. En viktig faktor kan være det begrensede aldersspennet i datasettet, da GPS-halsbåndene ikke har blitt satt på simler før de når en alder av 2,5–3 år, og det er først de siste årene at GPS-merkede simler, som opprinnelig ble merket som unge, har nådd en høy alder (10–12 år eller mer). Tidligere ble GPS-halsbåndene til eldre dyr byttet ut med vanlig plasthalsbånd etter en viss alder (Loe, pers. komm.). Denne aldersfordelingen kan forklare hvorfor alder ikke hadde en signifikant effekt på aktivitetsøkning. Det er også mulig at andre fysiologiske faktorer, som drektighet og kroppsvekt, har en sterkere innvirkning på når reinen øker aktivitetsnivået, uavhengig av alder.

Studien har noen klare begrensninger som bør tas i betraktning ved tolkning av resultatene, og som samtidig peker på viktige forbedringsmuligheter for videre forskning. Sammenligningen mellom Reindalen og Ny-Ålesund ble i stor grad begrenset av datagrunnlaget fra Ny-Ålesund, hvor aktivitetsdataene har lavere oppløsning og dekker færre individer. Dette gjør det vanskelig å trekke sikre konklusjoner om forskjeller mellom områdene. For fremtidige studier kan GPS- og bevegelsesdata være et verdifullt supplement eller alternativ til aktivitetsdata, særlig i områder med mindre dekning eller lavere kvalitet på eksisterende datasett. Videre er alderssammensetningen i datasettet skjev, med få veldig unge eller gamle individer. Dette begrenser mulighetene til å vurdere hvordan ulike livsstadier responderer på miljøendringer, og et mer balansert utvalg kunne gitt et mer helhetlig bilde av populasjonsdynamikken.

Endringer i tidspunktet for snøsmelting og vekstsesongens start kan få betydelige økologiske konsekvenser, særlig i form av fenologisk mismatch. Dersom plantenes næringsverdi topper seg før reinsdyrenes energibehov er på sitt høyeste, for eksempel under kalving, kan dette påvirke reproduksjon og kalveoverlevelse negativt (Post & Forchhammer, 2007). Mildere vintre og tidligere snøsmelting kan også føre til en økning i ekstreme værhendelser, som regn-på-snø (ROS), noe som kan redusere tilgjengeligheten av vinterbeiter og forsterke vårknipa som er en kritisk periode som allerede er assosiert med økt vinterdødelighet (Hansen et al., 2010; Peeters et al., 2019). Slike ROS-hendelser

ble ikke inkludert som forklaringsvariabler i analysene i denne studien, men bør vurderes i fremtidige analyser for å kunne forklare variasjon i reinsdyraktivitet mellom år. Temperaturdata og informasjon om ROS er lett tilgjengelig og kan dermed integreres i både videre forskning og forvaltningsarbeid. Samtidig tyder studier på at lengre vekstsesong og kortere vintre hittil har hatt en positiv effekt på reinsdyrene (Veiberg et al., 2017b). Dette understreker behovet for videre studier som tar høyde for lokale forhold, økologisk kompleksitet og variasjon over tid. Ved å plassere funnene i en større klimaøkologisk kontekst, med særlig vekt på hvordan endringer i fenologi og værforhold påvirker beitetilgang og overlevelse, kan studien bidra med viktig kunnskap for framtidig tilpasningsdyktig forvaltning.

5. Konklusjon

Studien bekrefter at det er en geografisk variasjon i når knekkpunktet inntreffer hos reinen i Ny-Ålesund og i Reindalen, som antatt i min første hypotese. Imidlertid var forskjellen mindre enn forventet, noe som kan forklares med mikroklimatiske forhold som påvirker knekkpunktene på lokal skala. Disse forholdene, som variasjoner i snødekke og temperatur på små geografiske områder, ser ut til å redusere den geografiske forskjellen i aktivitetsøkning. Dette understreker hvordan lokale forhold kan være viktige drivkrefter for reinens atferd. Hypotesen om at temperatur og snøforhold spiller en betydelig rolle for når knekkpunktet inntreffer er også bekreftet. De årlige variasjonene i snødekke og temperatur har vist seg å være de mest avgjørende faktorene som styrer når reinen øker aktivitetsnivået om våren. Dette bekrefter at miljøvariasjoner er de primære driverne for atferdsendringer hos reinen. Videre viser studien at individuelle faktorer, som drektighet og kroppsvekt, har en innvirkning på tidspunktet for knekkpunktet, selv om disse faktorene er mindre betydningsfulle enn de miljømessige variablene. Drektige simler synes å redusere aktivitetsnivået for å forvalte energiresursene sine mer effektivt, og venter til forholdene er mer forutsigbare. Dette motsier min andre hypotese som antok at drektige simler kom til å ha et tidligere knekkpunkt. Den delen av hypotesen som antok at tyngre dyr har et senere knekkpunkt er bekreftet da tyngre dyr kan utsette aktivitetsøkningen på grunn av større energireserver.

Samlet sett understreker studien viktigheten av å overvåke klimaindikatorer som temperatur og snødekke for å forstå hvordan svalbardreinen tilpasser seg raskt skiftende klimaforhold. Fremtidige klimaendringer kan påvirke tidspunktet for knekkpunktet, med konsekvenser for energibalanse, atferd og overlevelse hos reinen. Derfor er det avgjørende for forvaltningen å bruke data om klima og miljøforhold for å forutsi og håndtere fremtidige endringer i reinens atferd og overlevelse.. Blir dette gjort, kan man sikre en bærekraftig forvaltning av arten i møte med de utfordringene som følger med global oppvarming.

6. Referanseliste

- Aikens, E. O., Mysterud, A., Merkle, J. A., Cagnacci, F., Rivrud, I. M., Hebblewhite, M., Hurley, M. A., Peters, W., Bergen, S., De Groeve, J., Dwinnell, S. P. H., Gehr, B., Heurich, M., Hewison, A. J. M., Jarnemo, A., Kjellander, P., Kröschel, M., Licoppe, A., Linnell, J. D. C., ... Kauffman, M. J. (2020). Wave-like Patterns of Plant Phenology Determine Ungulate Movement Tactics. *Current Biology*, 30(17), 3444–3449.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.032>
- Albon, S. D., Irvine, R. Justin., Halvorsen, O., Langvatn, R., Loe, L. E., Ropstad, E., Veiberg, V., van der Wal, R., Bjørkvoll, E. M., Duff, E. I., Hansen, B. B., Lee, A. M., Tveraa, T., & Stien, A. (2017). Contrasting effects of summer and winter warming on body mass explain population dynamics in a food-limited Arctic herbivore. *Global Change Biology*, 23(4), 1374–1389. <https://doi.org/10.1111/gcb.13435>
- Arnold, T. W. (2010). Uninformative Parameters and Model Selection Using Akaike's Information Criterion. *The Journal of Wildlife Management*, 74(6), 1175–1178. <https://doi.org/10.1111/j.1937-2817.2010.tb01236.x>
- Arnold, W., Ruf, T., Loe, L. E., Irvine, R. J., Ropstad, E., Veiberg, V., & Albon, S. D. (2018). Circadian rhythmicity persists through the Polar night and midnight sun in Svalbard reindeer. *Scientific Reports*, 8(1), 14466. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32778-4>
- Banfield, A. W. F. (1961). *A revision of the reindeer and caribou, genus Rangifer* (Bd. 66). Dept. of Northern Affairs and National Resources.
- Barboza, P. S., & Parker, K. L. (2008). Allocating Protein to Reproduction in Arctic Reindeer and Caribou. *Physiological and Biochemical Zoology*, 81(6), 835–855. <https://doi.org/10.1086/590414>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2003). *lme4: Linear Mixed-Effects Models using «Eigen» and S4* (s. 1.1-37) [Datasett]. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.lme4>
- Bjørkvoll, E., Pedersen, Bård, Hytteborn, Håkan, Jónsdóttir, Ingibjörg S., & Langvatn, R. (2009). Seasonal and Interannual Dietary Variation During Winter in Female Svalbard Reindeer (*Rangifer Tarandus Platyrrhynchus*). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 41(1), 88–96. <https://doi.org/10.1657/1523-0430-41.1.88>
- Bruland, O., Liston, G. E., Vonk, J., Sand, K., & Killingtveit, Å. (2004). Modelling the snow distribution at two high arctic sites at Svalbard, Norway, and at an alpine site in central Norway. *Hydrology Research*, 35(3), 191–208. <https://doi.org/10.2166/nh.2004.0014>
- Burnett, H. A., Bieker, V. C., Le Moullec, M., Peeters, B., Rosvold, J., Pedersen, Å. Ø., Dalén, L., Loe, L. E., Jensen, H., Hansen, B. B., & Martin, M. D. (2023). Contrasting genomic consequences of anthropogenic reintroduction and natural recolonization in high-arctic wild reindeer. *Evolutionary Applications*, 16(9), 1531–1548. <https://doi.org/10.1111/eva.13585>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, 33(2), 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Chappel, R. W., & Hudson, R. J. (1978). Winter bioenergetics of Rocky Mountain bighorn sheep. *Canadian Journal of Zoology*, 56(11), 2388–2393. <https://doi.org/10.1139/z78-323>

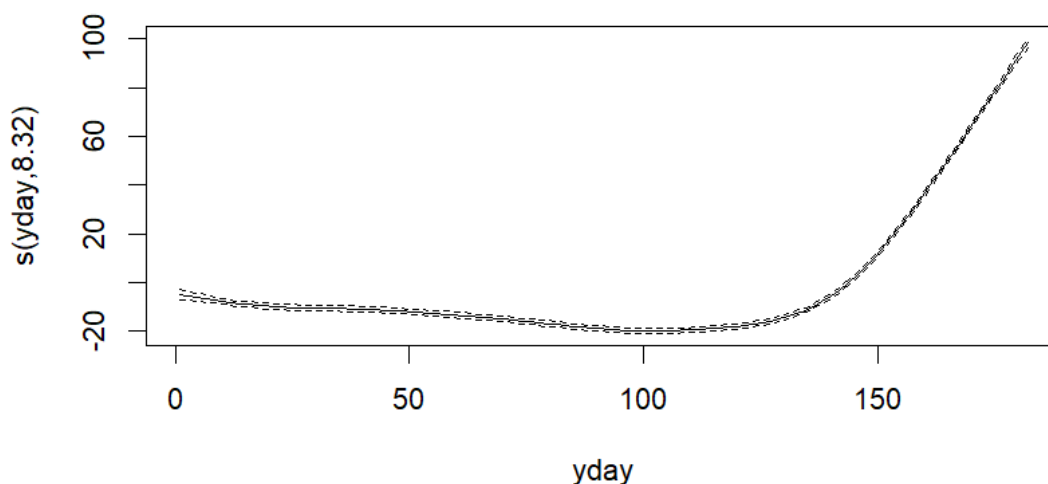
- Chauveau, V., Garel, M., Toïgo, C., Anderwald, P., Apollonio, M., Bassano, B., Beurier, M., Bouche, M., Brambilla, A., Brivio, F., Bunz, Y., Cagnacci, F., Canut, M., Cavailles, J., Champly, I., Filli, F., Frey-Roos, A., Gressmann, G., Grignolio, S., ... Marchand, P. (2025). It's time to go—Drivers and plasticity of migration phenology in a short-distance migratory ungulate. *Journal of Animal Ecology*, *n/a*(*n/a*). <https://doi.org/10.1111/1365-2656.70031>
- Corlatti, L., Bassano, B., Valencak, T. G., & Lovari, S. (2013). Foraging strategies associated with alternative reproductive tactics in a large mammal. *Journal of Zoology*, *291*(2), 111–118. <https://doi.org/10.1111/jzo.12049>
- Denryter, K., Stephenson, T. R., & Monteith, K. L. (2024). Migratory behaviours are risk-sensitive to physiological state in an elevational migrant. *Conservation Physiology*, *12*(1), coae029. <https://doi.org/10.1093/conphys/coae029>
- Derocher, A. E., Wiig, Ø., & Bangjord, G. (2000). Predation of Svalbard reindeer by polar bears. *Polar Biology*, *23*(10), 675–678. <https://doi.org/10.1007/s0030000000138>
- Descamps, S., Aars, J., Fuglei, E., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Pavlova, O., Pedersen, Å. Ø., Ravolainen, V., & Strøm, H. (2017). Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago – Svalbard, Norway. *Global Change Biology*, *23*(2), 490–502. <https://doi.org/10.1111/gcb.13381>
- Erriksson, L.-O., Källqvist, M.-L., Mossing, T., & Källqvist, M.-L. (1981). Seasonal Development of Circadian and Short-Term Activity in Captive Reindeer, *Rangifer tarandus* L. *Oecologia*, *48*(1), 64–70.
- Eveland, J., Gooseff, M. N., Lampkin, D. J., Barrett, J. E., & Takacs-Vesbach, C. (2012). Spatial and temporal patterns of snow accumulation and aerial ablation across the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Hydrological Processes*, *27*(20), 2864–2875. <https://doi.org/10.1002/hyp.9407>
- Farnsworth, W. R. (2013). *The Topographical and Meteorological Influence on Snow Distribution in Central Svalbard: How the spatial variability of snow influences slope-scale stability, permafrost landform dynamics and regional distribution trends*. University of Oslo. https://www.researchgate.net/profile/Wesley-Farnsworth/publication/260264402_The_Topographical_and_Meteorological_Influence_on_Snow_Distribution_in_Central_Spitsbergen_How_the_spatial_variability_of_snow_influences_slope-scale_stability_permafrost_landform_dynamics_and_regiona/links/0046353061bae009a1000000/The-Topographical-and-Meteorological-Influence-on-Snow-Distribution-in-Central-Spitsbergen-How-the-spatial-variability-of-snow-influences-slope-scale-stability-permafrost-landform-dynamics-and-region.pdf
- Ford, K. R., Ettinger, A. K., Lundquist, J. D., Raleigh, M. S., & Lambers, J. H. R. (2013). Spatial Heterogeneity in Ecologically Important Climate Variables at Coarse and Fine Scales in a High-Snow Mountain Landscape. *PLOS ONE*, *8*(6), e65008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065008>
- Fox, J., Weisberg, S., Price, B., Adler, D., Bates, D., Baud-Bovy, G., Bolker, B., Ellison, S., Firth, D., Friendly, M., Gorjanc, G., Graves, S., Heiberger, R., Krivitsky, P., Laboissiere, R., Maechler, M., Monette, G., Murdoch, D., Nilsson, H., ... R-Core. (2024). *car: Companion to Applied Regression* (Version 3.1-3) [Programvare]. <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>
- Gilg, O., Kovacs, K. M., Aars, J., Fort, J., Gauthier, G., Grémillet, D., Ims, R. A., Møltøfte, H., Moreau, J., Post, E., Schmidt, N. M., Yannic, G., & Bollache, L. (2012). Climate change and the ecology and evolution of Arctic vertebrates.

- Annals of the New York Academy of Sciences*, 1249(1), 166–190.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06412.x>
- Hamel, S., Côté, S. D., & Festa-Bianchet, M. (2011). Tradeoff between offspring mass and subsequent reproduction in a highly iteroparous mammal. *Oikos*, 120(5), 690–695. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19382.x>
- Hansen, B. B., Aanes, R., & Sæther, B.-E. (2010). Partial seasonal migration in high-arctic Svalbard reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). *Canadian Journal of Zoology*, 88(12), 1202–1209. <https://doi.org/10.1139/Z10-086>
- Helm, B., Ben-Shlomo, R., Sheriff, M. J., Hut, R. A., Foster, R., Barnes, B. M., & Dominoni, D. (2013). Annual rhythms that underlie phenology: Biological time-keeping meets environmental change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1765), 20130016.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0016>
- Holtan, M., Strand, O., Kastdalen, L., Bjerketvedt, D. K., Odland, A., Pape, R., & Heggenes, J. (2023). Wild Mountain reindeer *Rangifer tarandus tarandus* winter foraging: Snow-free areas a key resource for feeding. *Polar Biology*, 46(12), 1321–1334. <https://doi.org/10.1007/s00300-023-03204-x>
- Johansen, B. E., Karlsen, S. R., & Tømmervik, H. (2012). Vegetation mapping of Svalbard utilising Landsat TM/ETM+ data. *Polar Record*, 48(1), 47–63.
<https://doi.org/10.1017/S0032247411000647>
- Joly, K., Cameron, M. D., & White, R. G. (2025). Behavioral adaptation to seasonal resource scarcity by Caribou (*Rangifer tarandus*) and its role in partial migration. *Journal of Mammalogy*, 106(1), 96–104.
<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyae100>
- Karlsen, S. R., Elvebakk, A., Høgda, K. A., & Grydeland, T. (2014). Spatial and Temporal Variability in the Onset of the Growing Season on Svalbard, Arctic Norway—Measured by MODIS-NDVI Satellite Data. *Remote Sensing*, 6(9), Artikkel 9. <https://doi.org/10.3390/rs6098088>
- Kelsey, K. C., Pedersen, S. H., Leffler, A. J., Sexton, J. O., Feng, M., & Welker, J. M. (2021). Winter snow and spring temperature have differential effects on vegetation phenology and productivity across Arctic plant communities. *Global Change Biology*, 27(8), 1572–1586. <https://doi.org/10.1111/gcb.15505>
- Krop-Benesch, A., Berger, A., Streich, J., & Scheibe, K. (2011). *Activity Pattern—Users's Manual VECTRONIC Aerospace*.
- Le Moullec, M., Pedersen, Å. Ø., Stien, A., Rosvold, J., & Hansen, B. B. (2019). A century of conservation: The ongoing recovery of Svalbard reindeer. *The Journal of Wildlife Management*, 83(8), 1676–1686.
<https://doi.org/10.1002/jwmg.21761>
- Loe, L. E., Irvine, R. J., Bonenfant, C., Stien, A., Langvatn, R., Albon, S. D., Mysterud, A., & Stenseth, N. Chr. (2006). Testing five hypotheses of sexual segregation in an arctic ungulate. *Journal of Animal Ecology*, 75(2), 485–496.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01069.x>
- Loe, L. E., Liston, G. E., Pigeon, G., Barker, K., Horvitz, N., Stien, A., Forchhammer, M., Getz, W. M., Irvine, R. J., Lee, A., Movik, L. K., Mysterud, A., Pedersen, Å. Ø., Reinking, A. K., Ropstad, E., Trondrud, L. M., Tveraa, T., Veiberg, V., Hansen, B. B., & Albon, S. D. (2021). The neglected season: Warmer autumns counteract harsher winters and promote population growth in Arctic reindeer. *Global Change Biology*, 27(5), 993–1002. <https://doi.org/10.1111/gcb.15458>

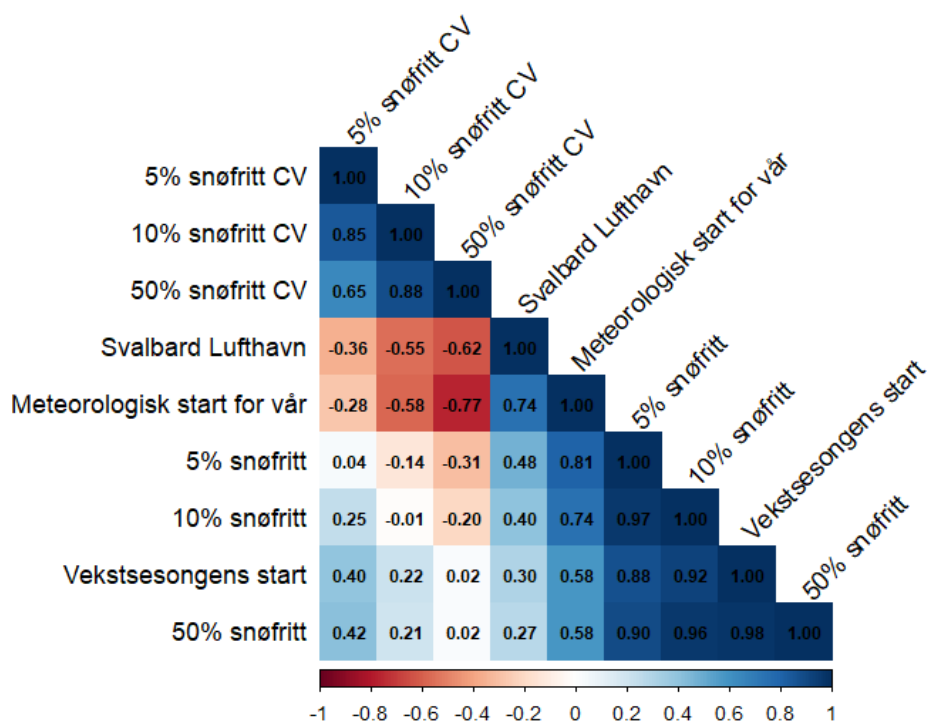
- Loudon, A. (1989). Rhythms of reproduction, metabolism and coat growth in deer: A model for all non-domesticated seasonal ungulates? *Zoological Journal of the Linnean Society*, 95(2), 107. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1989.tb02302.x>
- Mautz, W. W. (1978). Sledding on a Bushy Hillside: The Fat Cycle in Deer. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 6(2), 88–90.
- Merkle, J. A., Monteith, K. L., Aikens, E. O., Hayes, M. M., Hersey, K. R., Middleton, A. D., Oates, B. A., Sawyer, H., Scurlock, B. M., & Kauffman, M. J. (2016). Large herbivores surf waves of green-up during spring. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1833), 20160456. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0456>
- Muggeo, V. M. R. (2025). *segmented: Regression Models with Break-Points / Change-Points Estimation (with Possibly Random Effects)* (Versjon 2.1-4) [Programvare]. <https://cran.r-project.org/web/packages/segmented/index.html>
- NMBU. (2025). *Retningslinjer for bruk av kunstig intelligens (KI) ved NMBU*. <https://www.nmbu.no/retningslinjer-bruk-av-kunstig-intelligens-ki-ved-nmbu>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (Versjon GPT-4) [Kunstig intelligens-basert språkmodell]. OpenAI, Inc. <https://chatgpt.com>
- Paulsen, I. M., Soininen, E. M., Ravolainen, V., Loe, L. E., Hansen, B. B., Irvine, R. J., Stien, A., Ropstad, E., Veiberg, V., Fuglei, E., & Pedersen, Å. Ø. (2021). Don't go chasing the ghosts of the past: Habitat selection and site fidelity during calving in an Arctic ungulate. *Wildlife Biology*, 2021(2), wlb.00740. <https://doi.org/10.2981/wlb.00740>
- Pedersen, S. H., Liston, G. E., Tamstorf, M. P., Westergaard-Nielsen, A., & Schmidt, N. M. (2015). Quantifying Episodic Snowmelt Events in Arctic Ecosystems. *Ecosystems*, 18(5), 839–856. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9867-8>
- Pedersen, Å. Ø., Beumer, L. T., Aanes, R., & Hansen, B. B. (2021). Sea or summit? Wild reindeer spatial responses to changing high-arctic winters. *Ecosphere*, 12(12), e03883. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3883>
- Pedersen, Å. Ø., Paulsen, I. M. G., & Albon, S. (med Norsk Polarinstitutt). (2019). *Svalbard reindeer: (Rangifer tarandus platyrhynchus): a status report*. Norwegian Polar Institute. <https://brage.npolar.no/npolar-xmlui/bitstream/handle/11250/2629207/Rapport151.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peeters, B., Moullec, M. L., Pedersen, Å. Ø., Rosvold, J., & Hansen, B. B. (2020). *Human impacts on the distribution, abundance and population genetics of the Svalbard reindeer*. https://www.miljoernfondet.no/wp-content/uploads/2020/01/Rapport_SMF_14.137_15.105_NTNU.pdf
- Peeters, B., Pedersen, Å. Ø., Loe, L. E., Isaksen, K., Veiberg, V., Stien, A., Kohler, J., Gallet, J.-C., Aanes, R., & Hansen, B. B. (2019). Spatiotemporal patterns of rain-on-snow and basal ice in high Arctic Svalbard: Detection of a climate-cryosphere regime shift. *Environmental Research Letters*, 14(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaefb3>
- Post, E., & Forchhammer, M. C. (2007). Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1501), 2367–2373. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2207>
- Seklima (u.å.). *Observasjoner og værstatistikk*. <https://seklima.met.no/>
- Sheriff, M. J., Kenagy, G. J., Richter, M., Lee, T., Tøien, Ø., Kohl, F., Buck, C. L., & Barnes, B. M. (2010). Phenological variation in annual timing of hibernation and breeding in nearby populations of Arctic ground squirrels. *Proceedings of the*

- Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1716), 2369–2375.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2482>
- Skagseth, O. H. (2024). *Identifying drivers of calving in Svalbard Reindeer* [Master thesis, Norwegian University of Life Sciences].
<https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/3148320>
- Smiley, R. A., Wagler, B. L., LaSharr, T. N., Denryter, K. A., Stephenson, T. R., Courtemanch, A. B., Mong, T. W., Lutz, D., McWhirter, D., Brimeyer, D., Hnilicka, P., Lowrey, B., & Monteith, K. L. (2022). Heterogeneity in risk-sensitive allocation of somatic reserves in a long-lived mammal. *Ecosphere*, 13(7), e4161. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4161>
- Smit, B., & McKechnie, A. E. (2010). Avian seasonal metabolic variation in a subtropical desert: Basal metabolic rates are lower in winter than in summer. *Functional Ecology*, 24(2), 330–339. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01646.x>
- Stempniewicz, L., Kulaszewicz, I., & Aars, J. (2021). Yes, they can: Polar bears *Ursus maritimus* successfully hunt Svalbard reindeer *Rangifer tarandus platyrhynchus*. *Polar Biology*, 44(11), 2199–2206. <https://doi.org/10.1007/s00300-021-02954-w>
- Trondrud, L. M., Pigeon, G., Albon, S., Arnold, W., Evans, A. L., Irvine, R. J., Król, E., Ropstad, E., Stien, A., Veiberg, V., Speakman, J. R., & Loe, L. E. (2021a). Determinants of heart rate in Svalbard reindeer reveal mechanisms of seasonal energy management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1831), 20200215. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0215>
- Trondrud, L. M., Pigeon, G., Król, E., Albon, S., Evans, A. L., Arnold, W., Hambly, C., Irvine, R. J., Ropstad, E., Stien, A., Veiberg, V., Speakman, J. R., & Loe, L. E. (2021b). Fat storage influences fasting endurance more than body size in an ungulate. *Functional Ecology*, 35(7), 1470–1480. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13816>
- Trondrud, L. M., Ugland, C., Ropstad, E., Loe, L. E., Albon, S., Stien, A., Evans, A. L., Thorsby, P. M., Veiberg, V., Irvine, R. J., & Pigeon, G. (2022). Stress responses to repeated captures in a wild ungulate. *Scientific Reports*, 12(1), 16289. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20270-z>
- van der Knaap, W. O. (1989). Past Vegetation and Reindeer on Edgeoya (Spitsbergen) Between c. 7900 and c. 3800 BP, Studied by Means of Peat Layers and Reindeer Faecal Pellets. *Journal of Biogeography*, 16(4), 379–394. <https://doi.org/10.2307/2845229>
- Veiberg, V., Danielsen, P., Loe, L. E., Stien, A., Peeters, B., Hansen, B. B., Irvine, R. J., Ropstad, E., Albon, S. D., Tveraa, T., & Varpe, Ø. (2017a). Klimaeffektar på svalbardreinens kalvingstidspunkt. I 33 s. Norsk institutt for naturforskning (NINA). <https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/2447479>
- Veiberg, V., Loe, L. E., Albon, S. D., Irvine, R. J., Tveraa, T., Ropstad, E., & Stien, A. (2017b). Maternal winter body mass and not spring phenology determine annual calf production in an Arctic herbivore. *Oikos*, 126(7), 980–987. <https://doi.org/10.1111/oik.03815>
- Vickers, H., Karlsen, S. R., & Malnes, E. (2020). A 20-Year MODIS-Based Snow Cover Dataset for Svalbard and Its Link to Phenological Timing and Sea Ice Variability. *Remote Sensing*, 12(7), 1123. <https://doi.org/10.3390/rs12071123>
- Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., Zemla, J., Freidank, M., Cai, J., & Protivinsky, T. (2024). *corrplot: Visualization of a Correlation Matrix* (Versjon 0.95) [Programvare]. <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/index.html>

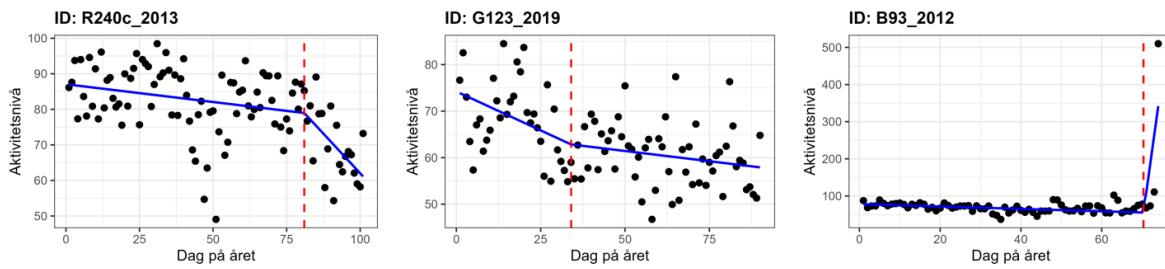
7. Vedlegg



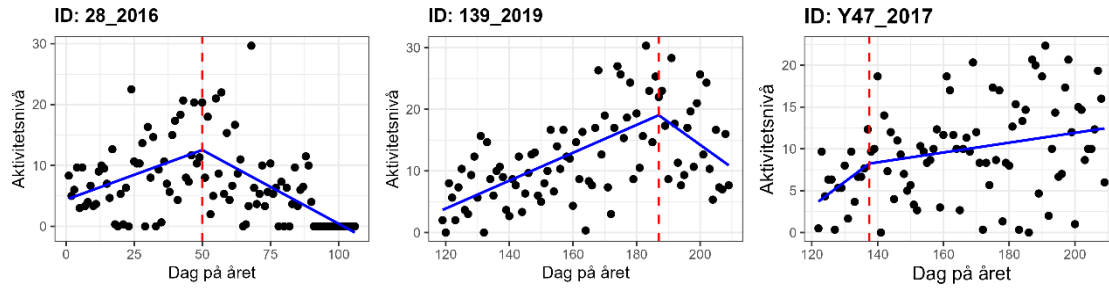
Vedlegg 1: Resultat fra en generalisert additiv modell (GAM) brukt til å beskrive endringen i gjennomsnittlig daglig aktivitetsnivå som funksjon av kalenderdag. Analysen viser at aktivitetsnivået er relativt stabilt fram til omtrent dag 130, deretter øker det tilnærmet lineært fram mot dag 183.



Vedlegg 2: Korrelasjonsmatrise mellom ulike miljøvariabler. Verdiene viser Pearsons' korrelasjonskoeffisienter mellom tidspunkt for 5%, 10% og 50% snøfritt område, meteorologisk start for vår, dato for når det er snøfritt ved Svalbard lufthavn, vekstsesongens start, samt koeffesient variasjonen for snøvariablene. Blå farge indikerer positive korrelasjoner, mens røde farger viser negative korrelasjoner. Mørk farge tilsvarer sterk korrelasjon.



Vedlegg 3: Segmenterte regresjonsmodeller for aktivitetsnivået fra tre forkastede ID-år fra Reindalen. Den blå linjen viser aktivitetsnivå gjennom våren, og den røde stiplede linjen markerer knekkpunktet. Aktivitet er målt som summen av akselerometerverdier over 5-minutters intervaller.



Vedlegg 4: Segmenterte regresjonsmodeller for aktivitetsnivået fra tre forkastede ID-år fra Ny-Ålesund. Aktivitet er målt som akselerometerverdier registrert hver 8. time. Den blå linjen viser aktivitetsnivå gjennom våren, og den røde stiplede linjen markerer knekkpunktet.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelege universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway