

Virtuella stängsel: ett flexibelt verktyg för skötsel av naturbetesmarker

Lotten Wahlund & Matthew Hiron

SustAinimal Reports #2 | 2023

SustAinimal











THIS PROJECT HAS RECEIVED FUNDING FROM
THE **EUROPEAN UNION' HORIZON 2020 RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMME**
UNDER GRANT AGREEMENT N. 774124

Virtuella stängsel: ett flexibelt verktyg för skötsel av naturbetesmarker

Utgivningsår: 2023, Uppsala
Utgivare: SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård
Layout: Peter Sjöholm, SLU Grafisk Service
Omslagsfoto: Lotten Wahlund
Tryck: SLU Grafisk Service
ISBN: 978-91-576-9928-2 (elektronisk)
978-91-576-9929-9 (tryckt)

Innehåll

Förord ----- 5

Sammanfattning ----- 6

Summary ----- 7

Introduktion ----- 8

Mål och syfte ----- 12

Genomförande ----- 13

Resultat och diskussion ----- 17

Framtida forskningsbehov ----- 25

Slutsats ----- 26

Övrigt ----- 26

Referenser ----- 27

Bilaga 1 ----- 29

Förord

Det finns ett stort intresse för en framtida användning av virtuell stängselteknik i Sverige som grundar sig i dess potential att snabbt och flexibelt hägna in betesdjur, styra betestrycket och få ökad kontroll över djuren på bete. Denna rapport presenterar delresultat kring naturvårdsfrågeställningar från den första studien i Sverige där virtuell stängselteknik testades för att hägna in nötkreatur på bete. År 2019 startades ett projekt på RISE som undersökte förutsättningarna för att använda tekniken i Sverige (Wahlund 2021) samtidigt som SLU (EU-projektet Super-G) genomförde en omfattande enkätstudie för skötsel av gräsmarker där virtuella stängsel lyftes fram som ett viktigt framtida skötselverktyg. Parterna RISE och SLU/Super-G utvecklade därefter i samarbete under 2020 idén till denna studie. På grund av pandemin fördröjdes projektstart till år 2022, vilket bidrog till att fler samarbetspartners och resurser kunde knytas till projektet i form av Världsnaturfonden WWF och SLUs centrumbildning SustAinimal genom industridoktorand Lotten Wahlund (RISE/SLU). I detta samarbetsprojekt har vi både studerat frågeställningar kring naturvård, hur tekniken kan användas för skötsel av naturbetesmarker för att bidra till biologisk mångfald, vilket är fokus i denna rapport, men även hur tekniken inverkar på djurvälfärden. De utökade resurserna bidrog till att studien kunde förlängas med fler veckor och fler vegetationsmätningar. Alla tre samarbetspartners har haft en betydande roll för genomförandet av Sveriges första projekt med virtuella stängsel på nötkreatur.

Ett stort tack riktas till medverkande lantbrukare och medarbetare för ert engagemang. Vi vill även tacka Frida Petters, Anders Ringmar och Per Peetz Nielsen (RISE) samt Anna Jansson, Lars Rönnegård, Teresa Johansson och Sönke Eggers (SLU) för all hjälp i projektet. Tack till Benny Willman för inventering av arter och slutligen tack till Jenny Jewert (WWF) för input och synpunkter på vägen.

Lotten Wahlund och Matthew Hiron
15 maj 2023

Sammanfattning

Variation i livsmiljöer knutna till åker- och betesmark har identifierats som avgörande för en varierad flora och fauna i jordbrukslandskapet och särskilt viktiga för den biologiska mångfalden är gräsmarker som betas. Idag sköts många gräsmarker homogent med antingen för högt eller lågt betestryck, vilket kan leda till att marker betas för intensivt eller att de växer igen. Att skapa variation inom en betesmark genom optimerad och kontrollerad styrning av betestrycket utifrån naturvårdsbehov kräver stor arbetsinsats. För att främja den biologiska mångfalden i jordbrukslandskapet finns ett stort behov av flexibla lösningar för skötsel av värdefulla betesmarker. Virtuella stängsel, en teknik där betesdjuren hägnas in digitalt med hjälp av GPS-halsband som avger ljudsignaler och elstötar om djuren går utanför en definierad GPS-gräns (virtuell stängselgräns) skulle kunna underlätta för en mer flexibel och skräddarsydd skötsel av gräsmarker med höga naturvärden. Syftet med studien var att undersöka möjligheten att med hjälp av virtuell stängselteknik hägna in nötkreatur och styra betestrycket i en naturbetesmark. Tekniken testades på sju kvigor under sju veckor från maj-juli 2022. Flera olika virtuella stängselgränser introducerades och flyttades inom en befintlig hage med konventionellt elstängsel runt. Djuren lärde sig snabbt att associera ljudsignalen med de virtuella gränserna och anpassade sin vistelseyta utifrån dessa. Detta avspeglades även i resultatet från vegetationsmätningar som visade på en variation i gräshöjd i olika delar av hagen. Virtuell stängselteknik kan därför vara ett snabbt, flexibelt och effektivt verktyg för skötsel och styrning av betestryck. Vi ser många möjliga naturvårdstillämpningar för tekniken i Sverige men fler studier kring specifika skötselåtgärder bör prioriteras för att få mer kunskap om teknikens fulla potential.

Summary

Variation in habitats associated with arable and pasture land has been identified as crucial for the diversity of flora and fauna in agricultural landscapes. Today, many grasslands are managed homogeneously with either too high or too low grazing pressure, which can lead to overgrazing or overgrowth with woody plants. Creating variation within a pasture through optimised and controlled management of grazing pressure based on conservation needs requires considerable effort. There is therefore a need for cost-effective and flexible solutions for the management of valuable pastures. Virtual fencing, a technology where grazing animals are digitally fenced in using GPS collars that emit sound signals and electric pulses if animals go outside a defined GPS boundary (virtual fence boundary), could facilitate more flexible and tailored management of high nature value grassland. The aim of the study was to investigate the possibility of using virtual fencing technology to fence in cattle and control grazing pressure in a semi-natural pasture. The technology was tested on seven heifers over seven weeks from May-July 2022. Several virtual fence boundaries were introduced and moved within an existing paddock with electric fencing around it. The animals learned to associate the sound signal with the virtual boundaries and adapted their grazing accordingly. This was also reflected in vegetation measurements which showed a variation in grass height in different parts of the paddock. Virtual fencing technology can therefore be a fast, flexible and effective tool for management and control of grazing pressure . We see many possible conservation applications for the technology in Sweden, but more studies on specific management measures should be prioritised to gain more knowledge about the full potential of the technology.

Introduktion

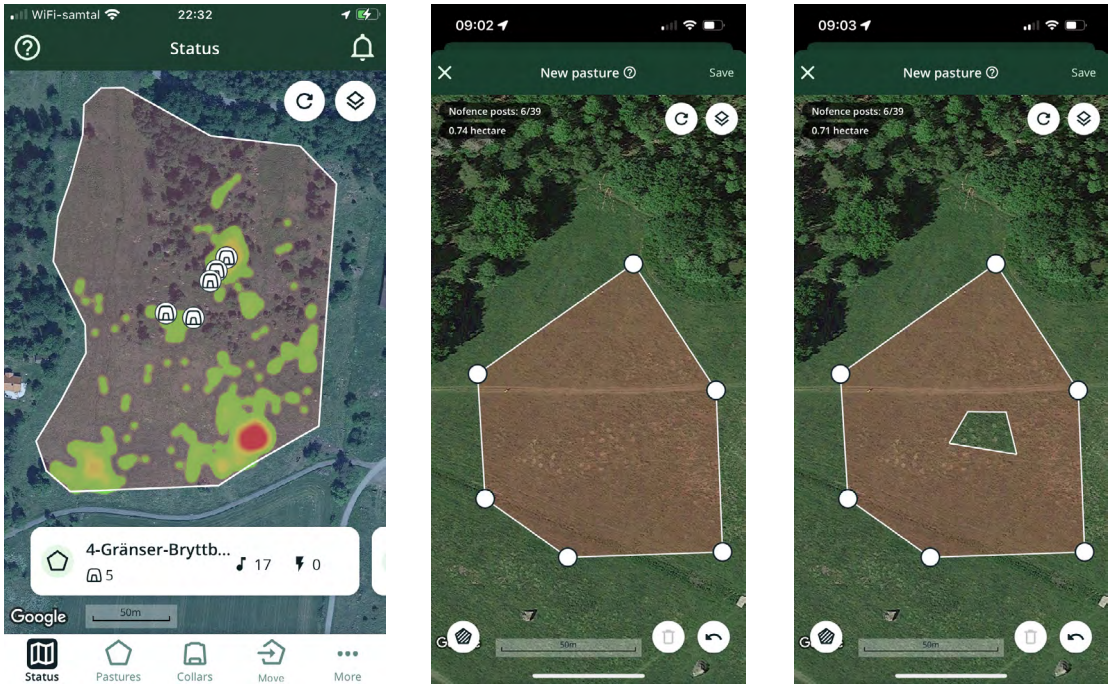
Gräsmarker som betas är mycket viktiga för den biologiska mångfalden och för att bidra till ekosystemtjänster (Bengtsson et al., 2019; Schils et al., 2022). Variation i livsmiljöer har identifierats som avgörande för en varierad flora och fauna i jordbrukslandskap (Fahrig et al., 2011; Benton et al., 2003), inklusive växter, pollinerande insekter och hotade fåglar (Berg et al., 2019; Hiron et al., 2015; Questad och Foster 2006). Att bryta trenden mot den ökande homogena skötseln av jordbruksmark har föreslagits som ett viktigt verktyg för att vända negativa populationstrender för arter i jordbrukslandskapet (Benton et al., 2003; Wilson et al., 2005). Gräsmarker är dessutom erkänt viktiga för den biologiska mångfalden i Sverige där 22 gräsmarkshabitat omfattas av EU:s habitatdirektiv. Trots detta anses statusen för gräsmarkshabitattyper inte vara gynnsam (Aronsson et al., 2020) och detta kan delvis vara kopplat till utmaningar för skötseln av naturbetesmarker (se t.ex. Cousins et al., 2003).

Flora och fauna som är knutna till betade gräsmarker kan behöva en kort vegetation, hög vegetation eller en blandning av dessa för att fullfölja sin livscykel (Fahrig et al., 2011; Nilsson et al., 2013; Berg et al., 2019; Ahrné et al., 2020). Dessutom kan arter som kräver betad vegetation också skadas av betande djur om betet är för intensivt eller sker under känsliga perioder (Pakanen et al., 2011; Birdlife International). Vidare, och kanske viktigast av allt, är att många gräsmarker är homogent skötta med antingen för låga eller för höga djurtätheter och det kan vara svårt att bedöma den optimala djurtäthet som behövs för den biologiska mångfalden (Spörndly och Glimskär 2018). Detta kan resultera i gräsmarker med lägre nivåer av biologisk mångfald eftersom vissa har för kort vegetation (hög djurtäthet) medan andra genomgår ekologisk succession med högre vegetation och buskageintrång (för låg djurtäthet).

För att upprätthålla populationer av arter som kräver variationsrika livsmiljöer i gräsmarker kan det krävas en flexibel anpassning av betestrycket (Pakanen et al., 2011; Berg et al., 2019; Kindvall et al., 2022). Dessutom kan vissa betesmarker innehålla områden med gräsmarker med högt naturvärde och andra områden med ett lägre naturvärde med avseende på botanisk sammansättning. Att på ett enkelt sätt kunna styra betestrycket till områden med högre naturvärden skulle kunna garantera en riktad skötsel där det behövs mest för naturvården. Precisionsskötsel med flexibla betessystem där betestrycket kan ökas eller minskas både rumsligt och tidsmässigt för specifika naturvårdsmål skulle kunna underlätta en effektivare skötsel av gräsmarkerna som bidrar till den biologiska mångfalden. Kostnaderna för djurproducenter att sätta upp och underhålla stängsel har dock föreslagits som ett hinder för viljan att beta dessa marker (Jamieson och Hessle 2021; Jordbruksverket 2009; Jordbruksverket 2022). Användningen och intresset för digitala tekniker inom animalieproduktionen ökar, där vissa skulle kunna underlätta för en mer flexibel och effektiv naturvårdsskötsel av betesmarker med höga naturvärden (Jordbruksverket 2020). En av dessa är virtuell stängselteknik, som på senare tid har fått stor uppmärksamhet i media samtidigt som intresset och viljan att använda tekniken ökar i branschen.

Virtuell stängselteknik

Virtuella stängsel för betande djur, som bygger på GPS-positionering är en relativt ny teknik. Som beskrivet ovan ökar intresset för tekniken men för närvarande finns endast ett fåtal märken tillgängliga på marknaden som exempelvis e-Shepard från Australien, Halter från Nya Zeeland och Vence från USA. Dessa system används främst till nötkreatur. Därutöver finns Nofence som är utvecklat i Norge, där det kommersiellt använts på getter sedan 2018 samt nötkreatur och får sedan 2020 (Wahlund 2021). I Europa är Nofence den mest använda tekniken av de ovanstående både för forskning och kommersiell användning. I september 2022 använde cirka 50 000 djur Nofence system (Nofence hemsida 2022). Nofence-systemet består av ett halsband med en sensor som dels kommunicerar med satelliter (GPS/GLONASS) och dels med det mobila datanätet.



Figur 1. Virtuell hage i Nofence-appen. De vita linjerna symboliserar GPS-gränsen. Varje rund vit symbol i den vänstra bilden symboliserar en djurindivid. Den vänstra bilden är vyn av en värmekarta, där röd färg symboliserar var djuren spenderat mycket tid och gulgrön lite mindre. De ofärgade områdena har djuren lämnat orörda.

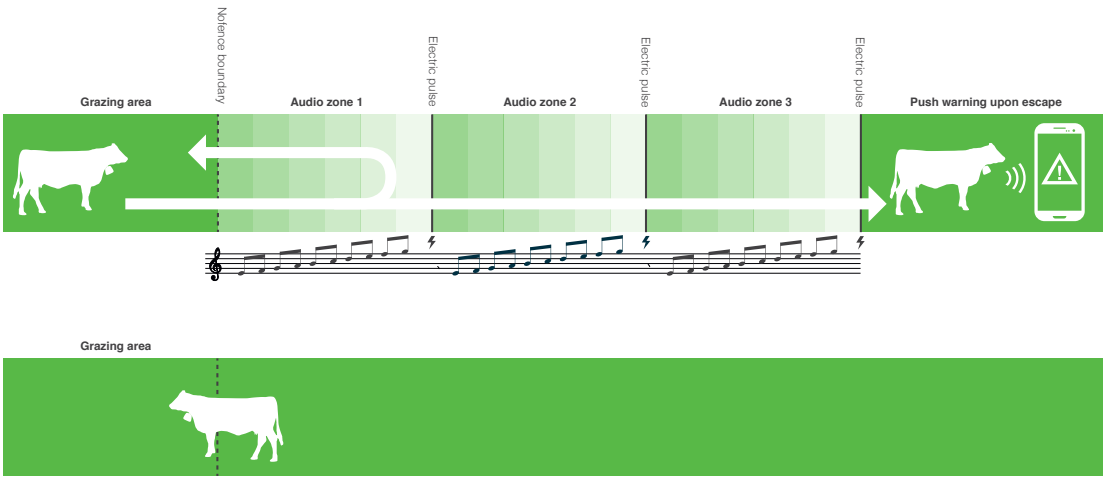
För att skapa och ändra en beteshage med Nofence-tekniken används en smartphone och Nofence-app. På en digital karta väljer användaren var den virtuella gränsen ska placeras, de vita linjerna i figur 1. Fler vita punkter kan adderas och flyttas efter önskemål och det är möjligt att skapa flera beteshagar samt avgränsningar inom en virtuell hage, exkluderingszon (mellersta bilden i figur 1). Aktivering och avaktivering av virtuella hagar samt beslut om vilka djur som ska placeras i vilken hage sker också via appen. Där får också användaren information om antalet ljudsignaler och elstötar på grupp- eller individnivå. Via en live-track funktion kan användaren se och följa djurens position dygnet runt (högra bilden, figur 1). Användaren kan också se var djuren befunnit sig i betesmarken med hjälp av värmekartor som kan sammanfattas för olika tidsperioder (högra bilden, figur 1).

Hur fungerar Nofence-tekniken?

Alla djur som hägnas in med Nofence-tekniken bär ett halsband. När djuret passerar en virtuell gräns (GPS-gräns/Nofence boundary) avger halsbandet en ljudsignal med stigande ljudfrekvens, ljudzon 1 (audio zone) (figur 2). Ljudet signalerar till djuret att det befinner sig utanför det tillåtna betesområdet. Om djuret vänder om och går tillbaka in i betesområdet (önskat beteende) upphör signalen, men om djuret fortsätter framåt och ljudsignalen når sin maximala frekvens (efter 5–20 sekunder beroende på djurets hastighet) avger halsbandet en svag elektrisk stöt. Styrkan på elstöten är 0,1 Joule för får och getter och 0,2 Joule för nötkreatur med en maximal spänning på 1,5 kV i 0,5 sekunder. Detta är betydligt svagare jämfört med ”vanliga” elstängsel som normalt har en styrka på 5 joule med en spänning på 7 kV. Stannar djuret kvar utanför den virtuella gränsen efter den första elstöten upprepas förfarandet med ljudsignal och elstöt av samma styrka. Ett djur kan få maximalt tre ljudsignaler (passera genom tre ljudzoner) och tre elstötar på sin väg ut ur hagen, därefter stängs systemet av och lantbrukaren får ett meddelande i sin app om att djuret har rymt. GPS-funktionen fortsätter att fungera även utanför betesområdet så djuret kan spåras både inom och utanför den virtuella hagen. När djuret återvänder till hagen sker en automatisk aktivering av systemet när halsbandet är tillbaka på rätt sida av den virtuella gränsen. På sin väg tillbaka in i hagen avger halsbanden inga ljudsignaler eller elstötar.

Enligt 2 kap. 16 § djurskyddsförordningen (2019:66) är det inte tillåtet att använda utrustning som ger elektriska stötar i avsikt att styra djurs beteende. Elstängsel är dock ett undantag från detta men 2019 tog Jordbruksverket beslut om att virtuell stängselteknik inte kan klassas som ett elstängsel och är därmed för närvarande inte tillåten att användas i Sverige för kommersiellt bruk. Beslutet grundar sig i en litteratursammanställning av vetenskapliga publikationer fram till och med år 2018 där det lyftes fram att det behövs mer kunskap och forskning kring hur tekniken påverkar djurvälfärden innan ett eventuellt godkännande skulle vara möjligt i Sverige (Wahlund 2021).

För att Sverige ska kunna nå miljömålet om Ett rikt odlingslandskap och samtidigt upprätthålla produktion och lönsamhet i lantbruket krävs nya verktyg som kan underlätta för en mer flexibel och effektiv betesdrift. Virtuella stängsel, en teknik där betesdjuren



Figur 2. Systemet för ljudsignaler, elstötar och notis vid rymning. Illustration Nofence AS

digitalt hägnas in med hjälp av GPS-halsband och som avger ljudsignaler och elstötar om djuren går utanför en definierad GPS-gräns, har stor potential att leva upp till detta där naturvårdsskötsel av betesmarker med höga naturvärden är en viktig del. Innan 2022 hade inga praktiska försök genomförts med tekniken i Sverige, så det finns behov av att visa hur tekniken fungerar och kan användas i praktiken för att hägna in nötkreatur och styra betestryck med virtuella gränser.

Mål och syfte

Projektet syftade till att testa virtuell stängselteknik tillsammans med en nötköttsproducent på betesmark med höga naturvärden. Vi undersökte hur tekniken kunde användas för att styra betestryck. Målet var att ge kunskap om hur tekniken kan användas för att sköta gräsmarker med höga naturvärden för ökad biologisk mångfald. Målet var även att visa hur nötkreatur lär sig tekniken och fungerar med systemet under en längre period.

Genomförande

Under betessäsongen 2022 testades om ett virtuellt stängsel kan användas på nötkreatur för att styra betestryck inom en naturbetesmark med elstängsel runt och därmed skapa områden med kort, medelhög och hög vegetation.Vi testade även att avgränsa ett specifikt område i hagen med hypotesen att detta var av känslig natur för att se om vi kunde få djuren att undvika detta område. Slutligen testade vi en fullvärdig virtuell hage med fyra sidor för att se om tekniken lämpar sig att användas utan en yttre fysisk gräns (elstängsel).

Djuren och deras utrustning

Djurgruppen bestod av totalt 7 kvigor, varav tre var renrasiga SLB och fyra var korsningar av Holstein/Hereford med en ålder om ca 12 månader i maj 2022. Djuren hade inte erfarenhet till elstängsel eller virtuell stängelteknik vid försöksstart. Under hela försöket bar de varsitt halsband av märket Nofence (nötkreatursmodell av årgång 2020). Halsbanden vägde 1300 gram och hade en batterikapacitet på 20Ah (figur 3). Nofence-halsbanden sattes på djuren på stall innan de transporterades till och släpptes ut i försökshagen. Djuren gick i försökshagen 19 maj till 4 juli 2022.

Försökshagen och de virtuella gränserna

Försöket genomfördes i en betesmark belägen i Norduppland. Försökshagen var 5,5 ha med inslag av både produktionsvall, äldre vall och naturbete med blandskog och buskar. Hagen omgavs av ett yttre stängsel i form av elstängsel med 2 trådar.

Djuren släpptes ut i försökshagen 19 maj 2022. Under sina fem första dagar i hagen fick de acklimatisera sig till den nya miljön. Innan virtuella stängsel kan användas fullt ut behöver djuren lära sig att reagera korrekt vid den virtuella gränsen, dvs. vända tillbaka in i



Figur 3. Halsband som användes i försöket. Foto Lotten Wahlund

den virtuella hagen när halsbandet avger en ljudsignal (inlärningsperiod). I studien följde vi Nofence rekommendation om 1 veckas inlärningsperiod. Efter fem dagar i försökshagen (acklimatiseringsperioden) introducerade vi den första virtuella gränsen, som avgränsade försökshagen från den ena långsidan till den andra (figur 5b). Djurens vistelseyta (3 ha) var då begränsad till den norra delen av hagen och de gick med denna gräns under en vecka (inlärningsperioden). Därefter utökade vi den virtuella hagen genom att flytta den tidigare virtuella gränsen ca 30 meter söderut i hagen samtidigt som vi introducerade en ny gräns uppe i nordvästra hörnet av hagen (figur 5c). Djurens vistelseyta var under denna period 4,5 ha. Djuren gick med dessa två virtuella gränser i två veckor varefter vi genomförde den sista förändringen i form av en fullvärdig

virtuell hage, dvs. enbart virtuella gränser på alla sidor. Den virtuella gränsen var placerad ca 20-30 meter innanför det fysiska elstängslet, vistelseytan var 4 ha och djuren gick i denna hage i tre veckor innan försöket avslutades (figur 8).

Halsbanden var aktiverade under hela försöksperioden. Datainsamling av djurens GPS-position skedde automatiskt via halsbanden var 15:e minut eller oftare i de fall djuren var nära en virtuell gräns. Informationen skickades till appen och webbportal. Halsbanden registrerade även antal ljudsignaler och stötar samt position för dessa under hela försöket. De olika virtuella gränserna beskrivet ovan var i form av separata virtuella hagar som vi på förhand skapat i appen. Innan djuren släpptes ut i hagen och försöket påbörjades testade vi och kontrollerade gränserna genom att gå med aktiverade halsband i hagen för att få kännedom om positionen för dessa. När djuren introducerades till en ny gräns flyttades djuren med hjälp av appen direkt från den ena hagen till den andra.

Vegetationsmätningar

Mellan den 5 maj till 13 juni genomfördes veckovisa vegetationsmätningar längs ett digitalt transektsystem i programmet Field Maps på en Samsung Tab Active 3. med GPS. Transekterna var placerade med 20 meters mellanrum över de öppna områdena i betesmarken (figur 4). Mätning genomfördes vart fjärde steg med en elektronisk plattmätare Jenquip EC20. Plattmätardata exporterades till CSV-filer efter varje dag. Varje vegetationsmätning (nedtryckt vegetationshöjd) åtföljdes av en GPS-position från Jenquip EC20-plattmätaren. Totalt genomfördes ca 3 000 vegetationsmätningar under de sju veckor som studien pågick.

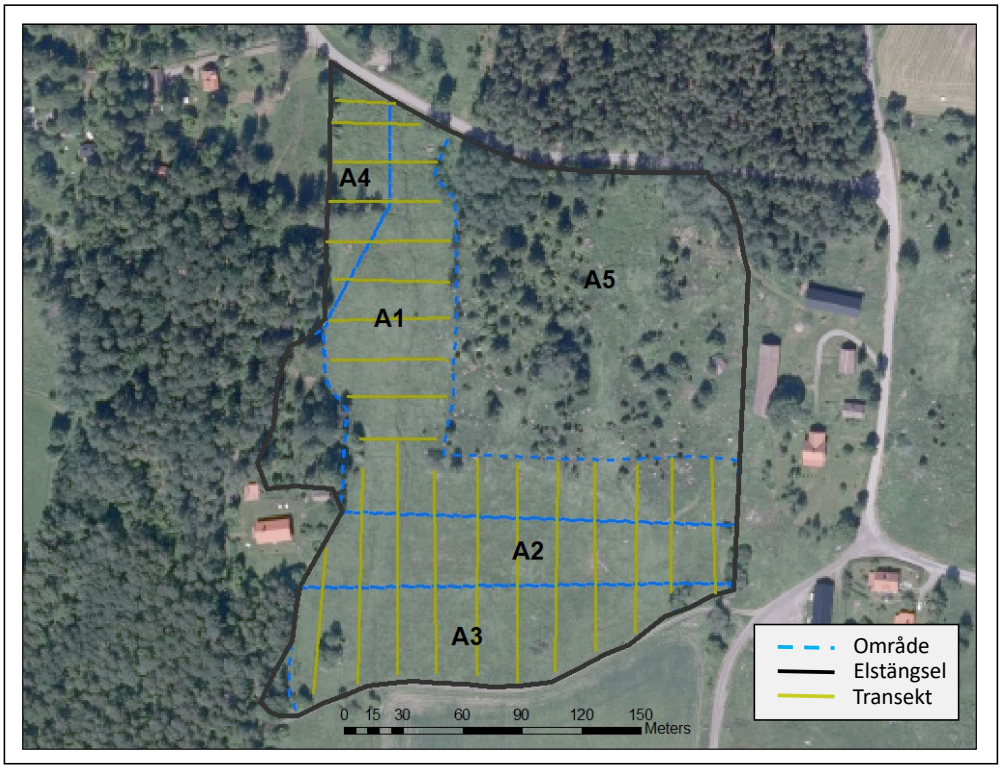
Alla CSV-filer med de veckovisa vegetationsmätningarna sammanställdes i statistikprogrammet R och exporterades till kartprogrammet GIS (ArcMap) och konverterades till en fil med punkter för varje enskild vegetationsmätning. Med hjälp av intersect-funktionen i ArcMap separerades de veckovisa vegetationsmätningarna efter position i förhållande till polygoner som avgränsade olika delar av betesmarken (figur 4) och olika betestrycknivåer sett över hela försöksperioden. GIS-analysen gjorde det möjligt att dela upp mätpunkterna för vegetationsmätningar i sektioner enligt virtuella stängselscenarier (figur 4 och 5).

För dataanalys och resultattolkning delades studien in i tre faser (tabell 1). Den första fasen (förperiod) inkluderade perioden innan betessläpp samt de fem första dagarna efter betessläpp då djuren betade i hela hagen utan virtuella gränser. Under denna period samlades basdata för vegetation in. Fas två (försöksperioden) inkluderade perioden då den första virtuella stängselgränsen aktiverades (inlärningsperioden) samt de två efterföljande veckor med två virtuella gränser (flytt av gräns samt introduktion av ny gräns). Under fas två användes de virtuella gränserna som avgränsningar inom den fysiskt inhägnade försökshagen (figur 4 och 5). Under den tredje och sista fasen hägnades djuren in i en fyrsidig virtuell hage (figur 8).

Följande betesscenarier skapades under fas 2 (figur 4, figur 5 och tabell 1):

- Betas hela försöksperioden (område A1 och område A5)
- Betas delar av försöksperioden, inklusive avgränsning av ett område med hypotetiskt känslig natur (områdena A2 och A4).
- Ej betat under försöksperioden (område A3)

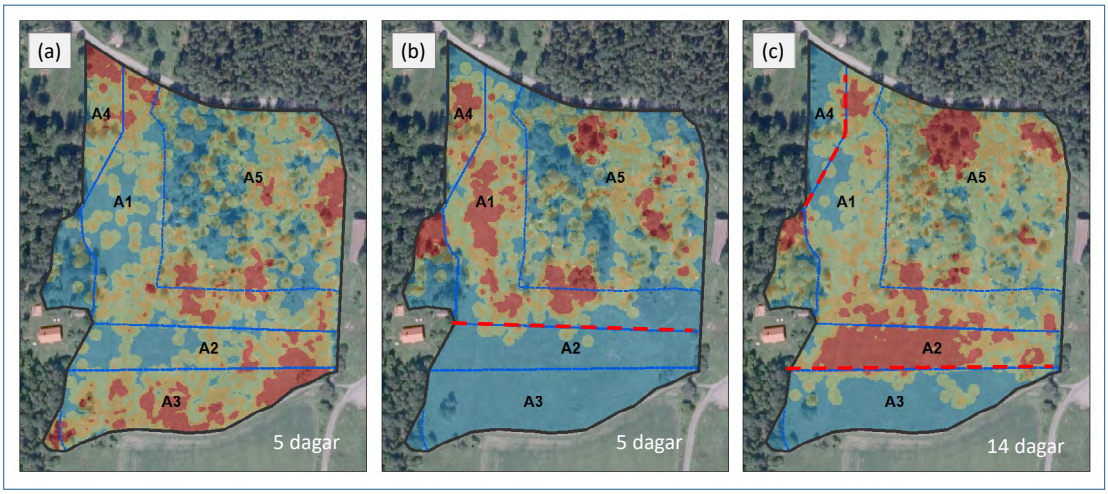
GPS-data från djurens positionering användes för att skapa värmekartor med verktyget Kernel Density i ArcMap. De blandade modellerna för vegetationshöjd och modellens resultatfigurer togs fram i paketen ”Lme4” och ”effects” i R (R Core Team 2019).



Figur 4. Platsen för studien. Områdena motsvarar de olika scenarierna med virtuella stängsel: område A1 betades under hela försöksperioden, områden A2 och A4 betades under delar av försöksperioden och område A3 betades inte under försöksperioden. Området A5 betades under hela perioden men användes inte för vegetationsanalysen. Transekter är de linjer som följdes i fält när vi utförde veckovisa vegetationsmätningar.

Tabell 1. Beskrivning av studiens indelning i faser och scenarier för vegetationstillväxt och mätningar för dessa.

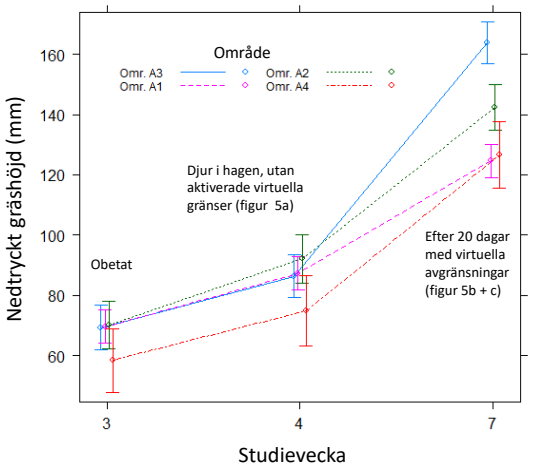
Fas	Scenarie	Datum	Vegetationsmätningar veckor	Beskrivning
1 Förperiod	Innan betessläpp och 5 dagar med djur men inga virtuella gränser aktiverade	5-23 maj	V1-V4	Återspeglar vegetationstillväxten i olika områden tidigt på säsongen utan nötkreatur samt med nötkreatur de 5 första dagarna efter betessläpp då djuren betade i hela hagen (dvs. inget virtuellt stängsel aktiverat). Se värmekarta (figur 5a).
2 Försöksperiod	En virtuell gräns(djurens inlärningsperiod)	24-30 maj	V5	Återspeglar vegetationstillväxt i olika områden med en virtuell gräns placerad rakt över hagen. Se värmekarta (figur 5b).
	Två virtuella gränser	31 maj-13 juni	V6 & V7	Återspeglar vegetationstillväxten i olika områdena med två virtuella gränser, där den tidigare virtuella gränsen flyttats och en ny introducerats i hagens nordvästra hörn. Se värmekarta (figur 5c).
3	Fyrsidig virtuell hage	14 juni-4 juli	NA	Se värmekarta (figur 8).



Figur 5. Värmekarta som illustrerar nötkreaturens positioner (GPS-data från halsbanden) från perioden då inget virtuellt stängsel var aktiverat (a), ett virtuellt stängsel var aktiverat (b) och ett virtuellt stängsel flyttades och ytterligare ett lades till i betesmarken (c). Den svarta linjen illustrerar elstängslet och de röda streckade linjerna de virtuella stängselgränserna. Blå linjer visar områden med olika betesnivåer (se figur 4 och tabell 1). Observera att figur (b) inte visar positioner från de två första dagarna under inlärningsperioden (se diskussion). Färgen i värmekartorna beskriver hur mycket djuren befunnit sig på olika delar. Röd betyder områden med hög användning, gula medel, grön låg och blå ingen.

Resultat och diskussion

Detta är den första forskningsstudien i Sverige där virtuell stängselteknik testas på nötkreatur.Vi fann att betestrycket lätt kunde styras med hjälp av en mobiltelefonapplikation och virtuell stängselteknik. Den observerade variationen i betestryck visas dels genom värmekartor över djurens positioner i förhållande till de olika virtuella stängselindelningarna (figur 5) samt resultaten från mätningar av vegetationshöjden (figur 6 och figur 7). Vi fann även att nötkreaturen snabbt lärde sig att associera ljudsignalen med de virtuella stängselgränserna och därefter anpassade sin vistelseyta utifrån dessa. Rymningar (djuren tar sig över gränsen och en notis skickas till mobiltelefonen) noterades endast under den dag då djuren för första gången kom i kontakt med den virtuella gränsen. Det var även under denna dag som djuren fick flest antal elstötar per individ för att sedan minska under försökets gång (tabell 2 och 3).



Figur 6. Sammanfattning av den rumsliga variationen i gräshöjd vid tre vegetationsmätningstillfällen. Vecka 3 återspeglar grästillväxten i olika områden (figur 4 och tabell 1) innan djuren släpptes ut i hagen när inga nötkreatur var på bete. Vecka 4 återspeglar grästillväxten då djuren betade i hela hagen utan virtuella gränser (figur 5a). Vecka 7 återspeglar grästillväxten efter att virtuella gränser hade aktiverats, flyttats och/eller lagts till (se figur 5b och c). Se figur 7 för mer detaljerade veckovisa mätningar av vegetationen i de olika områdena. Uppskattningar och konfidensintervall är resultaten från en generaliserad linjär blandad modell (GLMM).

Variation i betestryck med en mobilapp?

Förmågan att på ett effektivt sätt skapa variation och upprätthålla betestryck i naturbetesmarker kan vara avgörande för att nå flera miljömål i Sverige. För närvarande ser prognosen dyster ut för Sveriges gräsmarkshabitat inom det europeiska art- och habitatdirektivet där betade gräsmarksnaturtyper med höga naturvärden inte anses ha gynnsam bevarandestatus på nationell biogeografisk nivå (Aronsson et.al 2020). För att öka kvaliteten på livsmiljöer med betade gräsmarker för en rad olika artgrupper behövs en flexibel skötsel som kan skapa lokal (t.ex. inom en gård eller en betesmark) rumslig variation i vegetationsstrukturen och öka betestrycket där det behövs mest.

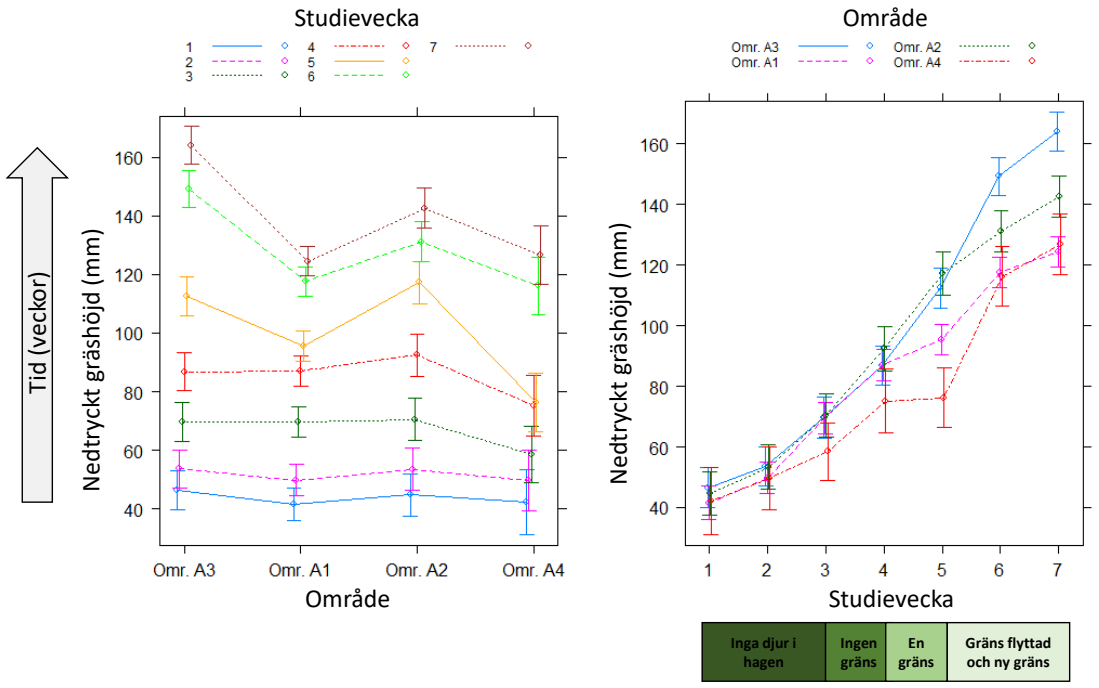
Virtuella stängsel skulle kunna underlätta skötsel av naturbetesmarker på flera sätt, bland annat genom att i) göra det möjligt att fokusera betestrycket till områden där det behövs mest för naturvärdena, även om det finns mer attraktivt foder i angränsande mindre ekologiskt viktiga områden, ii) möjliggöra precisionsskötsel där områden med kort, medelhög eller hög vegetation behövs för olika organismgrupper, iii) tillfälligt skydda känsliga vilda djur och växter utan att det behövs fysiska stängsel, iv) beta isolerade livsmiljöer i områden där det är dyrt att sätta upp fysiska stängsel (t.ex. skogsbetesmarker).

Nedan diskuterar vi våra resultat med tanke på hur de kan kopplas till de fyra naturvårdstillämpningar som nämns ovan, och idéer som bygger på ekologers besök i hagen före och under försöket med virtuell avgränsning (bilaga 1). Områdesnummer hänvisar till kartan i figur 4.

(i) Öka betestrycket vid behov

Många betesmarker har antingen för låg eller för hög djurtäthet och det kan vara svårt att bedöma den optimala djurtäthet som behövs för den biologiska mångfalden (Spörndly och Glimskär 2018). Detta kan resultera i lägre nivåer av biologisk mångfald eftersom vissa betesmarker totalt sett har för kort vegetation (hög djurtäthet) medan andra genomgår ekologisk succession med högre vegetation och buskageintrång på grund av för låg djurtäthet (Nilsson et al., 2013, Berg et al., 2019; Kindvall et al., 2022).

Det kan vara en utmaning att avgöra vilken djurtäthet som är lämplig för naturvårdsskötsel av betesmarker (Spörndly och Glimskär 2018). Om mängden tillgängligt bete varierar i betesmarken kan djuren föredra att beta i områden med lägre värde för den biologiska mångfalden och lämna områden med högt naturvärde underbetade. Detta är typiskt om det finns både naturbete och kultiverad betesmark i samma hage, vilket var fallet för vår studieplats. På vår studieplats hade vi identifierat att den norra delen av område A1 var i behov av ett högre betestryck på grund av inslag av vedartade växtarter samt att det fanns mycket gräs kvar från föregående år. Den observerade mängden av tidigare års vegetation som lämnats obetad tyder på att detta område inte föredrogs av djuren (ett mönster som stöds av värmekartan (a) i figur 5). Område 5 hade naturbeteskaraktär med ett relativt stort antal arter som indikerade på höga naturvärden (bilaga 1). Område A5 skulle därför också gynnas av ett högre betestryck eftersom triviala växtarter och vedartad vegetation höll på att växa in i området (eventuellt som ett resultat av en period utan betesdrift under några år tidigare).
En jämförelse av värmekartorna (a) och (b) i figur 5 visar visuellt att betestrycket förflyttades till den norra delen av område 1 och eventuellt till vissa delar av område A5 när den sydligaste delen av gräsmarken stängslades bort med en virtuell gräns. För område



Figur 7. Detaljerad vegetationsutveckling under sju veckor i fyra områden (figur 4) med olika virtuella stängselgränser betestryck och där vegetationsmätningar genomfördes.

A1 ledde den ökade aktiviteten (positioner) hos djuren i det området till avvikelser i vegetationsstrukturen (kortare komprimerad vegetationshöjd) jämfört med de andra uppmätta områdena (se figur 7 och mätningar för vecka 5 och område 1). I område A5 (området mest flest signal arter för naturbete) var det inte möjligt att konsekvent mäta vegetationshöjden med plattmätaren på grund av ojämn mark, stenar, tuvor och inslag av vedartad vegetation. Däremot observerade vi en ökad aktivitet (användning) av djuren i område A5 under fas 2 (figur 5b och c) jämfört med den första veckan då djuren hade tillgång till hela betesmarken i fas 1 (figur 5a). Dessa resultat tyder på att betestryck och variation i vegetationsstrukturen kan styras med en mobiltelefon app och ”en digital knapptryckning”. En intressant framtida tillämpning av tekniken för virtuella stängsel på studieplatsen skulle vara att fokusera betestrycket till område A5 där vi såg flest områden med kärlväxtarter som tyder på högre naturvärde.

(ii) Ökad variation i vegetationsstrukturen

Eftersom vi i denna studie var begränsade till ett djuretiskt tillstånd kunde vi inom ramen för detta endast testa tekniken på en djurgrupp, i en betesmark under en betessäsong. Därför arbetade vi med den konceptuella idén att skapa kort, medelhög och hög vegetation med hjälp av virtuella stängsel genom att tillåta djuren att beta olika områden i betesmarken antingen under hela den första försöksperioden (område A1), en del av försöksperioden (områden A2 och A4) eller inte alls (område A3). Se figur 4 och tabell 1 för en beskrivning av antal betesdagar och betesscenarier.

Figur 6 visar att vid vecka 7 hade vi lyckats skapa en variation i vegetationshöjden som inte var uppenbar vare sig i början av säsongen när inga djur fanns på betet eller efter den första betesveckan när de virtuella stängslen inte var aktiverade och djuren hade tillgång till hela hagen. Därför drar vi slutsatsen att virtuella stängsel kan användas för att snabbt och enkelt skapa heterogena gräsmarker (i den skala som vi kunde mäta) genom att trycka på en digital knapp.

Genom att varje vecka följa vegetationsutvecklingen längs specifika linjer (transekter) kunde vi se hur gräshöjden i de olika områdena återspeglade hur stängselgränserna begränsade djurens vistelseyta. Figur 6 visar en sammanfattning av den observerade tidsmässiga förändringen av variationen i slutet av försöksperioden som inte var tydlig i början. Figur 7 visar resultaten av vegetationsmätningarna på en detaljerad veckonivå.

Veckoresultaten i figur 7 lyfter fram några intressanta detaljer som visar på att virtuella stängsel kan användas för att styra betestryck och vegetationsutveckling. För det första fanns det under de första fyra veckorna av vegetationsmätningarna (antingen inga djur eller inga virtuella gränser initierade) en mycket liten variation i den genomsnittliga nedtryckta gräshöjden mellan områdena (med undantag för område A4, som var ett litet vått och tuvigt område i betesmarkens nordvästra hörn). Redan efter den första veckan med det virtuella stängslet (figur 5b) påverkades vegetationen i område A1 och område A4 genom ett ökat betestryck (figur 7). Detta kan ses i variationen i gräsets höjd under vecka fem och i värmekartorna i figur 5a och b. För det andra, när gränsen flyttades längre söderut, så att område A2 fick betas, förändrades den relativa genomsnittliga vegetationsutvecklingen i detta område från område A3 som fortsatt var avgränsad med en virtuell gräns och därmed obetat. En annan detalj som kan observeras är att vegetationshöjden i område A4 ökade under vecka 6 och 7 i förhållande till vegetationshöjden i område A1. Detta kan förklaras av att område A4 stängdes in med en virtuell gräns efter vecka 5 i försöket medan område A1 fortsatte att betas.

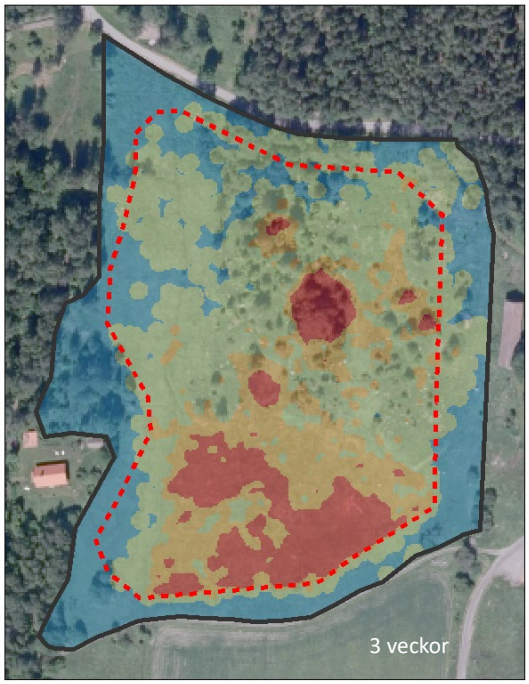
(iii) Tillfälligt skydd av känsliga djur och växter.

Vissa arter är både beroende av bete men samtidigt känsliga för högt betestryck under en del av sin livscykel (Pakanen et al., 2011; Birdlife Internationals webbplats 2022; Kindvall et al., 2022) och markhäckande fåglar skulle kunna dra nytta av att skyddas från bete under känsliga delar av säsongen (t.ex. häckning). För att testa idén om att med hjälp av virtuell stängselteknik skydda (avgränsa) en del av betesmarken (inom en fysiskt inhägnad hage) från bete under en del av säsongen avgränsade vi område A4 i det nordvästra hörnet av försökshagen med en virtuell gräns. Detta var en våt och tuvig yta som skulle kunna tänkas vara i behov av skydd från bete under fåglarnas häckningssäsong (hypotetiskt). Vi testade om område A4 kunde skyddas mitt under betessäsongen (hypotetiskt med tanke på att fåglar skulle kunna häcka där). Resultaten från värmekartor (figur 5) och skillnaden i vegetationshöjd i område A4 mellan vecka 5 och vecka 6 (figur 7) visar både att djuren varit mindre aktiva i detta område i kombination med en ökad vegetationsutveckling för samma period. Dessa observationer stämmer överens med idén om att virtuella stängsel kan användas för att avgränsa områden med känslig natur och minska betestrycket temporärt utan att behöva använda konventionellt elstängsel.

I ovanstående fall testade vi att avgränsa ett hörn i en hage med elstängsel runt men med Nofence inbyggda funktion kallad ”exkluderingszoner” kan man skapa små avgränsade områden inom en virtuell hage. Tyvärr hade vi inte möjlighet att testa denna funktion i denna studie, se under avsnitt ”*Utformning av hagen och exkluderande zoner*”. Däremot ser vi det som viktigt att i framtiden utvärdera hur små och många exkluderingszonerna kan vara inom ett specifikt område med avseende på GPS-positionens precision och djurens välbefinnande.

(iv) Virtuella stängsel där det är dyrt att sätta upp fysiska stängsel

Naturvårdsskötsel där virtuella stängsel används som yttersta gräns (dvs. utan yttre elstängsel) kan vara en viktig tillämpning för tekniken. I många delar av Sverige finns betesmarker långt från gården som inte betas eller riskerar att inte betas i framtiden (Jordbruksverket 2009). Orsaken att betesmarken inte används ligger i kostnaden och tiden för transport, djurkontroller och stängsel. Virtuella stängsel skulle kunna minska behovet av fysiska stängsel och göra det lättare att beta dessa marker både i form av minskad arbetsinsats för uppsättning och underhåll av stängsel men även genom snabbare och bättre kontroll av djuren på distans (Jamieson och Hessle 2021; Jordbruksverket 2022).



Figur 8. Värmekarta som illustrerar nötkreaturens positioner (GPS-data från halsbanden) från perioden i den fyrsidiga virtuella hagen. Den svarta linjen illustrerar elstängslet och den röda streckade linjen den virtuella stängselgränsen. Färgen i värmekartorna beskriver hur mycket djuren befunnit sig på olika delar. Röda områden betyder hög användning, gula medel, grön låg och blå ingen.

För att ge en inblick i hur tekniken fungerar som en yttre avgränsning testade vi i att slutet av studien att hägna in djuren med en fyrsidig virtuell hage under en tre veckor, där gränsen placerades ca 20-30 meter innanför elstängslet (figur 8). Resultaten ser lovande ut, djuren anpassade sig snabbt till den nya inhägnaden och hölls sig i den virtuella hagen utan rymningar under alla tre veckor som gränsen var aktiverad. Det var också under denna period som förhållandet mellan antal ljudsignaler och antal elstötar var som bäst (tabell 3). Detta tyder på att nötkreatur kan hägnas in endast med hjälp av virtuella gränser

Teknikens inverkan på djuren och lantbrukarens arbetsinsats

(i) Inlärning och användning – hur hanterar djuren systemet?

I avsnitten nedan presenteras övergripande resultat, på gruppnivå hur inlärning och förändringar av virtuella gränser påverkade djuren i form av antal ljudsignaler och elstötar samt deras användning av hagen (position) under försöket.

För att djurens inlärning (vända om och gå tillbaka in i hagen vid ljudsignal) ska gå så snabbt och smidigt som möjligt rekommenderar Nofence att denna sker i en hage med antingen elstängsel eller fasta staket runt, och att djuren till en början introduceras till en virtuell gräns. Som beskrivet tidigare måste djuren lära sig förstå och reagera korrekt på ljudsignaler innan tekniken kan användas fullt ut. Djur som hägnas in med vanliga elstängsel använder främst synen för sin förståelse men med virtuell stängselteknik fokuseras inlärningen till stor del till hörseln men även till synen. I en studie av Keshavarzi et al. 2020 där nötkreatur hägnades in med virtuell stängselteknik kunde de se att 76,2 % (medel) av djuren undvek den virtuella gränsen baserat på andra individers beteenden. Detta överensstämmer även med de preliminära (ännu ej publicerade) resultat med får och nötkreatur som genomfördes av RISE i Sverige sensommaren/hösten 2022, som även de visar att djuren påverkas och lär sig av sina flockmedlemmar.

Under den första dagen (dag 1) under inlärningsperioden med det virtuella stängslet fick samtliga individer i försöket ett flertal ljudsignaler och stötar (tabell 2). Variationen för ljudsignaler per individ i gruppen dag 1 var mellan 27-39 stycken och för elstötarna 4-13 stycken. Det var endast under denna dag som vi noterade att djur rymde (4 st). Rymning enligt Nofence definition innebär att en individ får tre ljudsignaler på rad med efterföljande stöt. Under dag 1 noterade vi även att hela flocken vid ett flertal tillfällen tog sig långt över den virtuella gränsen, trots detta var det endast 4 individer som noterades som rymda. Detta tros bero på systemets inställning. När djuren introduceras till en ny gräns är systemet per automatik inställt på ”Teach mode”. I detta läge behöver djuren endast utföra en ”liten” vridning av huvudet (åt sidan/bakåt) för att ljudsignalen ska stängas av. I ”Operate mode” som aktiveras automatiskt efter 20 korrekta reaktioner på ljudsignal (= vända tillbaka så ljudet stängs av) så måste djuren gå tillbaka ca 2 meter in i den virtuella hagen för att ljudet ska stängas av. Avsikten med Teach mode är att göra det lättare och snabbare för djuren att lära sig att utföra korrekt beteende. När hela flocken gemensamt tog sig över gränsen dag 1 vred troligtvis vissa individer oavsiktligt på huvudet efter att de passerat gränsen varvid ljudsignalen stängdes av för dessa och de undgick därmed elstöt. Vid samtliga tillfällen djuren noterades som rymda eller hamnade utanför den virtuella gränsen sökte de sig själva tillbaka in i den virtuella hagen. Under hela försöksperioden behövde vi aldrig mota tillbaka något djur in i hagen.

Under inlärningsperioden som varade i 1 vecka var det endast under dag 1 och 2 som djuren fick elstötar. Mest interaktion (ljudsignaler) med virtuella gränsen skedde också under dessa två dagar. Under de resterande

Tabell 2. Antalet ljudsignaler och elstötar beräknat på gruppnivå under inlärningsperioden med en virtuell gräns under 7 dagar.

Inlärningsperiod	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6	Dag 7
Antal djur i hagen	7	7	5	5	5	5	5
Ljudsignaler/individ	33,6	12,3	0,4	0	0,2	0	0,8
Elstötar/individ	9,9	3,0	0	0	0	0	0

dagarna av inlärningsperioden (dag 3-7) noterades endast ljudsignaler (tabell 2).

Alla studier med vetenskapligt syfte som innefattar djur kräver ett djuretiskt tillstånd som bland annat tydligt definierar olika avbrytningspunkter. För denna studie fanns en avbrytningspunkt för antalet tillåtna elstötar som var begränsad till maximalt 15 st elstötar för en individ under de fem första dagarna. Då hela flocken som beskrivet ovan vid ett flertal tillfällen under dag 1 tog sig över den virtuella gränsen nådde två av individerna upp till denna nivå redan under dag 2, varför vi var tvungna att ta bort dessa djur ur studien. Detta innebar att vi från och med dag 3 hade fem djur kvar i hagen under resterande del av försöket. Detta var oturligt då vi redan dag 2 kunde se en markant nedgång i både antal elstötar (variation 2-4) och ljudsignaler (variation 5-21) för alla individer.

Att vi under de två första dagarna under inlärningsperioden fick fler elstötar än vi hade förväntat oss jämfört med resterande dagar i försöket kan bero på många orsaker. Dagarna innan vi introducerade den första virtuella gränsen (inlärningsperioden) kunde vi via positionsdata se att djuren valde att byta liggplats, från att tidigare ha legat i skogspartiet (område A5 inne i den virtuella hagen) till att ligga ute på en öppen yta ca 50 meter utanför inlärningsgränsen (område A3). Vår känsla var att när djuren gick mot den virtuella gränsen dag 1 och kom i kontakt med virtuella gränsen för första gången så var de på väg mot sin liggplats utanför den virtuella hagen. Deras motivation var riktad på andra sidan gränsen (utanför) vilket kan ha bidragit till att flocken totalt sett fick en ”framåtreagerande” reaktion istället för att backa tillbaka. Samma typ av beteende kunde vi även se senare på dagen och samma kväll. Vi noterade även en annan oväntad reaktion dag 1 då djuren blev nyfikna på en hare som befann sig på andra sidan virtuella gränsen. Kvigorna blev uppspelta och började springa efter haren vilket även det ledde till utlösta ljudsignaler och elstötar.

Den största andelen stötar per dag och individ var som beskrivet ovan under de två första dagarna under inlärningsperioden. Därefter kunde vi se en minskning i antal elstötar per individ och dag under hela försöksperioden. Även andra studier visar på högre antal elstötar per dag under de första dagarna under inlärningsperioden jämfört med resterande period. (Aaser et al., 2022; Campbell et al., 2019; Campel et al., 2020; Confessore et al., 2022; Langworthy et al., 2021; Lomax et al., 2019). I vår studie kunde vi se att förhållandet mellan antal ljudsignaler och antal elstötar förbättrades över tid, dvs. djuren fick färre elstötar per ljudsignal (tabell 3) vilket även det överensstämmer med tidigare studier (Aaser et al., 2022; Campbell et al., 2019; Hamidi et al., 2022; Lomax et al. 2019). Vi kunde även se att hela flocken efter inlärningsperioden till stor del uppehöll sig och betade vid den virtuella gränsen (beskrivet mer ingående nedan) vilket även var fallet i en tysk studie med nötkreatur (Hamidi, et al., 2022) och opublicerade resultat från RISE studie med får 2022. Under dagtid kunde vi se att djuren valde att ligga och vila/idissla nära gränsen, ibland så nära som 10 meter ifrån. Att de vistades nära gränsen kan även uttydas från de värmekartor (figur 5 och 8) som presenteras i avsnitten ovan, där de röda områdena visar var djuren uppehållit sig mest. Djupare analyser av ljudsignaler, elstötar och positioner på in-

Tabell 3. Antalet ljudsignaler och elstötar beräknat på gruppnivå för de olika faserna i försöket.

	1 virtuell gräns (Inlärningsperioden)	2 virtuella gränser	4 virtuella gränser
Fas	2	2	3
Ljudsignaler/individ/dag	6,8	6,0	5,5
Elstötar/individ/dag	1,8	0,6	0,2

dividnivå kommer genomföras inom Lotten Wahlunds doktorandarbete inom SustAinimal. Utifrån resultat på gruppnivå tolkar vi det som att inlärningen gick snabbt, att alla individer (av de fem som var kvar i försöket) lärt sig reagera korrekt på ljudsignal för att undvika elstöt och att de inte är rädda för att vistas nära och testa den virtuella gränsen.

(ii) Djurens förmåga att anpassa sig till virtuella gränser som byter position

Innan försöket påbörjades hade vi funderingar kring hur snabbt djuren skulle upptäcka att en virtuell gräns flyttats och börja använda ”en ny yta”. I och med att vi flyttade position på den virtuella gränsen vid ett flertal tillfällen under försöket fick vi tillfälle att studera detta. Efter inlärningsperioden kunde vi se att djuren började testa var gränserna gick, detta kunde vi uttyda både vad gäller data från djurens positioner och utifrån antalet ljudsignaler. Att hitta ut och börja beta på den ”nya ytan” efter den första flytten av gränsen (figur 5c) tog mindre än 12h. Att djuren snabbt upptäcker att gränser flyttas tyder på att de uppehåller sig vid gränserna för att undersöka om den är kvar på samma position och att de inte är rädda för att passera tidigare gränsers position. Det tyder också på att de har förståelse för vad ljudet innebär och att de inte är rädda för att vara nära gränsen. I och med att djuren snabbt följer de nya gränserna så ser vi stor potential i att tekniken kan vara ett snabbt och flexibelt verktyg för management på bete, att ex. precisionsstyra betestryck (se avsnitt Variation i betestryck med en mobilapp?)

(iii) Utformning av hagen

Eftersom djuren inte kan se den virtuella gränsen är det viktigt att hagens ”form” är lätt att förstå för djuren. I instruktionen från Nofence finns rekommendationer hur du inte bör placera gränser eller utforma hagen, ex. bör smala korridorer (>20m) och tvära vinklar undvikas. Ett bra sätt att snabbt få en bättre förståelse för tekniken och hur djuren upplever gränser är att själv gå med ett aktiverat halsband och testa dessa. Detta var något vi la stor vikt vid innan djuren släpptes ut i försökshagen. Under detta moment upptäckte vi även att positionen för de virtuella gränserna tenderade att variera både inom och mellan dagar. Vi upplevde att gränsen ”flyttade” sig både inåt och utåt. Teknikens GPS-precision är därför något som bör undersökas vidare, vad det beror på och om det har någon påverkan på djurens anpassning till systemet.

(iv) Teknikens inverkan på djurhantering, tillsyn och ekonomi

Djur med halsband kan innebära ökad arbetsinsats i form av djurhantering. Djurägaren behöver exempelvis ha extra koll på att halsbanden sitter korrekt för att undvika skav. Under de sju veckor som studien pågick kunde vi inte se någon fysisk påverkan från halsbanden. Däremot noterade vi i mitten av september, ca 13 veckor efter att denna del av studien avslutats, att halsbanden hade orsakat märken på sidan av halsen i form av kortare päls. Andra moment som kan bidra till ökad arbetsinsats är om djur tappar sitt halsband eller om batteriet laddas ur. I dessa fall måste djuren fångas in. Även byte eller uppladdning

av batterier kräver extra djurhantering. I detta försök höll alla batterier hela betessäsongen och nivåerna gick inte under 85% under perioden maj-september. Endast vid ett tillfälle var vi tvungna att fånga in ett av djuren som kunde relateras till användande av halsband. I detta fall hade djuret tappat halsbandet på grund av att det satt för löst. Vi blev varse om incidenten genom att systemet själv larmade om att halsbandet hade varit stilla i mer än 4h. Denna funktion plus att djurhållaren dygnet runt kan se var djuren befinner sig, anser vi ha potential att öka djurvälfärden hos betande djur, dels genom att lantbrukaren snabbt kan upptäcka om ett djur legat stilla länge eller inte följer sin flock på ett naturligt sätt. Av de lantbrukare som hittills testat tekniken i Sverige har funktionen att kunna följa individers rörelse och position i sin telefon dygnet runt varit mycket uppskattad.

Den fasta kostnaden för ett halsband till nötkreatur av märket Nofence idag är ca 3000 SEK. Till detta tillkommer ett årligt abonnemang à tre till fem kronor per dag och djur beroende på besättningsstorlek och tidsperiod. Abonnemanget inkluderar mjukvara, underhåll och uppdateringar. Tekniken kan ge stora besparingar, framför allt i form av uteblivna investeringskostnader för permanenta och portabla elstängsel, insparade arbetskostnader för uppsättning och underhåll av stängsel samt årliga röjningar kring stängslen. Dessa besparingar kan bli avsevärda om inga stängsel finns eller om det behöver återinvesteras i stängsel (Jordbruksverket 2020; Wahlund 2021).

Framtida forskningsbehov

Tekniken är som beskrivet tidigare inte godkänd att användas i Sverige idag. Beslutande myndighet är Jordbruksverket, som 2019 uttryckte att det saknas kunskap om hur tekniken påverkar djurvälfärden (Wahlund 2021). Att bidra till att ta fram kunskap som Jordbruksverket efterfrågar är därför ett prioriterat område. När det gäller forskningsbehov relaterat till naturvårdsfrågeställningarna eller hur tekniken fungerar i praktisk drift så ser vi flera områden som borde undersökas vidare. Däribland att (1) testa tekniken med verkliga scenarier för naturvårdsskötsel där specifik styrning av betestrycket behövs för den biologiska mångfalden på gräsmarker, (2) testa hur den inbyggda funktionen med exkluderingszonerna kan och bör användas på bästa sätt för att skydda känsliga områden inom en virtuell hage. Hur stora bör zonerna vara och hur långt ifrån bör gränsen dras för att djuren inte ska beträda ytan som ska exkluderas? (3) utvärdera GPS-precisionen då vi under försöket upplevde stor variation för denna, (4) använda tekniken för att bekämpa invasiva arter eller ex. beta kraftledningsgator. Hur kan tekniken användas till detta och vilka djurslag skulle vara lämpliga? (5) använda tekniken för skogsbete. Här behöver vi mer kunskap om hur systemet fungerar i olika typer av skog (trädslag och täthet) vad gäller mobil- och GPS-täckning som båda är en central del i att tekniken ska fungera tillfredställande.

Slutsats

För att främja den biologiska mångfalden i jordbrukslandskapet finns ett stort behov av flexibla lösningar för skötsel av värdefulla betesmarker och virtuell stängselteknik har under senare år lyfts fram som ett intressant verktyg för detta. Denna studie visar att vi med hjälp av virtuell stängselteknik och en knapptryckning i telefonen kan styra betestryck i en naturbetesmark med kvigor.Vi testade flera virtuella stängselgränser inom en hage med vanligt elstängsel och kvigorna lärde sig snabbt att associera ljudsignalen med gränserna och anpassade sin vistelseyta utifrån dessa. Genom att styra var kvigorna fick tillåtelse att beta (olika betestryck) skapades en variation i gräshöjd i olika delar av hagen. Även att enbart använda virtuella stängsel (fyra sidor) som en yttre gräns fungerade väldigt bra och kvigorna höll sig i den virtuella hagen under hela försöket.Vi anser att virtuell stängselteknik är ett snabbt, flexibelt och effektivt verktyg med stora möjligheter att underlätta och förenkla svensk betesdrift. Om tekniken blir godkänd finns stor potential att göra riktade naturvårdsskötselåtgärder mer attraktiva. För att ytterligare visa på teknikens potential vad gäller naturvård anser vi att det behövs fler forskningsstudier med fokus på exempelvis; verkliga scenarier för naturvårdsskötsel, hur tekniken fungerar i tät skog, om och på vilket sätt GPS-precisionen varierar samt hur funktionen för exkluderingszoner inom en virtuell hage kan användas.

Övrigt

Projektet finansierades av:
- Världsnaturfonden (WWF) www.wwf.se
- Formas - SustAinimal (SLU) SustAinimal Externwebben (slu.se)
- Horisont 2020 GA N.774124 - Super – G (SLU) SUPER-G - Developing SUstainable PERmanent Grassland systems and policies | EIP-AGRI (europa.eu)

Referenser

Aaser, M.F., Staahltoft, S.K., Korsgaard, A.H., Trige-Esbensen, A., Alstrup, A.K.O., Sonne, C., Pertoldi, C., Bruhn, D., Frikke, J. och Linder, A.C., 2022. Is virtual fencing an effective way of enclosing cattle? Personality, herd behaviour and welfare. Animals, 12(7), p.842.

Ahrné, K., Bengtsson, B.Å., Björklund, J.-O., ... och Öckinger, E. 2020. Rödlista 2020 – expertkommittén för fjärilar. Artfakta. SLU Artdatabanken.

Aronsson, M., Berglund, H., Bjelke, U., Eide, W., Lönnell, N., Toräng, P., Jacobson, A., Halling, C., Westling, A., Sandström, J. och Thurfjell, H., 2020. Sveriges arter och naturtyper i EU: s art- och habitatdirektiv: Resultat från rapportering 2019 till EU av bevarandestatus 2013-2018.

Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P.J., Smith, H.G. och Lindborg, R., 2019. Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. Ecosphere, 10(2), p.e02582.

Benton, T.G., Vickery, J.A. och Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. Trends in ecology & evolution, 18(4), pp.182-188.

Berg, Å., Cronvall, E., Eriksson, Å., Glimskär, A., Hiron, M., Knape, J., Pärt, T., Wissman, J., Żmihorski, M. och Öckinger, E., 2019. Assessing agri-environmental schemes for semi-natural grasslands during a 5-year period: can we see positive effects for vascular plants and pollinators?. Biodiversity and Conservation, 28, pp.3989-4005.

Birdlife International http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/pallid-harrier-circus-macrourus/text (accesed 2022-12-01)

Campbell, D.L., Lea, J.M., Keshavarzi, H. och Lee, C., 2019. Virtual fencing is comparable to electric tape fencing for cattle behavior and welfare. Frontiers in Veterinary Science, 6, p.445.

Campbell, D.L., Ouzman, J., Mowat, D., Lea, J.M., Lee, C. och Llewellyn, R.S., 2020. Virtual fencing technology excludes beef cattle from an environmentally sensitive area. Animals, 10(6), p.1069.

Confessore, A., Aquilani, C., Nannucci, L., Fabbri, M.C., Accorsi, P.A., Dibari, C., Argenti, G. och Pugliese, C., 2022. Application of Virtual Fencing for the management of Limousin cows at pasture. Livestock Science, 263, p.105037.

Cousins, S.A., Lavorel, S. och Davies, I., 2003. Modelling the effects of landscape pattern and grazing regimes on the persistence of plant species with high conservation value in grasslands in south-eastern Sweden. Landscape Ecology, 18, pp.315-332.

Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M. och Martin, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecology letters, 14(2), pp.101-112.

Hamidi, D., Grinnell, N.A., Komainda, M., Riesch, F., Horn, J., Ammer, S., Traulsen, I., Palme, R., Hamidi, M. och Isselstein, J., 2022. Heifers don't care: no evidence of negative impact on animal welfare of growing heifers when using virtual fences compared to physical fences for grazing. animal, 16(9), p.100614.

Hiron, M., Berg, Å., Eggers, S., Berggren, Å., Josefsson, J. och Pärt, T., The relationship of bird diversity to crop and non-crop heterogeneity in agricultural landscapes. 2015.(10): 2001-2013. Landscape Ecology, 30.

Jamieson, A. och Hessle, A. 2021. Hinder och möjligheter för ökad naturbetesdrift ur ett lantbrukarperspektiv – en kunskapsöversikt. SustAinimal rapport nr 1. Rapporten kan beställas i tryckt format här: www.sustainimal.se.
Jordbruksverket. 2009. Rapport 2009:10 Utveckling av ängs- och betesmarker – igår, idag och imorgon.
Jordbruksverket. 2020. Rapport 2020:10 Digitaliserad teknik för att främja betesdrift.
Keshavarzi, H., Lee, C., Lea, J.M. och Campbell, D.L., 2020. Virtual fence responses are socially facilitated in beef cattle. Frontiers in Veterinary Science, 7, p.543158.
Kindvall, O., Franzén, M., Askling, J., Forsman, A. och Johansson, V., 2022. Subsidized Common Agricultural Policy grazing jeopardizes the protection of biodiversity and Natura 2000 targeted species. Animal Conservation, 25(5), pp.597-607.
Langworthy, A.D., Verdon, M., Freeman, M.J., Corkrey, R., Hills, J.L. och Rawnsley, R.P., 2021. Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. I: Technology efficacy and pasture utilization. Journal of Dairy Science, 104(6), pp.7071-7083.
Lomax, S., Colusso, P. och Clark, C.E., 2019. Does virtual fencing work for grazing dairy cattle?. Animals, 9(7), p.429.
Nofence hemsida. 2022-12-15. https://www.nofence.no/en/
Pakanen, V.M., Luukkonen, A. och Koivula, K., 2011. Nest predation and trampling as management risks in grazed coastal meadows. Biodiversity and Conservation, 20, pp.2057-2073.
Nilsson, S.G., Franzén, M. och Pettersson, L., 2013. Land-use changes, farm management and the decline of butterflies associated with semi-natural grasslands in southern Sweden. Nature Conservation, 6, pp.31-48.
Questad, E.J. och Foster, B.L., 2008. Coexistence through spatio-temporal heterogeneity and species sorting in grassland plant communities. Ecology letters, 11(7), pp.717-726.
R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
Schils, R.L., Bufe, C., Rhymer, C.M., Francksen, R.M., Klaus, V.H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., ten Berge, H., Bertora, C. och Chodkiewicz, A., 2022. Permanent grasslands in Europe: Land use change och intensification decrease their multifunctionality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 330, p.107891.
Spörndly, E och Glimskär A. 2018 Betesdjur och betestryck i naturbetesmarker. SLU. Inst. för husdjurens utfodring och vård. Rapport 297.
Wahlund, L. 2021. Virtuella stängsel för enklare och mer flexibel betesdrift – möjligheter och utmaningar i Sverige. RISE Rapport 2021:66
Wilson, J.D., Whittingham, M.J. och Bradbury, R.B., 2005. The management of crop structure: a general approach to reversing the impacts of agricultural intensification on birds?. Ibis, 147(3), pp.453-463.

Bilaga 1

Inventering 2022-08-26

Fyra ytor inventerades översiktligt genom att gå igenom ytorna där arter noterades. Ytorna motsvarar delar av eller hela de områden i figur 4 som ingår i en varierad betesmark (område 5), samt en större åkermark med bete som var uppdelad i del ytor, områden A1, A4, A2 och A3. Arter noterades som förekomst eller icke förekomst. För de mest abundanta arterna gjordes en gradering på abundans med en skala från 1-3 där 1 = 10-30 % täckningsgrad på ytan, 2= 30-50 % täckningsgrad, 3= > 50 % täckningsgrad. Bedömningen av abundans gjordes inte i betesmarken (ID nr. 5). Där noterades bara arter som förekommande. Det är troligt att fler örter skulle kunna påträffas i framför allt betesmarken (A5) vid en inventering tidigare under säsongen. Det gjordes även en gradering av fukt med kategorierna: torr-frisk, frisk-fuktig, fuktig-våt. Uppskattning av betestryck gjordes visuellt då mycket av gräset hade vissnat och låg ner, samt var nedtrampat med kategorierna: lågt, medel, högt.

Beskrivning av ytor

Betesmark (A5): Betesmark med lång kontinuitet med hävdgynnad flora med arter som backnejlika, liten blåklocka, grå/mattfibbla, stor blåklocka och sparvnäva. Inom ytan finns även svagt kalkgynnade arter som ex. brudbröd, darrgräs samt gruskammossa. På fuktigare partier även allmän förekomst av ängsvädd. Inslag av buskar i form av en och triviallövträd. Även mindre yta med hällmark och block med inslag av torrmarksflora. Fukt: torr-frisk. I ytterkanter invid gräns mot kultiverad betesmark med sämre status, näringspåverkad med dominans av bredbladiga gräs: hundäxing, ängskavle. I den västra kanten finns ett fuktigare parti med igenväxning av en, rosor, slånbär samt inslag av halvgräs. Här finns även torrare partier med hävdgynnad flora. Betestryck: medel

Åkermark med bete (A1): Betad åkermark delvis under igenväxning med enstaka buskar, älggräs, hundäxing, ängskavle. Även vitklöver förekommer allmänt. Gränsar mot betesmarken i öster. Betestryck medel.

Åkermark med bete, norra lilla ytan (A4): Betad åkermark delvis under igenväxning. Dominans av bredbladiga gräs: hundäxing, ängskavle, timotej med dominans av tuvtåtel och älggräs på fuktigare partier. I den södra delen finne en liten torrbacke med enstaka förekomst av liten blåklocka, gulmåra och brudbröd. Fukt: Frisk-fuktig. Betestryck: medel-lågt.

Åkermark med bete (södra delen av A1 samt A2 och A3): Åkermark med permanent bete med fukt mestadels frisk, finns både mindre torrare ytor med blottad jord och enstaka fuktigare partier. Delvis högt betestryck på vissa partier. Dominans av hundäxing, stormåra, ängskavle, vitklöver, rödklöver. Betestryck: medel-högt.

Betesmarken (A5)	Åkermark med bete (A1 norra)	Kultiverad betesmark (A1 söder, A2 och A3)
Backnejlika	Timotej	Hundäxing
Svartkämpar	Ängskavle	Ängskavle
Röllika	Ängsgröe	Stormåra
Ängshaverrot	Nejlikrot	Ängsgröe
Liten blåklocka	Vitklöver	Kråkvicker
Svartkämpar	Maskrosor	Teveronika
Gräs(„järnblomma	Kråkvicker	Gulvial
Daggkåpor	Vanlig smörblomma	Rödklöver
Smultron	Åkerfräken	Vitklöver
Ängssyra	Krusskräppa	Brännässla
Ärenpris	Stormåra	Åkertistel
Brudbröd	Igenväxande åkermark norr (A4)	Grässtjärnblomma
Gråfibbla/Mattfibbla	Vitmåra	Nejlikrot
Darrgräs	Gulmåra	Tuvtåtel
Käringtand	Tuvtåtel	Gulmåra
Fyrkantig johannesört	Vanlig smörblomma	Rödklint
Gullviva	Ängsgröe	Alsikeklöver
Vitmåra	Brudbröd	Fyrkantig johannesört
Sandnarv	Rödklöver	Rödklint
Fårsvingel	Liten blåklocka	Nysört
Gulvial	Hönsarv	Brunört
Åkerförgätmigej	Daggkåpor	
Nejlikrot	Vitklöver	
Gruskammossa	Vägtistel	
Rödklöver	Åkertistel	
Vitklöver	Hundäxing	
Hönsarv	Timotej	
Örnbräken	Kvickrot	
Stor blåklocka	Tuvtåtel	
Ängsvädd	Revfingerört	
Äkta johannesört	Duvvicker	
	Stormåra	
	Ängsgröe	
	Vårbrodd	
	Kruståtel	
	Bockrot	
	Brännässla	

SustAinimal är en centrumbildning mellan universitet, forskningsinstitut och intressenter från hela livsmedelssystemet i Sverige som med ett ämnesöverskridande arbetssätt ska öka kunskapen om de livsmedelsproducerande djurens roll för framtidens mat.