



Frekvens- och intensitetsanalys av lungljud hos mjölkdrickande kalvar

Frida Apelqvist Elding

Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Veterinärprogrammet
Uppsala 2026



Frekvens- och intensitetsanalys av lungljud hos mjölkdrickande kalvar

Frequency and intensity analysis of lung sounds in pre-weaned calves

Frida Apelqvist Elding

Handledare:	Salvatore Ferraro, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
Bitr. handledare:	Jean-Francois Valarcher, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
Examinator:	Theodoros Ntallaris, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
Omfattning:	30 hp
Nivå och fördjupning:	Avancerad nivå, A2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i veterinärmedicin
Kurskod:	EX1003
Program/utbildning:	Veterinärprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för kliniska vetenskaper
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2026
Nyckelord:	lungljud, bovine respiratory disease, kalv, lungauskultation

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Veterinärprogrammet

Sammanfattning

”Bovine respiratory disease”- komplexet (BRD) är en grupp luftvägssjukdomar hos nötkreatur som har en hög morbiditet och mortalitet hos kalvar. Kliniska symtom som ofta ses är hosta, nosflöde, dyspné och/eller tachypné men även feber är vanligt förekommande. Det finns även en risk att påverkan ses efter att kalven har tillfrisknat, exempelvis genom försämrad tillväxt eller försenad pubertet. Trots att BRD är vanligt förekommande är det fortsatt svårdiagnostiserat.

Flera studier har visat en dålig överensstämmelse mellan veterinärer angående hur olika lungljud klassificeras. Avsaknaden av en standardiserad klassifikation bidrar till denna svårighet. Det har nyligen gjorts försök att ta fram definitioner för olika typer av lungljud. De vanligaste termerna för de mest frekvent förekommande lungljuden är *normala*, *ökade bronkiella ljud*, *”crackles”* och *”wheeze”*.

Målet med studien var att undersöka om det går att skilja de olika kategorierna av lungljud åt genom att jämföra olika akustiska parametrar som frekvensrelaterade, amplitud och intensitet.

Lungljud från kalvar spelades in med hjälp av ett elektroniskt stetoskop och kategoriserades som normala, ökade bronkiella ljud, ”crackles” eller ”wheeze”. Inspelningarna bearbetades för att ta bort bakgrundsljud som inte var lungljud. Akustiska parametrar togs sen fram och jämfördes mellan kategorier.

Resultatet tyder på att det går att skilja normala och patologiska lungljud åt på flertalet mätvärden, främst kopplat till intensiteten. Däremot är vissa kategorier av patologiska lungljud inte lika lätta att skilja åt. ”Crackles” och ”wheeze” gick inte alls att skilja åt med signifikant resultat medan ökade bronkiella ljud och ”crackles” gick att skilja åt sett till ett mätvärde och ökade bronkiella ljud och ”wheeze” gick att skilja åt sett till två mätvärden.

Värdena som erhöles tyder alltså på att det krävs ytterligare förbättring och utveckling för att trovärdigt kunna skilja de olika kategorierna av patologiska lungljud åt, medan det med hjälp av de akustiska parametrarna som använts går att skilja mellan normala och patologiska lungljud.

Nyckelord: lungljud, bovine respiratory disease, kalv, lungauskultation

Abstract

Bovine respiratory disease-complex (BRD) is a group of respiratory disorders in cattle and a major cause of morbidity and mortality in calves. Clinical signs typically include coughing, nasal discharge, dyspnea and/or tachypnea, and fever is commonly present. Long-term consequences may occur even after apparent recovery, such as reduced growth rates or delayed onset of puberty. Although BRD is widespread, it remains challenging to diagnose accurately.

Several studies have reported poor inter-observer agreement among veterinarians when classifying lung sounds. The lack of a standardized nomenclature further contributes to this difficulty. Recently, attempts have been made to establish more uniform definitions of lung sound categories. Commonly used terms include *normal breath sounds*, *increased bronchial sounds*, *crackles* and *wheezes*.

The aim of this study was to determine whether different categories of lung sounds can be distinguished based on acoustic parameters such as frequency-related measures, amplitude and intensity.

Lung sounds were recorded from calves using an electronic stethoscope and categorized as normal, increased bronchial sounds, crackles or wheezes. Recordings were processed to remove non-respiratory noise, and acoustic parameters were extracted and compared across categories.

The results indicate that several acoustic parameters, primarily those related to intensity, can reliably distinguish normal lung sounds from pathological ones. However, differentiating between the pathological categories themselves proved more challenging. No significant differences were found between crackles and wheezes, whereas increased bronchial sounds differed from crackles in one parameter and from wheezes in two parameters.

The findings suggest that while acoustic properties may allow for discrimination between healthy and abnormal lung sounds, further refinement is needed before reliable categorization of specific pathological lung sound types can be achieved.

Keywords: lung sound, bovine respiratory disease, calf, thoracic auscultation

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
2.	Litteraturöversikt.....	10
2.1	Bovine respiratory disease.....	10
2.1.1	Diagnostik	11
2.1.2	Behandling och profylax	13
2.2	Lungauskultation	13
3.	Material och metod	16
3.1	Urval av individer.....	16
3.2	Material	16
3.3	Insamling av data	16
3.4	Klassificering av inspelningar.....	16
3.5	Bearbetning av data.....	18
3.6	Statistisk analys	18
4.	Resultat	20
5.	Diskussion	24
	Referenser.....	29
	Populärvetenskaplig sammanfattning	33
	Bilaga 1.....	35
	Bilaga 2.....	37
	Bilaga 3.....	40
	Bilaga 4.....	42

1. Inledning

”Bovine respiratory disease”-komplexet (BRD) är en vanlig sjukdom hos kalvar och kan också leda till dödlighet (Vandermeulen *et al.* 2016). Det leder inte bara till påverkan under tiden kalven är sjuk utan det har också visats kunna leda till en sämre produktion senare i livet. Det är av stor vikt att man sätter in behandling tidigt (Cusack *et al.* 2003) och för att kunna göra det behöver man upptäcka att kalven är sjuk.

Vid auskultation av lungorna kan olika typer av ljud höras (Princisval *et al.* 2025). Beroende på ljudets karaktär kan de klassificeras som normala, ”crackles”, ”wheeze”, ökade bronkiella ljud eller ”pleural rub”. Det har visats av Princisval *et al.* (2025) att veterinärer har svårt att avgöra typen av lungljud. Detta innebär att det finns förbättringspotential inom området, antingen genom grundligare utbildning för veterinärer eller alternativt vidare utveckling av diagnostiken.

Hos människor har stetoskop utvecklats för att förstärka hjärt- och lungljud (Eko Health u.å.). Det har även utvecklats stetoskopklockor som kan avgöra vilken typ av lungljud det är fråga om som exempelvis ”crackles” eller ”wheeze” (Stetho-Me® u.å.). Om något liknande kan utvecklas som är anpassat för nöt-kreatur och specificerat för lungorna skulle det underlätta diagnostiseringen av BRD hos nötkreatur.

Syftet var att undersöka om akustiska parametrar (frekvensbaserade och intensitetsbaserade mått) kan skilja mellan fyra kliniskt relevanta kategorier av lungljud. Hypotesen var att patologiska ljud har högre intensitet än normala, samt att åtminstone vissa patologiska kategorier skiljer sig åt i spektrala parametra.

2. Litteraturöversikt

2.1 Bovine respiratory disease

Bovine respiratory disease - komplexet (BRD) är en grupp av luftvägssjukdomar hos nötkreatur som kan leda till problem på kort och lång sikt (Cummings *et al.* 2022). Ferraro *et al.* (2021) beskriver i en reviewartikel att BRD kan ha både generella och respiratoriska symtom. De vanligaste respiratoriska symtomen som listades var nosflöde, hosta, onormalt andningsmönster/dyspné och tachypné. Utöver det är feber ett vanligt symtom. Hos drabbade individer kan BRD även leda till försämrad tillväxt, ökad risk för att första brunsten förskjuts och sämre mjölkproduktion (Cummings *et al.* 2022). Det är inte endast under tiden de är sjuka som man ser en försämring i tillväxt utan det kan fortsätta även efter att kalven friskförklarats (Wittum *et al.* 1996). Det blir även ökade kostnader för producenten då BRD är en vanlig orsak till dödlighet hos kalvar (Smith *et al.* 2020). Individerna måste då ersättas samt att eventuella veterinärkostnader tillkommer (Cummings *et al.* 2022).

BRD kan ha flera olika bidragande faktorer som spelar in i utvecklandet av sjukdom som exempelvis stress (Buczinski & Pardon 2020) och miljö (Buczinski & Pardon 2020; Cummings *et al.* 2022). Vid BRD kan man ibland se både en primär- och sekundärinfektion (Smith *et al.* 2020). BRD har ofta Bovint respiratoriskt syncytialt virus, bovint coronavirus, parainfluenza-3-virus eller lungmask (*Dictyocaulus viviparus*) som primärpatogen (SVA 2025). Virus ensamt brukar ofta inte orsaka problem för individen utan de uppkommer vanligen vid en sekundär bakteriell infektion (Panciera & Confer 2010). Bakterier orsakar däremot oftast inte primärinfektion men kan agera som sekundärpatogen (SVA 2025). Om bakterier är involverade är det vanligtvis *Pasteurella multocida*. Andra bakterier som kan vara involverade är exempelvis *Mannheimia haemolytica*, *Histophilus somni* och *Mycoplasma bovis* (Panciera & Confer 2010). Även andra saker som pollen och ammoniak kan vara orsaken till en luftvägsinflammation (Buczinski & Pardon 2020).

Beroende på vad orsaken är till lunginflammationen kan påverkan återfinnas i olika delar av lungorna (Panciera & Confer 2010). Vanligen är det unga kalvar som infekteras med *P. multocida*. Den orsakar ofta en purulent bronkopneumoni med utbredning i huvudsakligen de kranioventrala loberna. Vanligtvis kan konsolidering av de påverkade områdena ses samt purulent exsudat i luftvägarna. Dock kan lesionerna variera i utseende beroende på om det är i akut eller kroniskt stadium. Till skillnad från *P. multocida* ses *M. haemolytica* oftare hos avvanda köttkalvar som har blivit stressade och fått ”shipping fever”. Det leder till en fibrös

bronkopneumoni som liksom för *P. multocida* ofta har en kranioventral placering där breddade interlobulära septa, ödem och fibrin ses. Även *H. somni* ger samma påverkan som, men är mindre vanligt än, *M. haemolytica*. Vid en infektion av *M. bovis* är det vanligt att det blir multipla lesioner som blir kroniska med kaseös nekros. Vanligen är det de kraniala loberna som påverkas. Om lunginflammationen i stället orsakas av *Dictyocaulus viviparus* ger det en parasitär pneumoni efter att larver migrerat från gastrintestinal-kanalen till lungorna. Vanligtvis ses påverkan kaudalt på lungorna med huvudsakligen atelektas eller emfysem. I artikeln av Panciera och Confer (2010) beskrivs vidare att lunginflammation även kan vara embolisk och består då av multipla inflammatoriska foci som är utspridda i lungorna och orsakade av bakterier som kommit från ett annat ställe i kroppen.

Att med hjälp av endast auskultation av thorax diagnosticera konsolidering har visats ha dålig överensstämmelse om man jämför med ultraljud (Buczinski *et al.* 2014). I den studien sågs också att bonden endast hade upptäckt och behandlat hälften av kalvarna där lungorna setts vara konsoliderade på ultraljud (Buczinski *et al.* 2014). Det är inte bara bonden som har svårigheter att upptäcka BRD utan det har även visats att överensstämmelsen mellan veterinärer är väldigt dålig, likaså vid jämförelse mellan deras svar och ultraljudsbilden (Pardon *et al.* 2019). I den studien sågs en sensitivitet på 0,63 och en specificitet på 0,46 när det kom till att avgöra om det var något fel på lungorna utan att se till resten av kalven, vilket är siffror som önskvärt hade varit högre.

2.1.1 Diagnostik

För att diagnosticera BRD finns det olika metoder att använda. Tre vanliga sätt som används är ”clinical score”, auskultation och ultraljud (Buczinski *et al.* 2014). I många länder finns det möjlighet att producenten själv får behandla djur (Buczinski & Pardon 2020) enligt instruktioner från veterinär, ViLA (Gård & Djurhälsan u.å.). Det involverar ofta inte att djurhållaren utför någon vidare diagnostik utan endast tittar på djuret samt tar en temperatur (Cummings *et al.* 2022).

Vid ”clinical scoring” avgörs om kalven ska behandlas utefter olika faktorer som hur den beter sig (Cummings *et al.* 2022). I ”feedlots” har ett system utarbetats där man tittar efter dämpat allmäntillstånd, försämrad foderlust, ändrat andningsmönster samt feber, för att avgöra om djuren ska behandlas eller inte. Det finns även andra system som fokuserar på andra saker för att avgöra om en kalv ska behandlas eller inte (Buczinski *et al.* 2014). Ett exempel är poängsystemet som utvecklats på University of Wisconsin-Madison där temperatur, hosta, näs- och ögonflöde samt öronens position ger poäng (University of Wisconsin-Madison u.å.). Beroende på vilket system som använts har olika sensitivitet och specificitet setts (Berman 2024). I en studie av Buczinski *et al.* (2015) som kollade på Uni-

versity of Wisconsin-Madison system beräknades sensitiviteten till 62,4 % och specificiteten till 74,1 %. Leruste *et al.* (2012) genomförde en studie där en stor skillnad sågs i hur många kalvar som upptäcktes med endast observation jämfört med när påverkan syntes på lungorna vid undersökning efter slakt. Hos många av kalvarna syntes inga symtom när de levde men däremot upptäcktes förändringar på lungorna hos de slaktade kalvarna. Nackdelen med studien var att de endast observerade kalvarna vid tre tillfällen, dock har även studien av Buczinski *et al.* (2014) visat på att "clinical scoring" inte är i närheten av lika känsligt som ultraljud. En fördel med att diagnosticera genom att poängsätta är att det inte krävs någon utrustning förutom en termometer och att det kan göras av vem som helst (Cummings *et al.* 2022). Om gården dessutom har ViLA kan det innebära en kortare tid till insatt behandling jämfört med om veterinär behöver komma till platsen (Gård & Djurhälsan u.å.).

När veterinärer ska undersöka kalvar med misstänkta andningsproblem brukar det alltid ingå auskultation av lungorna med stetoskop men det har visats att även mellan veterinärer skiljer det mycket hur olika lungljud bedöms (Princisval *et al.* 2025). Enligt studien av Princisval *et al.* (2025) var det mest skillnad hur ljuden kategoriseras när det kom till ökade bronkiella ljud medan det var bättre överensstämmelse när det kom till övriga ljud, om än inte helt bra. Lungauskultation har en sensitivitet på 72,9 % och en specificitet på 53,3 % (Buczinski *et al.* 2016). Även fast det inte är en perfekt metod finns det fördelar med lungauskultation. Berman beskriver i en review-artikel (2024) fördelarna som "simple, fast, and requires limited materials". Att det endast krävs ett stetoskop gör att det inte är en diagnostik som är krånglig att utföra men till skillnad från "clinical scoring" är det huvudsakligen veterinärer som auskulterar. För att auskultation ska fungera bra som diagnostik krävs det träning och bra metodik (Curtis *et al.* 1986).

För att öka chansen att upptäcka individer med påverkade lungor kan man även använda sig av ultraljud vilket har visats vara ett bra hjälpmedel (Boccardo *et al.* 2023). Det har en sensitivitet på 79,4 % och en specificitet på 93,9 % (Buczinski *et al.* 2015). I flertalet studier (Pardon *et al.* 2019; Mahmoud *et al.* 2022) har man definierat kalven som sjuk med pneumoni när man sett en konsolidering på ≥ 1 cm. Ultraljud har visats ha en mycket högre sensitivitet än "clinical scoring" och lungauskultation så färre sjuka riskerar att missas (Buczinski *et al.* 2014). Däremot diskuterade Buczinski *et al.* vidare att bara för att konsolidering ses på ultraljud, behöver det inte nödvändigtvis innebära att BRD är aktivt hos kalven. Det skulle innebära att kalven inte alltid ska behandlas när konsolidering ses utan att andra faktorer behöver tas i beaktande. Konsolidering kan också ses vid atelektas och infarkter och är därför inte patognomt för lunginflammation.

2.1.2 Behandling och profylax

Drabbade djur bör isoleras och ges understödjande behandling (Sveriges Veterinärförbund 2019). Om det är en virusorsakad infektion brukar den oftast vara subklinisk eller endast med lindriga symtom. Vid tidig insättning av NSAID kan behovet för antibiotikabehandling i vissa fall försvinna. Om antibiotika sätts in är det önskvärt att det görs så snabbt som möjligt med en behandlingstid på 5–7 dagar. Förstahandsvalet av antibiotika i Sverige idag är bensylpenicillin och i andra hand ges tetracykliner eller florfenikol. Om man ska behandla BRD önskar man upptäcka sjukdomen så snabbt som möjligt (McGuirk & Peek 2014). En snabbare insatt behandling minskar risken för behov av förlängd antibiotikabehandling samt minskar risken för återfall och andra följsjukdomar.

För att avgöra om BRD ska behandlas med antibiotika är det bra att provta för att avgöra så att det verkligen är bakterier som är orsaken och för att undvika att driva på antibiotikaresistens i onödan (Pardon & Buczinski 2020). När det kommer till provtagning av lungorna finns det ingen “golden standard”. Diagnostiska metoder som har visats utgöra relativt bra provmaterial är djup nasopharyngeal svabb, transtrachealaspiration, transtrachealsköljning och bronkoalveolärt lavage (BAL), där BAL kan göras med eller utan endoskop. Provet kan sen analyseras på olika sätt som odling, PCR, ELISA eller MALDI-TOF. Vid val av provtagnings- och analysmetod önskar man få svaret så snabbt som möjligt för att kunna anpassa behandling, men även att svaret ska vara säkert samt att analysen önskvärt inte är så kostsam.

För att förebygga luftvägsinfektioner är det bra att hålla kalvarna i små åldersbaserade grupper (SVA 2025). Vid inhysning av dem är det bra att de har ett välventilerat och torrt utrymme. Det är även av stor vikt att kalvarna får råmjölk av bra kvalitet och i tillräckligt stor volym. Personal och personer som varit på andra gårdar bör hålla en god hygien för att minska risken för smittspridning och när kalvar köps in är det fördelaktigt att köpa från så få ställen som möjligt. Allt detta kan minska risken för spridning av patogener men om det väl har blivit ett utbrott med virus kan det vara svårt att stoppa då de är luftburna och vissa kan spridas väldigt snabbt.

2.2 Lungauskultation

Stetoskopets placering över lungfältet påverkar ljudnivån (Curtis *et al.* 1986). Starkast hör man ljudet över trachea och vid lungbasen, medan kaudalt hörs det mindre från lungorna. Det är betydligt mycket svårare att höra lungljuden hos överviktiga individer jämfört med normal- eller underviktiga individer. Även starka bakgrundsljud, som det ofta kan finnas på en gård, kan försvåra auskultationen och i vissa fall leda till att man inte hör normala lungljud alls.

Vid auskultation av lungor kan olika normala eller patologiska lungljud höras (Princisval *et al.* 2025). Det finns inte någon helt fastställd klassificering av ljuden utan kan skilja mellan studier vilka begrepp som används. Vanligt är dock att ljuden delas in efter normala, "wheeze", "crackles", förstärkta bronkiella ljud och "pleural rub" (Princisval *et al.* 2025).

Normala andningsljud

Normala andningsljud beskrevs i en studie av Boccardo *et al.* (2023) som mjukt blåsande med längre och tydligare inspiratorisk fas än expiratorisk. För kalvar är andningsfrekvensen normalt 20–50 andetag per minut (SVA 2024). Att kalvar sniffar är också ett helt normalt beteende (Duve & Jensen 2011) och det är också något som kan höras vid lungauskultation. Även ökade andningsljud kan räknas in som normala (Curtis *et al.* 1986). De ökade andningsljuden kan höras vid exempelvis ökad andningsfrekvens eller om kalven tar djupare andetag.

Ökade bronkiella ljud

Ökade bronkiella ljud har en högre och skarpare ton och kan försvåra möjligheten att höra skillnad mellan in- och utandning (Boccardo *et al.* 2023). Vid ökade bronkiella ljud är bronkerna fortsatt öppna och luftförande medan de mer perifera luftvägarna har fyllts med celler och vävnad (Curtis *et al.* 1986). Detta innebär att lungorna är konsoliderade och då ljud passerar bättre genom vävnad än luft hörs allt tydligare. Ökade bronkiella ljud kan uppstå vid exempelvis allvarlig lunginflammation.

Wheeze

"Wheeze" har varierande musikaliska visslande ljud som kan vara kontinuerliga eller intermittenta (Boccardo *et al.* 2023). Den typen av ljud uppstår när luften inte kan passera som vanligt på grund av att luftvägarna är komprimerade (Curtis *et al.* 1986). Ett mindre utrymme i luftvägarna kan ofta orsakas av exsudat som adhererar till kanterna men även andra orsaker som exempelvis bronkospasm. Om ljudet orsakats av exsudat och det släpper kan det leda till att man inte längre hör något "wheeze". "Wheeze" kan höras vid exempelvis kronisk atypisk interstitiell lunginflammation.

Crackles

"Crackles" är omusikaliska ljud (Boccardo *et al.* 2023) som kan låta klickande, poppande eller bubblande (Curtis *et al.* 1986). De går i sin tur att dela in i fina och grova baserat på hur långa ljuden är men som kliniker i fält är det svårt att bedöma på grund av att det ofta är störande bakgrundsljud (Princisval *et al.* 2025). Ljuden uppstår när luftvägarna under en del av inandningen är stängda men sedan snabbt öppnas (Curtis *et al.* 1986). I vissa studier, exempelvis den av Princival *et*

al. (2025), noteras även luft som passerar genom sekret i luftvägarna som en orsak till att "crackles" uppstår. Det motsägs dock i andra studier som den av Piirila och Sovijarvi (1995) där de sammanfattar att det inte är så sannolikt då "crackles" kan finnas kvar på samma ställe även efter hosta. Vid vissa tillfällen kan dock ljuden förflyttas från ett ställe över lungfältet till ett annat (Curtis *et al.* 1986). Det kan ske ibland om individen exempelvis hostar (Curtis *et al.* 1986) men behöver inte alltid förflyttas vid hosta (Piirila & Sovijarvi 1995). Detta innebär att "crackles" inte behöver höras jämt över hela lungfältet samtidigt utan kan höras på enskilda platser (Curtis *et al.* 1986). "Crackles" kan höras vid akut atypisk interstitiell lunginflammation.

Pleural friction rub

"Pleural friction rub" har ett raspande ljud under huvudsakligen inspiration men även första delen av expirationen (Boccardo *et al.* 2023). Ljudet uppstår om individen får en kraftig inflammation i pleuran som gör att skikten blir tjockare och kan höras vid andning då de två lagren rör sig mot varandra (Curtis *et al.* 1986). "Pleural friction rub" hörs vid pleurit men även om individen har pleurit är det inte säkert att den typen av ljud hörs (Boccardo *et al.* 2023). I deras studie användes gårdar där kalvarna i större utsträckning hade problem med respiration och ändå hördes "pleural friction rub" hos bara 1,2 % av kalvarna. "Pleural friction rub" kan höras vid exempelvis lungformen av pasturellos (Curtis *et al.* 1986).

3. Material och metod

3.1 Urval av individer

Ett bekvämlighetsurval av gårdar gjordes. SLU Lövsta lantbruksforskning användes för insamling av normala lungljud. För insamling av patologiska lungljud besöktes gårdar med sedan tidigare kända problem för att öka chansen att individer med patologiska lungljud påträffades. Patologiska lungljud spelades även in av andra veterinärer och inspelningarna skickades. Alla kalvar som användes för inspelning var fortfarande mjölkdrickande och var av mjölkras eller korsning mellan mjölk- och kötttras. Val av individer gjordes delvis efter temperament där lugnare kalvar som inte blev stressade av att hållas fast användes i större utsträckning. Totalt användes inspelningar från 54 kalvar vid analysen.

3.2 Material

Littmann CORE Stethoscope användes för inspelning av lungljuden. Appen Eko användes för inspelning av ljuden. Ljuden överfördes sedan från Eko till Microsoft OneDrive och sparades som pdf och wav. Wav-filen överfördes sedan till Audacity® (Audacity® 2025) för bearbetning. Ljuden lyssnades på med hörlurar, SONY WH-1000XM5.

3.3 Insamling av data

Kalvarna var kvar i sina hägn. De hölls fast mot vägg eller avdelare i den utsträckning som krävdes för att de skulle vara kvar. Kalvarna auskultades på mellersta delen av lungorna på båda sidorna. Flertalet, minst två per sida, inspelningar i Eko gjordes från varje kalv. Inspelningarna gjordes under 15 sekunder eller längre. För varje kalv skapades en ny patient i Eko och alla inspelningar för den enskilda kalven lades till under den.

3.4 Klassificering av inspelningar

Inspelningarna importerades till Audacity® (Audacity® 2025) för att i ett första steg avgöra kvalitén och typen av lungljud. Spektrogrammet visades och filerna lyssnades på upp till 3 gånger för att avgöra kvalitén och typen av lungljud. Innan starten av projektet gick författaren tillsammans med handledaren igenom hur ljuden skulle kategoriserades, både vid lyssnande men även med hjälp av spektrogram från Audacity® (Audacity® 2025). Inspelningarna lyssnades och kategoriserades först av författaren och därefter lyssnade handledaren på dem för att också bedöma om de var korrekt kategoriserade. Vid osäkerhet diskuterades den specifika ljudinspelningen mellan de två lyssnarna innan den kategoriserades.

Kvalitén på lungljuden delades in enligt följande:

1: Endast lungljuden hörs tydligt i ljudfilen.

2a: Lungljud och hjärtljud hörs i ljudfilen.

2b: Lungljud och ljud som orsakats av päls som skrapar mot stetoskopets membran kan höras. Övriga ljud än lungljuden är närvarande under mindre än en tredjedel av ljudfilen.

3: Lungljud, hjärtljud och ljud som orsakats av päls som skrapar mot stetoskopets membran kan höras. Övriga ljud än lung- och hjärtljuden är närvarande under mindre än en tredjedel av ljudfilen.

4: Lungljud och bakgrundsljud (till exempel läten från andra djur, folk som pratar eller ljud från maskiner) kan höras i ljudfilen.

5: Lungljud, hjärtljud, bakgrundsljud (till exempel läten från andra djur, folk som pratar eller ljud från maskiner) och ljud som orsakats av päls som skrapar mot stetoskopets membran kan höras. Bakgrundsljuden och/eller pälsens skrapande mot membranet kan höras under mer än en tredjedel av ljudfilen, alternativt att hjärtljuden är dominanta.

Ej klassificerbar: Lungljuden går ej att höra tydligt på grund av andra starkare ljud som exempelvis hjärtljud, stor friktion av päls som skrapar mot stetoskopets membran eller frekvent förekommande och tydliga bakgrundsljud.

Ljudfiler där kalven sniffat eller haft en tydligt förhöjd andningsfrekvens märktes upp som det men fick även en av ovanstående kategorier.

Typen av lungljud klassades enligt följande:

Normala: Mjukt blåsande ljud som låter högre vid inspiration än expiration. Även ökade andningsljud klassas som normala där andningsljuden är starkare, man kan fortsatt alltid höra skillnad mellan inspiration och expiration.

”Crackles”: Krepiterande, omusikaliska ljud som huvudsakligen kan höras vid inspiration.

”Wheeze”: Musikaliskt visslande ljud som förekommer intermittent eller kontinuerligt. Hörs vanligen vid expiration men kan höras vid inspiration.

Ökade bronkiella ljud: Hög och skarp ton där det kan vara svårt att skilja mellan inspiration och expiration.

Ej klassificerbar: Lungljuden går ej att höra tydligt på grund av andra starkare ljud som exempelvis hjärtljud, stor friktion av päls som skrapar mot stetoskopets membran eller frekvent förekommande och tydliga bakgrundsljud.

3.5 Bearbetning av data

Filer som kategoriserades som 1 bearbetades inte vidare.

Filer som kategoriserades som 2a bearbetades för att ta bort förekomsten av hjärtljud. Filen i wav-format fördes över till Audacity® (version 3.7.5) (Audacity® 2025) och spektrogram visades. Ett low-shelf filter lades på där lägsta möjliga frekvens för varje individuell inspelning gjordes för att få bort majoriteten av hjärtljuden. Frekvenser mellan 20–80 Hz användes och 48 dB togs bort varje gång. Den bearbetade ljudfilen sparades ner i wav.-format till Microsoft OneDrive.

Filer som kategoriserades som 2b bearbetades för att ta bort sektioner med tillfälliga andra ljud som skrapande från päls eller omgivningsljud. Ljudfilen i wav-format fördes över till Audacity® (version 3.7.5) (Audacity® 2025) och spektrogram visades. Berörda delar klipptes bort och den bearbetade ljudfilen sparades ner i wav.-format till Microsoft OneDrive.

Filer som klassificerades som 3–5 klipptes delar bort där inte andningsljuden hördes tydligt utan andra störande ljud. Eventuellt lades filter på för att minska hjärtljud. Minst 5 sekunder av bra kvalitet krävdes för att inspelningen skulle sparas och användas vidare. Bearbetade ljudfiler sparades ner i wav.-format till Microsoft OneDrive.

För filer där det inte gick att få till minst 5 sekunder (Fraïwan *et al.* 2022) av tydliga lungljud uteslöts från vidare användning. Även filer där det hördes tydliga lungljud i mer än 5 sekunder men det var en tydligt förhöjd andningsfrekvens eller sniffande, uteslöts.

3.6 Statistisk analys

För varje kategori av lungljud (normala, ökade bronkiella ljud, ”crackles” och ”wheeze”) togs olika värden fram, både frekvensrelaterade och tidsrelaterade, med hjälp av Fast Fourier Transform (FFT) analys som var implementerad i R-paketet *seewave* (R Project 2025). Den spektrala analysen utfördes med den ursprungliga inspelningsfrekvensen för varje inspelning, under hela inspelnings varaktighet, utan fönstring eller överlappning för att få en bra representation i frekvensdomänen. Frekvensupplösningen berodde på signallängd och inspelningsfrekvens. De spektrala mätvärdena beräknades från amplitudspektrumet

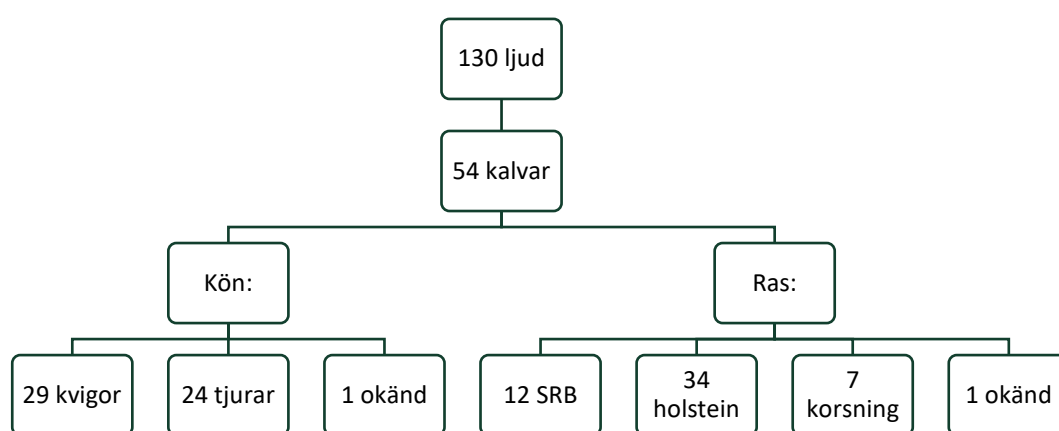
mellan 0 Hz och Nyquistfrekvensen. Tillägg av spektral "smoothing" gjordes inte för att bevara ljudens ursprungliga spektrala egenskaperna. Deskriptiv statistik utfördes för alla olika kategorier, se tabell 1 för de mätvärden som användes. Jämförelse har gjorts med Kruskal-Wallis test och post hoc analysen gjordes med Dunn's test. All statistik utfördes med RStudio (version 4.4.1) (R Project 2025) och ett p-värde $<0,05$ klassades som statistiskt signifikant. Följande paket användes i RStudio: *tuneR*, *seewave*, *moments*, *dplyr*, *ggplot2*, *ggpubr*, *rstatix* och *FSA*. "Pleural friction rub" togs inte med i studien på grund av att det inte hittades några och det är väldigt ovanligt att hitta den typen av ljud.

Tabell 1: Beskriver definitionerna för de olika mätvärdena som använts.

Mätvärde	Definition
Duration	Total varaktighet av ljudsignalen (i sekunder). Beräknad genom fillängden delat på samplingsfrekvensen.
Dominant frekvens	Frekvensen med den högsta amplituden i effektspektrumet.
Energi (dB)	Total energi hos signalen, uttryckt i decibel.
Normaliserad energi (dB)	Energi per tidsenhet, användbar för att jämföra ljud med olika duration.
Spektral centroid	Viktat medelvärde av frekvenser, viktat efter spektral amplitud. Anger var energin är koncentrerad.
Spektral skevhet	Mäter spektrumets symmetri, positiva värden indikerar mer energi vid höga frekvenser.
Frekvensområde	Skillnaden mellan signalens maximala och minimala signifikanta frekvenser.
Minsta frekvens	Lägsta frekvensen där amplituden överstiger signifikansgränsen, definierat som 5 % av den maximala spektrala amplituden i inspelningen. Det här relativa tröskelvärde tillämpades för att utesluta lågenergi ljud men bevara de huvudsakliga lungljuden.
Maximal frekvens	Högsta signifikanta frekvensen av signalen.
Energins medelvärde	Logaritmiskt medelvärde av signalens momentana energi.
Normaliserat medelvärde för energin	Energins medelvärde normaliserat efter signalens varaktighet.
Maximal energi	Signalens maximala momentana energivärde.
Normaliserad maximal energi	Maximal energi normaliserad efter signalens varaktighet.
RMS ("Root mean square")	"Root Mean Square"-amplitud, ett mått på den effektiva signalstyrkan.
Normaliserad RMS	RMS normaliserad efter signalens varaktighet.
RMS (dB)	RMS uttryckt i decibel, representerar den upplevda ljudnivån.

4. Resultat

Totalt analyserades 130 ljud från 54 kalvar, 29 (54 %) av dessa var kvigor och 24 (44 %) var tjurar samt 1 (2 %) hade okänt kön. Fördelningen av raser var följande: 12 (22 %) var svensk röd och vit boskap (SRB), 34 (63 %) var holstein, 7 (13 %) var korsningar mellan mjölk- och kötttras samt 1 (2 %) var av okänd ras. Fördelningen av kön och raser kan även ses i figur 1. Alla kalvarna var mjölkdrickande men varierade i ålder från cirka två veckor gamla fram till avvänjning.



Figur 1: Fördelningen av ras och kön hos kalvarna vars inspelningar användes i studien. SRB – svensk röd och vit boskap.

Alla inspelade ljud klassificerades efter typ av lungljud samt efter kvalitén på inspelningen baserat på hur tydligt lungljuden hördes och hur mycket andra störande bakgrundsljud som fanns med. 23 (18 %) av inspelningarna klassades som kategori 1, 13 (10 %) klassades som kategori 2a, 40 (31 %) som kategori 2b, 33 (25 %) som kategori 3, 3 (2 %) som kategori 4 och 18 (14 %) som kategori 5. Se tabell 2 för fördelningen av kategorier för de olika lungljuden av de ljud som var kvar efter kvalitetskontrollen. Exempel på spektrogram som klassificerades till grupp 1 för respektive kategori av lungljud kan ses i bilaga 1.

Tabell 2: Visar på fördelningen av kategorier för de olika lungljuden.

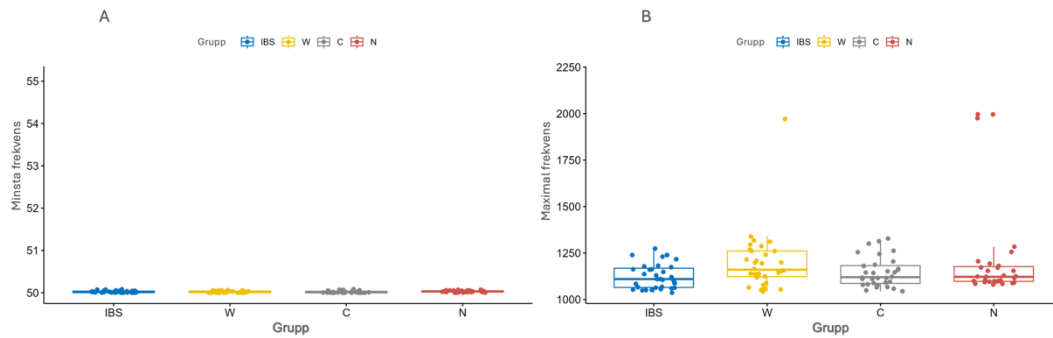
	1	2a	2b	3	4	5	Total
Normala	1	1	12	8	1	8	31
Ökade bronkiella ljud	4	4	8	14	1	4	35
”Crackles”	10	3	11	5	0	3	32
”Wheeze”	8	5	9	6	1	3	32
Totalt	23	13	40	33	3	18	130

Värdena som erhöles för de olika typerna av lungljud för de olika mätvärdena kan i sin helhet ses i tabell 3 och bilaga 2. Medelvärde för den minsta frekvensen hos normala lungljud var 50,03 ($\pm 0,02$) Hz och den maximala 1216,06 ($\pm 262,04$) Hz. För ökade bronkiella ljud var den medelvärde för den minsta frekvensen 50,02 ($\pm 0,02$) Hz och den maximala 1126,25 ($\pm 67,04$) Hz. Hos "crackles" var det liknande resultat gällande frekvensens medelvärde som hos ökade bronkiella ljud med minsta frekvensens medelvärde på 50,02 ($\pm 0,03$) Hz och den maximala på 1146,39 ($\pm 79,32$) Hz. För crackles var medelvärde för den minsta frekvensen 50,03 ($\pm 0,02$) Hz och för den maximala frekvensen 1201,29 ($\pm 161,52$) Hz. Fördelningen för dessa kan även visualiseras i figur 2.

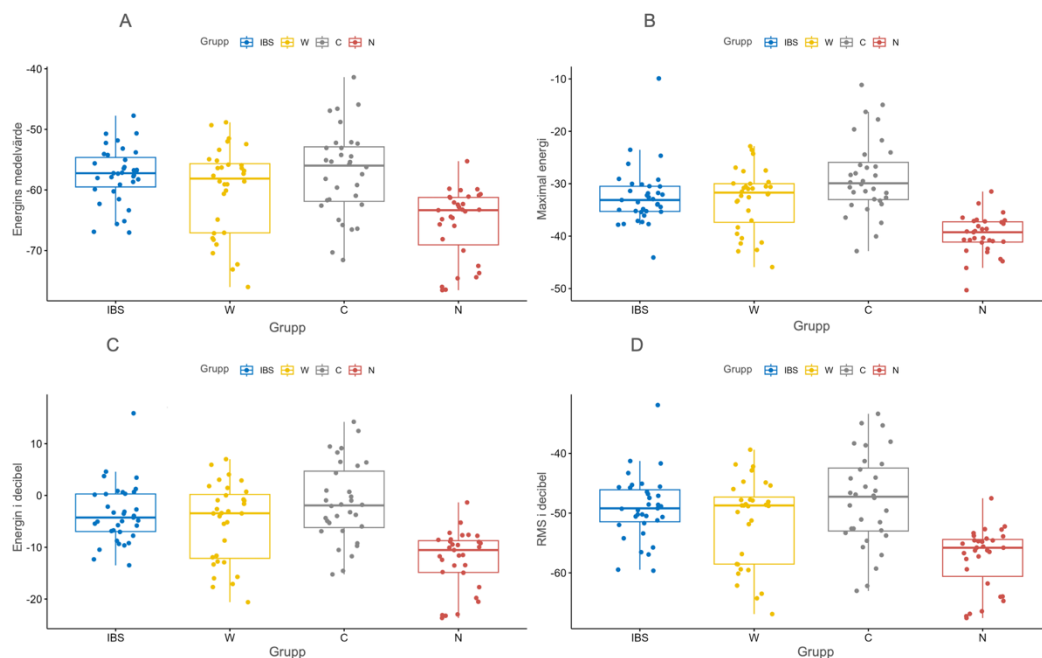
Värden som erhöles kopplat till intensiteten var bland annat energins medelvärde som för normala lungljud låg på -65,52 ($\pm 5,82$) dB. För ökade bronkiella ljud var energins medelvärde -57,52 ($\pm 4,58$) dB, för "crackles" -57,13 ($\pm 7,21$) dB samt för "wheeze" -60,08 ($\pm 7,30$) dB. Medelvärde av den maximala energin hos normala lungljud uppmättes till -39,78 ($\pm 3,71$) dB, för ökade bronkiella ljud var det -32,46 ($\pm 5,62$) dB, för "crackles" -28,72 ($\pm 7,20$) dB och för "wheeze" mättes det till -33,07 ($\pm 5,88$) dB. Medelvärde för energin i decibel hos normala lungljud var -12,44 ($\pm 5,77$) dB, för ökade bronkiella ljud -3,56 ($\pm 5,67$) dB, för "crackles" var det -1,43 ($\pm 7,61$) dB och för "wheeze" -5,20 ($\pm 7,58$) dB. För normala lungljud var RMS medelvärde i decibel -57,55 ($\pm 5,17$) dB, för ökade bronkiella ljud var det -49,12 ($\pm 5,38$) dB, för "crackles" -47,82 ($\pm 7,77$) dB och för "wheeze" -51,32 ($\pm 7,31$) dB. Värdena kan ses i sin helhet i tabell 3 och bilaga 2 samt visualiseras i figur 3 och bilaga 3.

Tabell 3: Visar på medelvärden för de olika lungljuden för varje enskilt mätvärde avrundat till två decimaler. RMS – root mean square. sd – standardavvikelse.

Mätvärde	Normala	Ökade bronkiella ljud	"Crackles"	"Wheeze"
Minsta frekvens medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	50,03 ($\pm 0,02$)	50,02 ($\pm 0,02$)	50,02 ($\pm 0,03$)	50,03 ($\pm 0,02$)
Maximal frekvens medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	1216,06 ($\pm 262,04$)	1126,25 ($\pm 67,04$)	1146,39 ($\pm 79,32$)	1201,29 ($\pm 161,52$)
Energins medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-65,52 ($\pm 5,82$)	-57,52 ($\pm 4,58$)	-57,13 ($\pm 7,21$)	-60,08 ($\pm 7,30$)
Energins medelvärde normaliserat ($\pm$ sd) (dB)	-8,56 ($\pm 2,99$)	-6,77 ($\pm 2,39$)	-5,60 ($\pm 2,31$)	-6,23 ($\pm 2,38$)
Maximal energi medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-39,78 ($\pm 3,71$)	-32,46 ($\pm 5,62$)	-28,72 ($\pm 7,20$)	-33,07 ($\pm 5,88$)
Maximal energi normaliserat ($\pm$ sd) (dB)	-5,19 ($\pm 1,80$)	-3,88 ($\pm 1,59$)	-2,83 ($\pm 1,40$)	-3,44 ($\pm 1,42$)
RMS medelvärde ($\pm$ sd)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,01 ($\pm 0,01$)	0,00 ($\pm 0,00$)
RMS normaliserat medelv ($\pm$ sd)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)
RMS medelvärde i decibel ($\pm$ sd) (dB)	-57,55 ($\pm 5,17$)	-49,12 ($\pm 5,38$)	-47,82 ($\pm 7,77$)	-51,32 ($\pm 7,31$)



Figur 2: Visar boxplots för minsta frekvens (A) och maximal frekvens (B) för ökade bronkiella ljud (IBS), "wheeze" (W), "crackles" (C) och normala lungljud (N) med frekvens på x-axeln och grupp av lungljud på y-axeln.



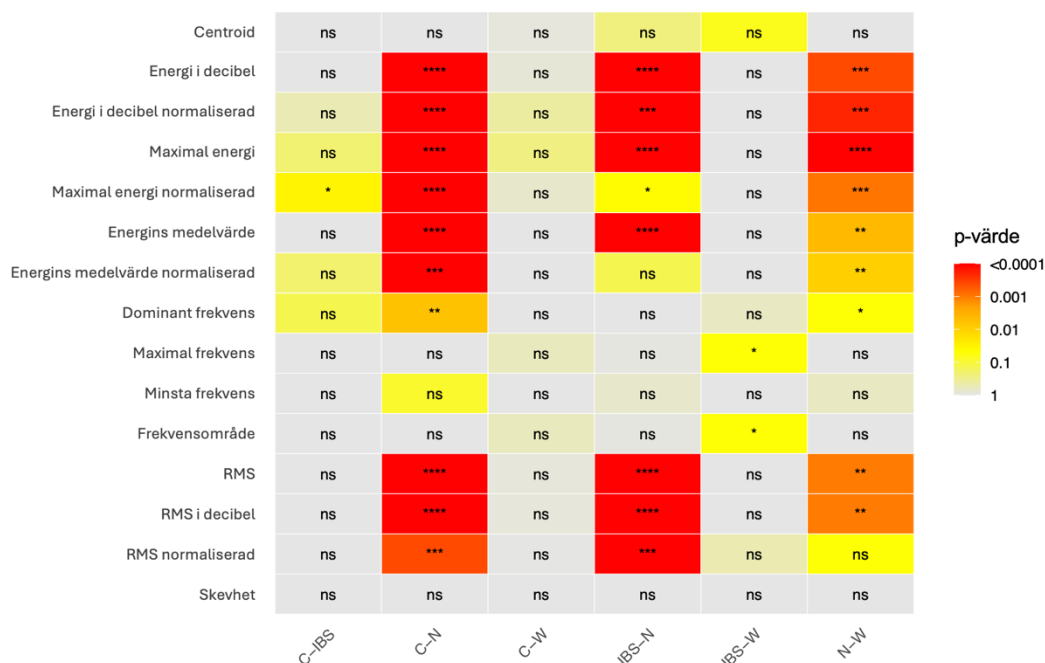
Figur 3: Visar boxplots för energins medelvärde (A), maximala energins medelvärde (B), Energien i decibel (C) och root mean square (RMS) i decibel (D) för ökade bronkiella ljud (IBS), "wheeze" (W), "crackles" (C) och normala lungljud (N) med frekvens på x-axeln och grupp av lungljud på y-axeln.

För varje mätvärde har de olika kategorierna av lungljud jämförts statistiskt. I bilaga 4 kan p-värdet för skillnad för mätvärdena mellan de olika kategorierna av lungljud ses. En förenklad jämförelse kan ses i figur 4. Resultaten tyder på att normala lungljud kan skiljas från patologiska men att det endast går att skilja ökade bronkiella ljud och "crackles" åt på ett mätvärde och ökade bronkiella ljud och "wheeze" endast går att skilja åt på två mätvärden. Det finns däremot inget mätvärde där det går att skilja "crackles" och "wheeze" med ett signifikant värde.

Huvudsakligen kan de normala lungljuden skiljas från de patologiska när energin och RMS jämförs men inte när det gäller centroid, frekvens eller skevhet.

De fullständiga resultaten av Kruskal-Wallis test och parvis jämförelse mellan de olika kategorierna återfinns i bilaga 4. Bland de frekvensrelaterade parametrarna var det endast den dominanta frekvensen som hade en statistisk signifikans ($p=0,0037$). Däremot hade flertalet av de intensitetsrelaterade parametrarna en statistisk signifikans vid Kruskal-Wallis test. Det var energi i decibel ($p<0,001$), normaliserade energi i decibel ($p<0,001$), energins medelvärde ($p<0,001$), energins medelvärde normaliserat ($p<0,001$), den maximala energin ($p<0,001$), normaliserad maximal energi ($p<0,001$), RMS ($p<0,001$), normaliserad RMS ($p<0,001$) samt RMS i decibel ($p<0,001$) som var signifikanta.

Figur 4 visar resultaten av statistiskt signifikant post hoc-analys av lungljuden gjorda med Dunn's test. Resultaten indikerar att normala lungljud kan skiljas från patologiska, huvudsakligen sett till intensitetsrelaterade parametrar. I motsats till det kunde ingen tydlig skillnad observeras bland de frekvensrelaterade parametrarna. Ökade bronkiella ljud och "crackles" kunde bara skiljas åt baserat på den normaliserade maximala energin. Ökade bronkiella ljud och "wheeze" kunde skiljas åt baserat på minsta frekvens och frekvensområde. Det fanns inga mätvärden där det gick att med statistisk signifikans skilja mellan "crackles" och "wheeze".



Figur 4: Visar vilka värden där signifikant skillnad kan ses respektive inte ses, mellan de olika kategorierna för varje enskilt mätvärde. ns - ej signifikant. Ju fler * desto lägre p-värde och mer signifikant. N – normala lungljud. IBS – ökade bronkiella ljud. C – "crackles". W – "wheeze".

5. Diskussion

Det här examensarbetet tyder på att det är möjligt att skilja mellan normala och patologiska lungljud baserat på de akustiska parametrarna som utvärderades. Skillnaden som ses är statistiskt signifikant. Majoriteten av skillnaderna kan ses relaterat till intensiteten av lungljuden och inte relaterat till frekvensen. Skillnaden mellan grupperna av patologiska ljud (ökade bronkiella ljud, "crackles" och "wheeze") är begränsad eller frånvarande.

Resultatet av den här studien tyder på att det inte säkert går att skilja de olika grupperna av patologiska lungljud åt. En tänkbar orsak till att det inte ses en lika tydlig skillnad mellan de olika patologiska ljuden som mellan normala och patologiska ljud skulle kunna vara för att det ofta var en kombination av patologiska ljud i inspelningarna. Det var ofta ljudfilerna innehöll både ökade bronkiella ljud och "crackles" alternativt ökade bronkiella ljud och "wheeze". Om så var fallet kategoriserades de som "crackles" alternativt "wheeze". Att det till stor del var en blandning av ljud skulle kunna förklara varför det inte sågs en skillnad i värdena vid jämförelse av ökade bronkiella ljud mot "crackles" eller "wheeze". I studien av Princisval *et al.* (2025) sågs det bäst överensstämmelse mellan veterinärer när de skulle skilja normala mot patologiska ljud. Det är liknande resultat som ses i resultatet av denna undersökning. Däremot tydde resultatet i deras studie på att ökade bronkiella ljud var svårast att urskilja medan det som setts i detta resultat var att ökade bronkiella ljud var det som potentiellt går att differentiera gentemot de övriga patologiska lungljuden, om än inte lika starkt som normala jämfört med patologiska.

När det kommer till "crackles" kan de antingen vara intermittenta eller kontinuerliga. Det enda mätvärdet där en signifikant skillnad kunde ses mellan "crackles" och ökade bronkiella ljud var den normaliserade maximala energin. För den normaliserade maximala energin bedöms energin under kortare segment av tiden i stället för en helhet vilket borde öka chansen att skillnader i energin upptäcks. Anledningen till att det inte upptäcktes skillnader när medelvärdet i stället undersöktes skulle kunna bero på att det var många av inspelningarna som hade intermittenta "crackles". Energin i dessa fåtal "crackles" skulle då spädas ut när ett medelvärde analyserades och inte heller vara tillräckligt för att göra en signifikant skillnad. Om alla inspelningar däremot hade haft "crackles" vid varje andetag hade det potentiellt kunnat urskiljas skillnader på fler mätvärden. Även de andra patologiska lungljuden kan vara intermittenta vilket försvårar uppfångandet av dessa.

Majoriteten av skillnaderna mellan lungljuden sågs kopplat till intensiteten som för de flesta mätvärdena var högre för de patologiska lungljuden. Att intensiteten ökar vid de patologiska lungljuden kan ha olika orsaker. Vid "crackles" uppkommer ljuden som hörs av att luftvägarna plötsligt öppnas från att ha varit stängda (Curtis *et al.* 1986) vilket borde kunna ge ett plötsligt ljud som låter extra mycket, eller om luften passerar genom mucus (Princisval *et al.* 2025) vilket också borde kunna ge ett extra ljud. Vid "wheeze" är luftvägarna smalare än normalt och ger upphov till ljudet (Curtis *et al.* 1986) som låter högt och då borde öka intensiteten. Ökad intensitet skulle även kunna bero på lungödem. I en studie av Räsänen och Gavriely (2002) undersöktes bland annat transmissionen av ljud i förhållande till graden av lungödem. Deras studie visade på att transmissionen blev effektivare i samband med att lungödemet ökade vilket gav en ökad intensitet. Detta stämmer bra överens med resultatet från denna studie. Vid BRD är tachypné ett av symtomen (Ferraro *et al.* 2021) och även detta skulle kunna leda till en ökad intensitet. När spektrogrammen observerades upplevdes det som att andningsfrekvensen var något högre hos kalvarna med patologiska lungljud jämfört med de normala. Det upplevdes även som att delen av andningscykeln som var inspiration generellt var större vid patologiska lungljud jämfört med normala. Även detta skulle kunna bidra till en ökad intensitet vid analysen då inspiration har en högre intensitet än expiration (Gavriely & Cugell 1996).

Av de värdena som erhållits efter analysen varierade det mellan typer av lungljud hur stor standardavvikelse som sågs. Sett till medelvärdet för den maximala frekvensen har de normala lungljuden en klart högre standardavvikelse än övriga. En reviewartikel av Oliveira och Marques (2014) tyder på att det finns skillnader mellan individer gällande vad som är normal andning, bland annat kopplat till frekvens. Den reviewartikeln jämförde artiklar för människor men det vore inte orimligt att anta att detsamma borde kunna gälla för nötkreatur. Detta stämmer överens med den stora standardavvikelsen för den maximala frekvensen som erhöles i denna studie.

Efter analys av energins medelvärde kunde ett lägre värde för de normala lungljuden ses jämfört med övriga kategorier. Detta stämmer överens med definitionen av att normala lungljud inte har några hårda ljud utan är mjukt blåsande (Boccardo *et al.* 2023).

Det finns flera olika faktorer som skulle kunna påverka kvalitén av inspelningen. I den här studien gjordes inspelningen av ljuden på det ställe över lungfältet där lungorna hördes tydligast med så lite hjärtljud som möjligt. Stetoskopets placering kom därför att variera mellan kalvar då det varierade var den optimala placeringen var. I en studie (Curtis *et al.* 1986) beskrevs det att lungljuden låter olika starkt beroende på stetoskopets placering. Även fettlagret över revbenen beskrevs på-

verka hur tydligt lungorna låter. Att alla individer inte har samma hull och att stetoskopets placering skilde mellan individer och inspelningar skulle potentiellt kunna avspeglas i resultatet. Huvudsakligen borde det vara intensiteten som påverkas om det är ett tjockare lager av vävnad mellan lungorna och stetoskopet men då individerna som användes för inspelningar var normala till storlek och hull borde resultatet vara applicerbart på en normal population.

Kalvarna som användes för ljudinspelningarna skiljde i ras, ålder och kön. Alla var fortfarande mjölkdrickande men åldern varierade från cirka två veckor gamla fram till avvänjning. När det kom till ras var det huvudsakligen mjölkkraser men det fanns även kalvar som var korsningar med kötttraser. Att ljuden som användes vid analysen kom från kalvar från en lite bredare population skulle kunna vara till en fördel vid vidare forskning då målpopulationen inte är så smal.

Vid inspelning av lungljuden var kalvarna tvungna att hållas fast i olika utsträckning. Auskultation av lungorna är inget som kalvarna hade vant in på och troligen stressade behandlingen dem i någon utsträckning. En viss stresspåverkan hos kalvarna kan ha ökat andningsfrekvensen, men detta bedöms påverka samtliga ljudkategorier likvärdigt och bör därför inte ha snedvridit jämförelserna. När djur blir rädda kommer det aktivera det sympatiska nervsystemet (Sjaastad *et al.* 2016:170–171). Detta leder bland annat till att bronkerna dilateras och en ökad andningsfrekvens ses. Om det sympatiska nervsystemet aktiverades hos kalvarna när inspelningarna gjordes skulle det ha kunnat påverka ljuden. Troligtvis reagerade alla kalvarna på någorlunda liknande sätt så det borde inte påverka resultatet. Om det förändrade några mätvärden vid analysen borde de olika typerna av lungljud påverkas på liknande sätt så att skillnaden mellan dem inte borde påverkas så mycket. Om resultaten som erhöles ska kunna användas framöver efter vidare forskning borde också framtida inspelningar påverka kalvarna på samma sätt. Detta borde därför inte påverka möjligheten att använda resultatet från denna studie framöver.

Att det i flertalet studier (Pardon *et al.* 2019; Boccardo *et al.* 2023; Princisval *et al.* 2025) setts en stor variation i hur lungljud klassas av veterinärer skulle delvis kunna bero på veterinärutbildningen. Undertecknad upplever att det på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) har saknats exempel och möjligheter att höra olika sorters lungljud. För att bli bra på något är en bra metod att upprepa det flera gånger (Tabibian *et al.* 2019) så om större möjlighet gavs att få höra patologiska lungljud, med diskussioner om vilken typ av lungljud det är och varför, skulle det förhoppningsvis leda till en bättre förståelse och kunskap. Även under den här studien när visuell hjälp att kategorisera lungljuden fanns, var det inte helt självklart hur vissa inspelningar skulle klassificeras. Vissa inspelningar upplevdes som gränsfall mellan huvudsakligen ökade bronkiella ljud och ”crackles”. Att det trots

visuell hjälp kunde vara svårt att kategorisera vissa ljud tyder än mer på att det är ett svårt område inom veterinärmedicin. Faktumet att vissa ljud är i gränslandet mellan kategorier borde också vara en bidragande del som gör det svårare att bedöma. Den bedömningen skulle troligt fortsatt vara svår även vid mer utbildning på området så det kommer nog aldrig gå att få till en hundra procentig överensstämmelse mellan veterinärer med endast auskultation.

Vid bearbetning av lungljuden var det i varje enskilt tillfälle tvunget att tas ett beslut gällande hur mycket ljud som inte var lungljud som skulle få vara kvar. I många av inspelningarna kunde åtminstone lite hjärtljud höras och då blev det en avvägning om de skulle få vara kvar för att inte ta bort delar av lungljuden eller om filter skulle läggas till för att minska hjärtljuden men då riskerades även att delar av lungljuden gick förlorade. Det upplevdes som svårast i början och potentiellt sett gjordes bedömningarna lite olika medan det mot slutet av bearbetningen upplevdes som att samma beslut togs i större utsträckning. Om tiden hade funnits hade det varit intressant att göra om bearbetningen av ljuden igen för att se om det skulle påverka resultatet. Salvatore Ferraro gjorde även en enkel sensitivitetskontroll där resultat som erhållits jämfördes med resultatet från motsvarande analys men där endast inspelningar i kategori 1 analyserades. Detta visade på liknande resultat som när alla ljuden analyserats vilket tyder på att de bearbetade ljuden inte ändrats så mycket från de ursprungliga. Troligtvis skulle därför inte en ombearbetning av ljuden leda till någon större skillnad i resultatet.

Vid kategoriseringen av lungljuden var vi alltid två som bedömde ljuden. Dock var det inte oberoende av varandra då författaren, som lyssnade först, valde en kategori för inspelningen som handledaren sedan valde att hålla med om eller inte. Vid eventuella osäkerheter från den som lyssnade först diskuterades det enskilda lungljudet innan det kategoriserades för att gemensamt komma fram till en kategori. Av de inspelningarna som inte diskuterades var det ingen inspelning som handledaren ansåg var felkategoriserad. Att kategoriseringen inte gjordes oberoende ökar risken för att handledaren fick ett bias och då att något av ljuden ändå blev felkategoriserat. Däremot borde det varit till fördel att det var två lyssnare i stället för en och då huvudsakligen när det kom till de lungljuden som inte var så tydliga och de kunde då diskuteras. Det var ingen av inspelningarna som inte kunde kategoriseras med samtycke.

Om studien hade gjorts om på nytt hade det varit optimalt om det fanns ett större urval av inspelningar att välja på för att i större utsträckning kunna välja bort inspelningar med tydliga hjärtljud. Det hade underlättat då det inte hade funnits ett behov av att väga värdet av att få med hela lungljuden mot hur mycket hjärtljuden stör vid analysen.

Antalet inspelningar per kategori som användes vid analysen var 31–35. För att använda sig av Kruskal-Wallis test var det ett tillräckligt antal men för att potentiellt få med ytterligare varianter i de olika kategorierna, exempelvis mer eller mindre intermittenta, hade det kunnat vara av intresse att öka antalet analyserade inspelningar. Däremot borde inte det antal inspelningar som användes vara för få till antalet för att få fram ett relevant resultat. Detta då ljuden upplevdes som tillräckligt lika inom respektive kategori för att de skulle vara representativa.

Det hade även kunnat vara av intresse att vid en jämförelse slå ihop alla de olika kategorierna av patologiska lungljud och jämföra dessa mot de normala lungljuden. Detta hade kunnat vara intressant att undersöka då resultatet visade på att det går att skilja de normala från respektive kategori av patologiska men för vidare utveckling hade det varit en intressant jämförelse att ha då det inte lika tydligt går att skilja de olika kategorierna av patologiska lungljud åt.

För vidare forskning inom området vore det intressant att se om det går att utveckla ett stetoskop som kan hjälpa till att identifiera om lungljuden är normala eller patologiska. Resultatet på den här studien tyder på att det i dagsläget inte på ett enkelt sätt skulle gå att skilja de olika patologiska lungljuden åt men det skulle ändå vara av stort värde om veterinärer kan få hjälp att identifiera de patologiska eftersom flertalet studier (Pardon *et al.* 2019; Boccardo *et al.* 2023; Princisval *et al.* 2025) beskrivit att lungljud är ett svårt område. Att det utvecklats stetoskop som kan identifiera typen av lungljud hos människor (StethoMe® u.å.) tyder på att tekniken för det finns. När det kommer till djur är det däremot betydligt svårare att få dem att vara stilla samt kontrollera omgivningen vilket ökar risken för störande ljud som kan försvåra för artificiell intelligens att göra sin bedömning.

Slutsatsen efter det här examensarbetet är att resultaten tyder på att det går att skilja normala lungljud hos kalvar från respektive kategori av patologiska lungljud (ökade bronkiella ljud, ”crackles”, ”wheeze”). Det går huvudsakligen att skilja dem åt kopplat till intensiteten. Att skilja de olika kategorierna av patologiska lungljud åt genom mätvärden går endast att göra vid endast fåtal mätvärden eller inte alls beroende på vilka kategorier som jämförs.

Referenser

- Audacity® (2025). *Audacity Team*. [Programvara]. <https://www.audacityteam.org/> [2025-12-19]
- Berman, J. (2024). Literature review of the principal diagnostic tests to detect bovine respiratory disease in pre-weaned dairy and veal calves. *Animals*, 14 (2), 329. <https://doi.org/10.3390/ani14020329>
- Boccardo, A., Ferraro, S., Sala, G., Ferrulli, V., Pravettoni, D. & Buczinski, S. (2023). Bayesian evaluation of the accuracy of a thoracic auscultation scoring system in dairy calves with bronchopneumonia using a standard lung sound nomenclature. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37 (4), 1603–1613. <https://doi.org/10.1111/jvim.16798>
- Buczinski, S., Forté, G., Francoz, D. & Bélanger, A.-M. (2014). Comparison of thoracic auscultation, clinical score, and ultrasonography as indicators of bovine respiratory disease in preweaned dairy calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 28 (1), 234–242. <https://doi.org/10.1111/jvim.12251>
- Buczinski, S., L Ollivett, T. & Dendukuri, N. (2015). Bayesian estimation of the accuracy of the calf respiratory scoring chart and ultrasonography for the diagnosis of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves. *Preventive Veterinary Medicine*, 119 (3), 227–231. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.02.018>
- Buczinski, S., Ménard, J. & Timsit, E. (2016). Incremental value (Bayesian framework) of thoracic ultrasonography over thoracic auscultation for diagnosis of bronchopneumonia in preweaned dairy calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30 (4), 1396–1401. <https://doi.org/10.1111/jvim.14361>
- Buczinski, S. & Pardon, B. (2020). Bovine respiratory disease diagnosis: What progress has been made in clinical diagnosis? *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 36 (2), 399–423. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.004>
- Cummings, D.B., Meyer, N.F. & Step, D.L. (2022). Bovine respiratory disease considerations in young dairy calves. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 38 (1), 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2021.11.007>
- Curtis, R.A., Viel, L., McGuirk, S.M., Radostits, O.M. & Harris, F.W. (1986). Lung sounds in cattle, horses, sheep and goats. *The Canadian Veterinary Journal*, 27 (4), 170–172
- Cusack, P., McMeniman, N. & Lean, I. (2003). The medicine and epidemiology of bovine respiratory disease in feedlots. *Australian Veterinary Journal*, 81 (8), 480–487. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2003.tb13367.x>
- Duve, L.R. & Jensen, M.B. (2011). The level of social contact affects social behaviour in pre-weaned dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 135 (1), 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.08.014>
- Eko Health (u.å.). *How Eko Combines a Stethoscope, ECG & AI Detection*. <https://www.ekohealth.com/pages/ai-stethoscope-ecg> [2025-10-20]

- Ferraro, S., Fecteau, G., Dubuc, J., Francoz, D., Rousseau, M., Roy, J.-P. & Buczinski, S. (2021). Scoping review on clinical definition of bovine respiratory disease complex and related clinical signs in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104 (6), 7095–7108. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19471>
- Fraiwan, M., Fraiwan, L., Alkhodari, M. & Hassanin, O. (2022). Recognition of pulmonary diseases from lung sounds using convolutional neural networks and long short-term memory. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13 (10), 4759–4771. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03184-y>
- Gavriely, N. & Cugell, D.W. (1996). Airflow effects on amplitude and spectral content of normal breath sounds. *Journal of Applied Physiology*, 80 (1), 5–13. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.5>
- Gård & Djurhålsan (u.å.). *ViLA Nöt (Villkorad läkemedelsanvändning)*. <https://www.gardochdjurhalsan.se/radgivning-tjanster/not/vila-villkorad-lakemedelsanvandning/> [2025-09-12]
- Leruste, H., Brscic, M., Heutinck, L.F.M., Visser, E.K., Wolthuis-Fillerup, M., Bokkers, E.A.M., Stockhofe-Zurwieden, N., Cozzi, G., Gottardo, F., Lensink, B.J. & van Reenen, C.G. (2012). The relationship between clinical signs of respiratory system disorders and lung lesions at slaughter in veal calves. *Preventive Veterinary Medicine*, 105 (1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.01.015>
- Mahmoud, A.E., Fathy, A., Ahmed, E.A., Ali, A.O., Abdelaal, A.M. & El-Maghraby, M.M. (2022). Ultrasonographic diagnosis of clinical and subclinical bovine respiratory disease in Holstein calves. *Veterinary World*, 15 (8), 1932–1942. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1932-1942>
- McGuirk, S.M. & Peek, S.F. (2014). Timely diagnosis of dairy calf respiratory disease using a standardized scoring system. *Animal Health Research Reviews*, 15 (2), 145–147. <https://doi.org/10.1017/S1466252314000267>
- Oliveira, A. & Marques, A. (2014). Respiratory sounds in healthy people: A systematic review. *Respiratory Medicine*, 108 (4), 550–570. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2014.01.004>
- Panciera, R.J. & Confer, A.W. (2010). Pathogenesis and pathology of bovine pneumonia. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 26 (2), 191–214. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.04.001>
- Pardon, B. & Buczinski, S. (2020). Bovine respiratory disease diagnosis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36 (2), 425–444. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.005>
- Pardon, B., Buczinski, S. & Deprez, P.R. (2019). Accuracy and inter-rater reliability of lung auscultation by bovine practitioners when compared with ultrasonographic findings. *Veterinary Record*, 185 (4), 109–109. <https://doi.org/10.1136/vr.105238>
- Piirila, P. & Sovijarvi, A.R. (1995). Crackles: recording, analysis and clinical significance. *European Respiratory Journal*, 8 (12), 2139–2148. <https://doi.org/10.1183/09031936.95.08122139>

- Princisval, L., Boccardo, A., Pravettoni, D., Ferraro, S., Valarcher, J., Gomes, V., Fecteau, G. & Buczinski, S. (2025). Agreement of specific lung sounds auscultation by veterinarians for the detection of bronchopneumonia in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 39 (5), e70203. <https://doi.org/10.1111/jvim.70203>
- R Foundation (2025). *The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/> [2025-12-19]
- Räsänen, J. & Gavriely, N. (2002). Detection of porcine oleic acid-induced acute lung injury using pulmonary acoustics. *Journal of Applied Physiology*, 93 (1), 51–57. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01238.2001>
- Sjaastad, Ø.V., Hove, K. & Sand, O. (2016). *Physiology of Domestic Animals*. 3. ed. Scandinavian Veterinary Press.
- Smith, R.A., Step, D.L. & Woolums, A.R. (2020). Bovine respiratory disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36 (2), 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.009>
- StethoMe® (u.å.). *StethoMe® – lungs under control*. <https://www.stethome.com/en-gb> [2025-12-05]
- SVA (2024). *Att ställa diagnos hos nötkreatur*. Statens veterinärmedicinska anstalt. <https://www.sva.se/djurhaelsa/djurslag-a-oe/produktionsdjur/noetkreatur/haelsolaege-foer-noetkreatur-i-sverige/att-staella-diagnos-hos-noetkreatur/> [2025-10-09]
- SVA (2025). *Luftvägsinfektioner hos kalvar och ungdjur*. Statens veterinärmedicinska anstalt. <https://www.sva.se/djurhaelsa/djursjukdomar-a-oe/sjukdomar/luftvaegsinfektioner-hos-kalvar-och-ungdjur/> [2025-09-25]
- Sveriges Veterinärförbund (2019). *Sveriges Veterinärförbunds riktlinjer för antibiotikaanvändning till nötkreatur & gris*. <https://www.svf.se//media/segp21ok/abriktlinjer-no-tkreatur-och-gris-rev2019.pdf> [2025-09-12]
- Tabibian, B., Upadhyay, U., De, A., Zarezade, A., Schölkopf, B. & Gomez-Rodriguez, M. (2019). Enhancing human learning via spaced repetition optimization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (10), 3988–3993. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815156116>
- University of Wisconsin-Madison (u.å.). *Calf Health Scoring Chart*. https://www.vetmed.wisc.edu/fapm/wp-content/uploads/2020/01/calf_respiratory_scoring_chart.pdf [2025-11-02]
- Vandermeulen, J., Bahr, C., Johnston, D., Earley, B., Tullo, E., Fontana, I., Guarino, M., Exadaktylos, V. & Berckmans, D. (2016). Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.014>
- Wittum, T.E., Woollen, N.E., Perino, L.J. & Littledike, E.T. (1996). Relationships among treatment for respiratory tract disease, pulmonary lesions evident at slaughter, and

rate of weight gain in feedlot cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 209 (4), 814-818. <https://doi.org/10.2460/javma.1996.209.04.814>

Populärvetenskaplig sammanfattning

”Bovine respiratory disease”- komplexet (BRD) är en grupp av luftvägssjukdomar hos nötkreatur. BRD är en vanlig orsak till dödlighet hos kalvar och kan även efter att kalven blivit frisk påverka exempelvis genom att kalvarna kan växa långsammare och kvigorna kan bli könsmogna senare. Under tiden de är sjuka är det vanligt att ett förändrat andningsmönster ses, de kan andas snabbare eller få svårare att andas. Även feber, hosta och nosflöde är vanligt.

Det finns i dagsläget tre huvudsakliga sätt med lite olika användningsområden som används för att avgöra om en kalv ska behandlas eller inte. Kalven kan antingen tittas på, lyssnas på med hjälp av stetoskop och/eller ultraljudas över bröstkorgen. Att titta på kalven kan vem som helst göra och i kombination med att också ta tempen är det vanligtvis den metoden bonden använder sig av för att avgöra om behandling ska sättas in eller inte, förutsatt att denne har tillåtelse att sätta in behandling. Det finns flera olika modeller med poängsystem som ska vara till hjälp att avgöra vad som ska göras. När veterinärer undersöker djur där problem med lungorna misstänks, lyssnar veterinären alltid på lungorna med stetoskop (i kombination med annan undersökning). Stetoskopet flyttas runt över bröstkorgen så att båda lungorna kan utvärderas. Vid ultraljud används en ultraljudsprob som förflyttas över lungorna och den yttersta delen av lungorna kan då ses för att avgöra om de är normala och luftfyllda eller om de inte längre är helt fyllda med luft som normalt.

Det har visats i flertalet studier att det inte är så lätt att lyssna på lungor. Det har skiljt en hel del mellan veterinärer hur dessa har klassat olika inspelningar av lungljud. Det har gjorts försök att ta fram definitioner för de olika lungljuden men i dagsläget skiljer det sig åt till viss del vilka begrepp som används i olika studier. Vanligt är dock att normala, ökade bronkiella ljud, ”crackles” och ”wheeze” används. Alla förutom de normala lungljuden räknas som sjukliga.

Målet med detta examensarbete var att undersöka om det gick att kategorisera de olika typerna av lungljud utifrån olika värden som kan fås fram från inspelningar av lungljud.

För genomförandet av studien spelades lungljud in. Detta gjordes med ett stetoskop som gick att koppla till en app. De inspelade ljuden klassificerades sedan och bearbetades för att få bort störande ljud som inte kom från lungorna. Totalt användes 130 lungljud från 54 kalvar. De olika grupperna av lungljud analyserades sedan baserat på olika värden och jämfördes mellan varandra för att se om det gick att skilja dem åt.

Resultatet som erhöles efter att analysen av de användbara lungljuden genomförts, visade på att det går att se skillnad mellan de sjuka och normala lungljuden. Där- emot var det inte en lika tydlig skillnad som kunde ses mellan de olika typerna av sjuka lungljud. När det kom till att skilja på de sjuka och normala lungljuden var det lättast att skilja dem åt sett till ljudets styrka. Detta skulle kunna vara på grund av att lungorna ofta kan bli mer kompakta när de inte är friska och det gör att lju- det transporteras bättre och hörs då starkare. När de olika typerna av sjuka lung- ljud skulle skiljas åt med hjälp av värdena som tagits fram var det bara på totalt tre värden där skillnad kunde ses. Dessa värden var inte heller lika säkra att de stämde som när de sjuka jämfördes med de normala lungljuden.

Genomförandet av studien gick bra och utan hinder som tros ha påverkat resul- tatet i någon större utsträckning. Detaljer som exempelvis hur tjock kalven var och var stetoskopet placerades när inspelningen gjordes skulle kunnat påverka värdena som togs fram vid analysen till viss del. Dock var kalvarna inte väldigt över- eller underviktiga och stetoskopets placering var alltid inom ett område som brukar lyssnas på vid veterinärundersökning. Vidare forskning inom ämnet skulle kunna utnyttja resultatet av den här studien. Förhoppningsvis skulle ett stetoskop kunna utvecklas som med hjälp av artificiell intelligens kan hjälpa till att avgöra om lungorna låter normalt eller om ljuden är avvikande. Att kalvarna vid den här studien inte såg exakt likadana ut och inte var av endast var av samma ålder, kön eller ras, gör att resultatet från studien förhoppningsvis är mer användbart fram- över då det inte endast är representativt för en liten målgrupp.

Bilaga 1

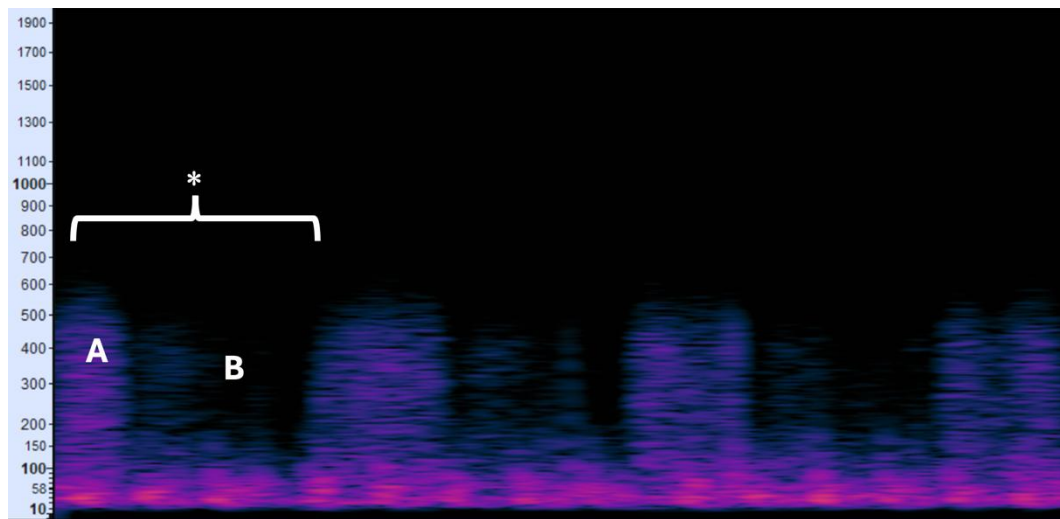


Bild: Spektrogram av normalt lungljud genererat i Audacity®. En andningscykel () med inspiration (A) och expiration (B) med tiden (sekunder) på x-axeln och frekvensen (Hz) på y-axeln.*

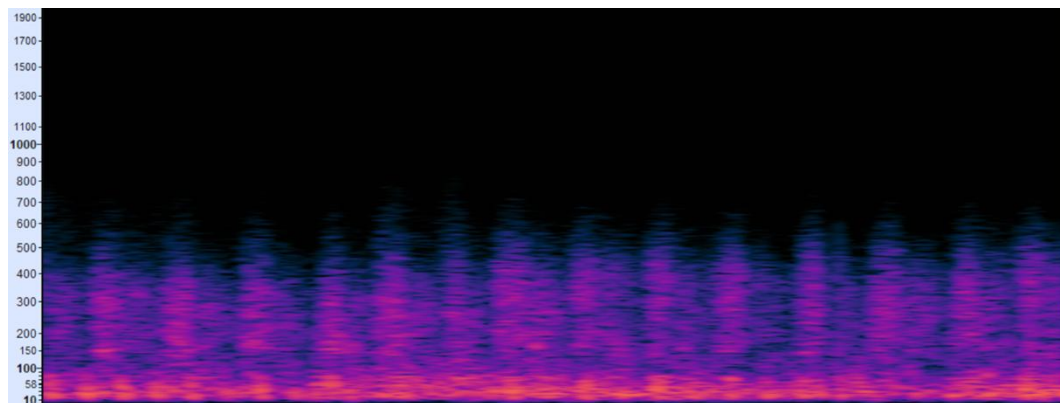
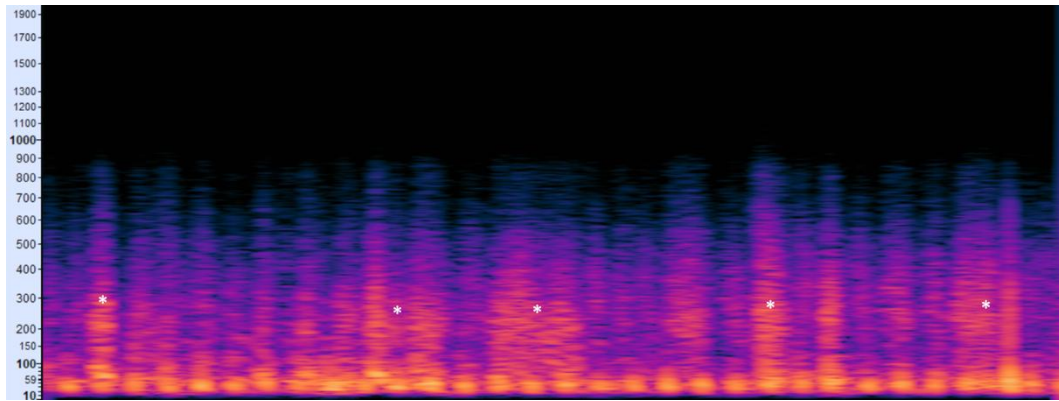


Bild: Spektrogram av ökat bronkiellt ljud genererat i Audacity® med tiden (sekunder) på x-axeln och frekvensen (Hz) på y-axeln.



*Bild: Spektrogram av intermittenta "crackles" genererat i Audacity® med tiden (sekunder) på x-axeln och frekvensen (Hz) på y-axeln. * är andetag med "crackles".*

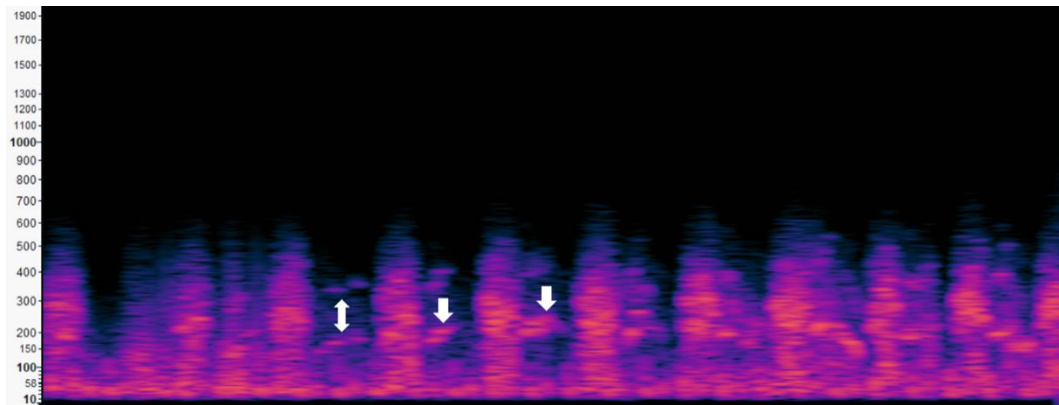


Bild: Spektrogram av "wheeze" genererat i Audacity® med tiden (sekunder) på x-axeln och frekvensen (Hz) på y-axeln. Pilarna pekar på karakteristiska områden under expirationen med högre intensitet vilket genererar ett "wheeze".

Bilaga 2

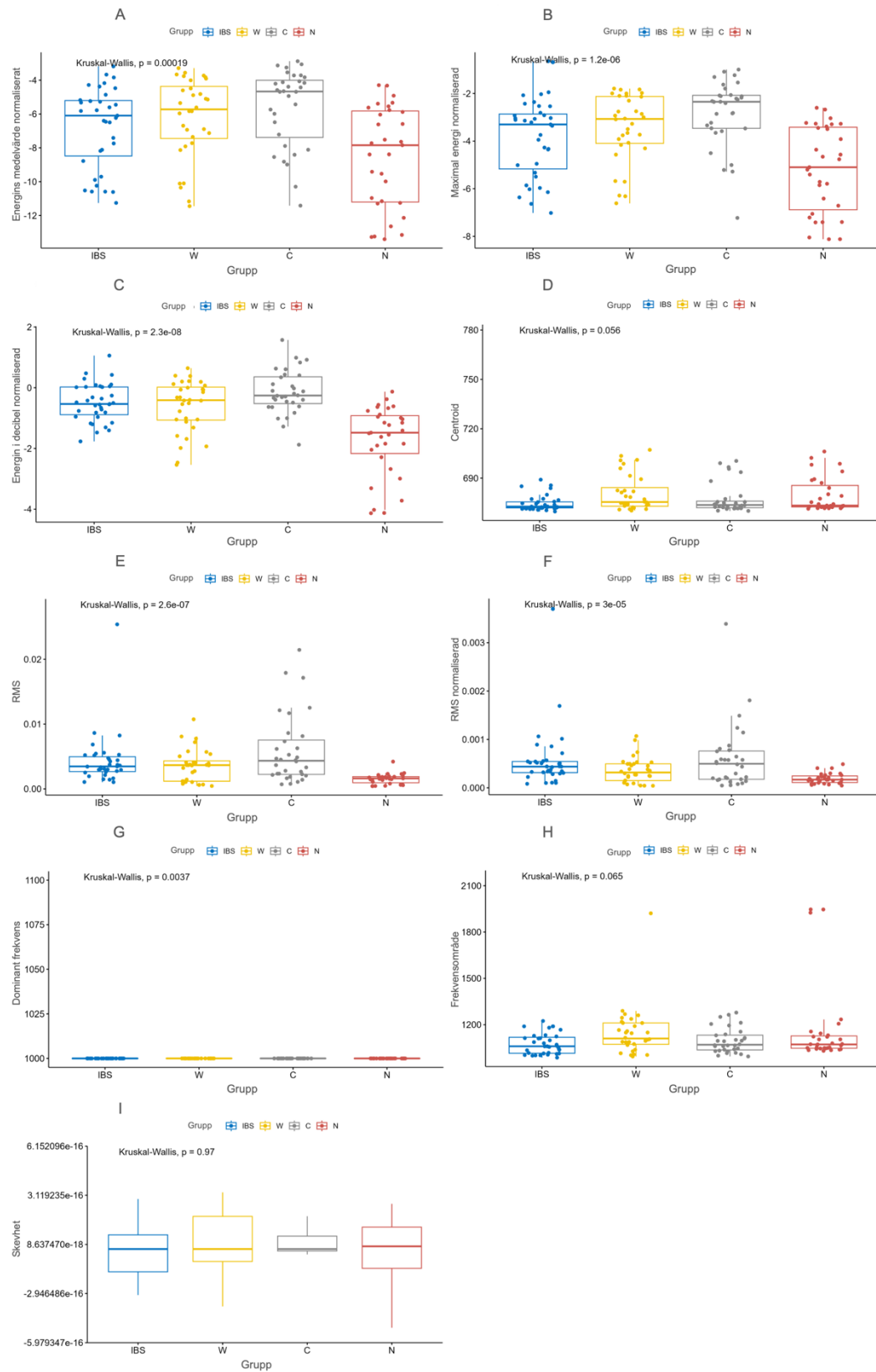
Tabell: Visar deskriptiva värden för respektive kategori av lungljud avrundat till två decimaler. Q1 - första kvartilen. Q3 – tredje kvartilen. RMS - root mean square. sd – standardavvikelse.

	Normal	Ökade bronkiella ljud	”Crackles”	”Wheeze”
Duration medelvärde ($\pm$ sd) (s)	8,55 ($\pm 2,85$)	9,50 ($\pm 3,15$)	11,62 ($\pm 3,78$)	10,79 ($\pm 3,41$)
Duration median (s)	7,83	9,56	13,77	10,72
Duration Q1 (s)	6,10	6,81	8,05	7,99
Duration Q3 (s)	10,98	11,66	15,00	15,00
Dominant frekvens medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	999,97 ($\pm 0,01$)	999,97 ($\pm 0,01$)	999,98 ($\pm 0,01$)	999,97 ($\pm 0,01$)
Dominant frekvens median (Hz)	999,97	999,97	999,98	999,98
Dominant frekvens Q1 (Hz)	999,96	999,96	999,97	999,97
Dominant frekvens Q3 (Hz)	999,98	999,98	999,98	999,98
Energi i decibel medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-12,44 ($\pm 5,77$)	-3,56 ($\pm 5,67$)	-1,43 ($\pm 7,61$)	-5,20 ($\pm 7,58$)
Energi i decibel median (dB)	-10,54	-4,26	-1,92	-3,44
Energi i decibel Q1 (dB)	-14,86	-6,96	-6,20	-12,14
Energi i decibel Q3 (dB)	-8,72	0,30	4,71	0,20
Energi i decibel normaliserat medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-1,73 ($\pm 1,15$)	-0,49 ($\pm 0,63$)	-0,14 ($\pm 0,72$)	-0,61 ($\pm 0,85$)
Energi i decibel normaliserad median (dB)	-1,48	-0,54	-0,26	-0,41
Energi i decibel normaliserat Q1 (dB)	-2,17	-0,89	-0,52	-1,07
Energi i decibel normaliserat Q3 (dB)	-0,92	0,02	0,36	0,02
Centroid medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	679,60 ($\pm 10,5$)	674,57 ($\pm 4,71$)	677,44 ($\pm 9,23$)	680,91 ($\pm 11,22$)
Centroid median (Hz)	673,31	672,67	673,65	675,45
Centroid Q1 (Hz)	672,47	671,87	671,97	672,89
Centroid Q3 (Hz)	685,54	675,54	676,00	684,21
Skevhhet medelvärde ($\pm$ sd)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)
Skevhhet median	0,00	0,00	0,00	0,00
Skevhhet Q1	0,00	0,00	0,00	0,00
Skevhhet Q3	0,00	0,00	0,00	0,00

Frekvensområde medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	1166,02 ($\pm 262,04$)	1076,23 ($\pm 67,07$)	1096,36 ($\pm 79,33$)	1151,26 ($\pm 164,52$)
Frekvensområde median (Hz)	1072,22	1060,1	1070,29	1110,77
Frekvensområde Q1 (Hz)	1047,85	1015,17	1036,57	1073,04
Frekvensområde Q3 (Hz)	1127,12	1118,45	1132,45	1211,07
Minsta frekvens medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	50,03 ($\pm 0,02$)	50,02 ($\pm 0,02$)	50,02 ($\pm 0,03$)	50,03 ($\pm 0,02$)
Minsta frekvens median (Hz)	50,03	50,01	50,01	50,03
Minsta frekvens Q1 (Hz)	50,02	50,01	50,00	50,00
Minsta frekvens Q3 (Hz)	50,05	50,04	50,03	50,04
Maximal frekvens medelvärde ($\pm$ sd) (Hz)	1216,06 ($\pm 262,04$)	1126,25 ($\pm 67,06$)	1146,39 ($\pm 79,32$)	1201,29 ($\pm 164,52$)
Maximal frekvens median (Hz)	1122,22	1110,15	1120,29	1160,79
Maximal frekvens Q1 (Hz)	1097,86	1065,23	1086,63	1123,1
Maximal frekvens Q3 (Hz)	1177,15	1168,47	1182,47	1261,08
Energins medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-65,52 ($\pm 5,82$)	-57,52 ($\pm 4,58$)	-57,13 ($\pm 7,21$)	-60,08 ($\pm 7,30$)
Energins medelvärde median (dB)	-63,34	-57,24	-55,98	-58,13
Energins medelvärde Q1 (dB)	-69,06	-59,51	-61,88	-67,09
Energins medelvärde Q3 (dB)	-61,23	-54,63	-52,89	-55,66
Energins medelvärde normaliserat ($\pm$ sd) (dB)	-8,56 ($\pm 2,99$)	-6,77 ($\pm 2,39$)	-5,60 ($\pm 2,31$)	-6,23 ($\pm 2,38$)
Energins medelvärde normaliserad median (dB)	-7,84	-6,09	-4,67	-5,72
Energins medelvärde normaliserad Q1 (dB)	-11,21	-8,48	-7,38	-7,45
Energins medelvärde normaliserad Q3 (dB)	-5,82	-5,20	-4,00	-4,37
Maximal energi medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-39,78 ($\pm 3,71$)	-32,46 ($\pm 5,62$)	-28,72 ($\pm 7,20$)	-33,07 ($\pm 5,88$)
Maximal energi median (dB)	-39,26	-33,11	-29,91	-31,69
Maximal energi Q1 (dB)	-41,14	-35,29	-33,03	-37,36
Maximal energi Q3 (dB)	-37,26	-30,49	-25,92	-30,00
Maximal energi normaliserat medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-5,19 ($\pm 1,80$)	-3,88 ($\pm 1,59$)	-2,83 ($\pm 1,40$)	-3,44 ($\pm 1,42$)
Maximal energi normaliserad median (dB)	-5,10	-3,30	-2,35	-3,07

Maximal energi normaliserad Q1 (dB)	-6,88	-5,17	-3,46	-4,09
Maximal energi normaliserad Q3 (dB)	-3,42	-2,86	-2,08	-2,13
RMS medelvärde ($\pm$ sd)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)
RMS median	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS Q1	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS Q3	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS normaliserat medelvärde ($\pm$ sd)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)	0,00 ($\pm 0,00$)
RMS normaliserad median	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS normaliserad Q1	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS normaliserad Q3	0,00	0,00	0,00	0,00
RMS i decibel medelvärde ($\pm$ sd) (dB)	-57,55 ($\pm 5,17$)	-49,12 ($\pm 5,38$)	-47,82 ($\pm 7,77$)	-51,32 ($\pm 7,31$)
RMS i decibel median (dB)	-55,80	-49,20	-47,26	-48,71
RMS i decibel Q1 (dB)	-60,60	-51,45	-53,00	-58,54
RMS i decibel Q3 (dB)	-54,41	-46,10	-42,46	-47,31

Bilaga 3



Figur: Visar boxplots för energins medelvärdenormaliserat (A), maximal energi normaliserad (B), energin i decibel normaliserad (C), centroid (D), RMS (E), RMS normaliserad (F), dominant frekvens (G), frekvensområde (H) och skevhet (I) för ökade bronkiella ljud (IBS), "wheeze" (W), "crackles" (C) och normala lungljud (N) med frekvens på x-axeln och grupp av lungljud på y-axeln. Resultatet av Kruskal-Wallis testet finns med för respektive mätvärde.

Bilaga 4

Tabell: Visar signifikansen i skillnaden mellan de olika grupperna av lungljud samt vilket statistiskt test som användes för respektive mätvärde. *N* – normalt lungljud. *IBS* – ökade bronchiella ljud. *C* – "crackles". *W* – "wheeze". Ju fler * desto lägre p-värde och mer signifikant. *ns* – ej signifikant. *RMS* – root mean square.

Mätvärde	Test	Grupp 1	Grupp 2	Formaterat p-värde	signifikans
Dominant frekvens	Kruskal-Wallis	-	-	0.0037	**
Dominant frekvens	Dunn	C	IBS	0.1370	ns
Dominant frekvens	Dunn	C	N	0.0060	**
Dominant frekvens	Dunn	C	W	1.0000	ns
Dominant frekvens	Dunn	IBS	N	1.0000	ns
Dominant frekvens	Dunn	IBS	W	0.6372	ns
Dominant frekvens	Dunn	N	W	0.0487	*
Energi i decibel	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
Energi i decibel	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Energi i decibel	Dunn	C	N	<0.0001	****
Energi i decibel	Dunn	C	W	0.8228	ns
Energi i decibel	Dunn	IBS	N	<0.0001	****
Energi i decibel	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Energi i decibel	Dunn	N	W	0.0004	***
Energi i decibel normaliserat	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
Energi i decibel normaliserat	Dunn	C	IBS	0.5203	ns
Energi i decibel normaliserat	Dunn	C	N	<0.0001	****
Energi i decibel normaliserat	Dunn	C	W	0.4050	ns
Energi i decibel normaliserat	Dunn	IBS	N	0.0001	***
Energi i decibel normaliserat	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Energi i decibel normaliserat	Dunn	N	W	0.0002	***
Centroid	Kruskal-Wallis	-	-	0.0564	ns
Centroid	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Centroid	Dunn	C	N	1.0000	ns
Centroid	Dunn	C	W	0.8879	ns
Centroid	Dunn	IBS	N	0.2545	ns
Centroid	Dunn	IBS	W	0.0686	ns
Centroid	Dunn	N	W	1.0000	ns

Skevhet	Kruskal-Wallis	-	-	0.9740	ns
Skevhet	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Skevhet	Dunn	C	N	1.0000	ns
Skevhet	Dunn	C	W	1.0000	ns
Skevhet	Dunn	IBS	N	1.0000	ns
Skevhet	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Skevhet	Dunn	N	W	1.0000	ns
Frekvensområde	Kruskal-Wallis	-	-	0.0651	ns
Frekvensområde	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Frekvensområde	Dunn	C	N	1.0000	ns
Frekvensområde	Dunn	C	W	0.5948	ns
Frekvensområde	Dunn	IBS	N	0.9356	ns
Frekvensområde	Dunn	IBS	W	0.0487	*
Frekvensområde	Dunn	N	W	1.0000	ns
Minsta frekvens	Kruskal-Wallis	-	-	0.1010	ns
Minsta frekvens	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Minsta frekvens	Dunn	C	N	0.0861	ns
Minsta frekvens	Dunn	C	W	1.0000	ns
Minsta frekvens	Dunn	IBS	N	0.7210	ns
Minsta frekvens	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Minsta frekvens	Dunn	N	W	0.6328	ns
Maximal frekvens	Kruskal-Wallis	-	-	0.0651	ns
Maximal frekvens	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Maximal frekvens	Dunn	C	N	1.0000	ns
Maximal frekvens	Dunn	C	W	0.5948	ns
Maximal frekvens	Dunn	IBS	N	0.9356	ns
Maximal frekvens	Dunn	IBS	W	0.0487	*
Maximal frekvens	Dunn	N	W	1.0000	ns
Energins medelvärde	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
Energins medelvärde	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
Energins medelvärde	Dunn	C	N	<0.0001	****
Energins medelvärde	Dunn	C	W	1.0000	ns
Energins medelvärde	Dunn	IBS	N	<0.0001	****
Energins medelvärde	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Energins medelvärde	Dunn	N	W	0.0044	**
Energins medelvärde normaliserat	Kruskal-Wallis	-	-	0.0002	***
Energins medelvärde normaliserat	Dunn	C	IBS	0.2081	ns
Energins medelvärde normaliserat	Dunn	C	N	0.0001	***

Energins medelvärde normaliserat	Dunn	C	W	1.0000	ns
Energins medelvärde normaliserat	Dunn	IBS	N	0.1356	ns
Energins medelvärde normaliserat	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Energins medelvärde normaliserat	Dunn	N	W	0.0092	**
Maximal energi	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
Maximal energi	Dunn	C	IBS	0.2144	ns
Maximal energi	Dunn	C	N	<0.0001	****
Maximal energi	Dunn	C	W	0.2661	ns
Maximal energi	Dunn	IBS	N	<0.0001	****
Maximal energi	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Maximal energi	Dunn	N	W	<0.0001	****
Maximal energi normaliserad	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
Maximal energi normaliserad	Dunn	C	IBS	0.0330	*
Maximal energi normaliserad	Dunn	C	N	<0.0001	****
Maximal energi normaliserad	Dunn	C	W	0.7085	ns
Maximal energi normaliserad	Dunn	IBS	N	0.0415	*
Maximal energi normaliserad	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
Maximal energi normaliserad	Dunn	N	W	0.0009	***
RMS	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
RMS	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
RMS	Dunn	C	N	<0.0001	****
RMS	Dunn	C	W	0.8603	ns
RMS	Dunn	IBS	N	<0.0001	****
RMS	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
RMS	Dunn	N	W	0.0010	**
RMS normaliserad	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
RMS normaliserad	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
RMS normaliserad	Dunn	C	N	0.0004	***
RMS normaliserad	Dunn	C	W	0.9806	ns
RMS normaliserad	Dunn	IBS	N	0.0001	***
RMS normaliserad	Dunn	IBS	W	0.5008	ns
RMS normaliserad	Dunn	N	W	0.0507	ns

RMS i decibel	Kruskal-Wallis	-	-	<0.0001	****
RMS i decibel	Dunn	C	IBS	1.0000	ns
RMS i decibel	Dunn	C	N	<0.0001	****
RMS i decibel	Dunn	C	W	0.8603	ns
RMS i decibel	Dunn	IBS	N	<0.0001	****
RMS i decibel	Dunn	IBS	W	1.0000	ns
RMS i decibel	Dunn	N	W	0.0010	**

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☐ NEJ, jag ger inte min tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.