

# Slutrapport "Förbättring av stallklimat för höns och kyckling"

Journalnummer 2021-3889



Juni 2024

---

Ett samverkansprojekt "Förbättring av stallklimat för höns och kyckling"

Projektet finansieras delvis med EU-medel



## Innehåll

<b>1. SAMMANFATTNING.....</b>	<b>3</b>
<b>2. BAKGRUND.....</b>	<b>4</b>
MIKROBIELL KONSORTIUMTEKNIK.....	4
TARMHÄLSA OCH DJURVÄLFÄRD .....	4
STALLMILJÖ .....	4
MILJÖ.....	5
<b>3. SYFTE OCH MÅLGRUPP .....</b>	<b>5</b>
<b>4. PROJEKTETS MÅL.....</b>	<b>6</b>
<b>5. GENOMFÖRANDE.....</b>	<b>6</b>
FÄLTTESTER PÅ GÅRDAR.....	6
<i>Metod för mätning av stallmiljö .....</i>	<i>6</i>
<i>Ekologiska fjäderfän.....</i>	<i>8</i>
<i>Gård 1.....</i>	<i>9</i>
<i>Gård 2.....</i>	<i>10</i>
<i>Gård 3.....</i>	<i>10</i>
<i>Gård 4.....</i>	<i>11</i>
<i>Gård 5.....</i>	<i>12</i>
GÖDSELANALYSER.....	12
<b>6. SPRIDNING AV PROJEKTETS RESULTAT .....</b>	<b>13</b>
<b>7. PROJEKTETS ARBETSSÄTT.....</b>	<b>13</b>
<i>Projektorganisation .....</i>	<i>13</i>
<b>8. RESULTAT AV FÄLTTESTER.....</b>	<b>13</b>
MÄTUTRUSTNING.....	13
<i>Erfarenhet sensorer .....</i>	<i>13</i>
<i>Erfarenhet dosering .....</i>	<i>13</i>
MIKROBER - ERFARENHETER FRÅN TESTGÅRDAR.....	14
<i>Gård 1, resultat och iakttagelser .....</i>	<i>14</i>
<i>Gård 2, resultat och iakttagelser .....</i>	<i>14</i>
<i>Gård 3, resultat och iakttagelser .....</i>	<i>16</i>
<i>Gård 4, resultat och iakttagelser .....</i>	<i>17</i>
<i>Gård 5, resultat och iakttagelser .....</i>	<i>18</i>
SAMMANFATTNING RESULTAT .....	18
<i>Rhizoferm.....</i>	<i>18</i>
<i>Aveferm.....</i>	<i>18</i>
<i>Gödselanalyser .....</i>	<i>19</i>
<b>9. DISKUSSION - SLUTSATSER .....</b>	<b>21</b>
<i>Praktiskt handhavande .....</i>	<i>22</i>
<i>Övriga reflexioner .....</i>	<i>22</i>
<i>Framtiden – optimera processen .....</i>	<i>23</i>
<i>Slutligen.....</i>	<i>24</i>
<i>Referenser: .....</i>	<i>25</i>

# 1. Sammanfattning

Mikrobiell konsortiumteknik är en teknik vars lösningar strävar efter att efterlikna förebilder i biologiskt liv i naturen.

Ett generellt problem i både ekologisk och konventionell ägg- och kycklingproduktion är ammoniakavgången från träcken till djurens inomhusmiljö samt från djurstallet till utomhusmiljön. Ammoniakkoncentrationen i stallen är en av de största utmaningarna i fjäderfäproduktionen.

Ammoniakutsläpp är ett problem även för miljön då det bidrar till försurning av sjöar och vattendrag. Finns det möjligheter att behålla kvävet i gödseln i en form som inte avges som ammoniak och som i stället kan komma till nytta ute på åkern?

Syftet med projektet var att förbättra stallmiljön och därmed djurhälsan i ekologiska fjäderfäbesättningar. Utgångspunkten är att fermenterade ”nyttiga” mikroorganismer förhindrar ammoniakavgång i gödsel och ströbädd. Ger tillsats av ferment i foder en bättre tarmhälsa och förbättrar det fodrets näringsvärde och därmed foderutnyttjandet?

Projektet har genomfört fälttester på fem olika gårdar med ekologisk fjäderfäproduktion. På var och en av fem testgårdar har foder och ströbädd behandlats med ”mikrobiella konsortiumpreparat”, såsom AveFerm i foder och RhizoFerm i ströbädd och gödsel. Kontrollgrupper har använts som jämförelse av produktionsresultat och stallklimat.

Förutom fälttesterna med mikrober har projektet testat och utvärderat innovativ mätutrustning för stallklimatet. För mätning av luft (ammoniak, koldioxid, temperatur, fukt) i våra teststallar har vi samlat in data med hjälp av sensorer. Vi har också installerat kontrollmätningar utomhus.

Vi kan se att AveFerm påverkar fodereffektiviteten hos hönsen, vilket gjort att man kunnat sänka koncentratandelen i fodret successivt. Vi har också konstaterat snabbare uppvärming och högre äggvikt. Behandlingen har också medfört att personal i stallarna upplever en bättre stallmiljö. Ingen förändring i djurvälståndet har rapporterats. Behandlingen med RhizoFerm har resulterat i att personalen upplever en bättre stallmiljö och mätningar visar på lägre ammoniakhalter.

Gödsel analyser visar att mer totalkväve lagras i gödseln vid behandling med ferment. Vi har noterat att kvalsterförekomsten har minskat vid behandling med mikrober.

Sammantaget tyder detta på att mikroberna har en positiv inverkan på både själva produktionen och i förlängningen ekonomin samt på arbets- och stallmiljö. Genom detta hoppas vi kunna bidra till ett bättre klimat.

Som ännu ett resultat kommer frågorna kring ferment och mikrober att delta i ett EIP-projekt där syftet är att få fram en unik proteinsammansättning till ekologiska fjäderfä med hjälp av utvalda specialiserade mikrober.

## 2. Bakgrund

### Mikrobiell konsortiumteknik

Stabila och effektiva ekosystem bygger på en rik flora av arter med organismer från många olika mikrobiella, växt och djurgrupper - en näringsväv med ett jämviktsförhållande. Ett exempel är en naturlig örtesäng med biologisk mångfald; den angrips sällan av patogena svampar som snömoegel. I zonen nära rötterna (rhizosfären) finns en flora av mikrober som växten samverkar med. Växten delar med sig av energirika kolföreningar från fotosyntesen och mikroberna frigör växtnäring, rothormoner, antioxidanter med mera. Rhizosfärsmikroberna producerar även antibiotika som skyddar växten mot patogena arter och kan med signalsubstanser aktivera växtens immunsystem.

Mikrobiell konsortiumteknik är en form av biomimikry, det vill säga teknik vars lösningar strävar efter att efterlikna förebilder i biologiskt liv i naturen. Där komplexa preparat bestående av jästsvampar, bakterier som mjölksyrabakterier och actinomyceter med mera sätts samman för olika ändamål. Som i fallet med örtesängen är målet att kontrollera patogena arter samtidigt som arterna i preparatet har en probiotisk funktion.

Det kan som i **AveFerm** vara en sammansättning av naturliga fermentationsmikrober (*Lactobacillus*, *Bacillus* med flera) som ger ett bättre foderutnyttjande med en antipatogen effekt, eller som i **RhizoFerm** vara en stor grupp med kvävefixerande (fotosyntesbakterier med mera) - arter som motverkar rötning, ammoniakavgång och utsläpp av potentiella klimatgaser (Jan Röed 2022).

Projektet har i samråd med expertis på mikrobiell odlingsteknik, Jan Röed på Stiftelsen för Regenerativa ekosystem, och företaget Microbe Factory valt att arbeta med preparat som betecknas som ferment; dessa består i grunden av arter som producerar olika organiska syror med en konserverande och probiotisk effekt. Syrorna håller patogena arter i schack samtidigt som preparaten blir stabila och får lång hållbarhet.

### Tarmhälsa och djurvälstånd

Fermentering som är en naturlig process som drivs av nyttiga bakterier, förvandlar vanligt fjäderfåfoder till ett näringsrikt, probiotiskt kraftpaket. Fermenterade mjölksyrabakterier anpassade för fjäderfå förbättrar matsmältningen, ökar fodrets näringsvärde och djurens förmåga att omsätta proteinet. Det innebär en förbättrad anabolism, proteinsyntes, som bör ge mindre kväve i avföringen och kan därför ha en påverkan på ammoniakavgången. De bidrar också till att göra vitaminer och mineraler mer tillgängliga. Det finns även påvisade kopplingar mellan djurhälsa och olika mjölksyrabakterie arter.

Djurhälsans koppling till avkastning och lönsamhet är tydlig – bättre hälsa ger bättre lönsamhet.

### Stallmiljö

I de svenska djurskyddsföreskrifterna (L111, § 26) anges att fjäderfån endast tillfälligtvis får utsättas för luftföroreningar som överstiger 10 ppm ammoniak

Ett generellt problem i både ekologisk och konventionell ägg- och kycklingproduktion är ammoniakavgången från djurens avföring.

För alla fjäderfäproducenter och då även ekologiska anläggningar för ägg- och slaktkycklingproduktion har ammoniakkoncentrationen i stallen blivit en av de största utmaningarna, främst på grund av de stora ströbäddsytorerna där hönsen/kycklingarna sprätter och gödslar.

Patogena mikroorganismer bryter ner kvävet i gödseln och bildar ammoniak. En hög koncentration av ammoniak är skadlig för människor och djur. Det kan leda till ögoninflammation, luftvägsproblem och ett allmänt sänkt immunförsvar.

Djur med ett nedsatt eget försvar mot virus och bakterieinfektioner är en osäker strategi och leder inte till hållbar produktion eller god ekonomi.

## Miljö

Ammoniakutsläpp är ett problem för miljön då det bidrar till försurning av sjöar och vattendrag. Även för djurvälstånd och för arbetsmiljön i stallet är det viktigt att åtgärder vidtas för att minska ammoniakavgången. Ammoniak klassas som en indirekt växthusgas som till upp mot 25 % ombildas till lustgas i atmosfären. Lustgas är i sin tur en 300 gånger mer potent växthusgas än koldioxid. Lustgasen utgör ytterligare ett problem då den bryter ned planetens skyddande ozonlager. Dagens nivåer av koldioxid ligger cirka 20 % över förindustriell tid och utgör ett allvarligt hot. Med mikrobiell teknik kan kväveavgången från ströbädden sänkas.

Studien (Carlsson, 2019) visar att det går att ventilerar mer för att bli av med ammoniaken i stallet, men hur mycket försvinner då ut och påverkar den totala utsläppsmängden? Finns det möjligheter att behålla kvävet i gödseln i en form som inte avges som ammoniak och som i stället kan komma till nytta ute på åkern?

Vi har pågående klimatförändringar, som är oerhört alarmerande. Alla, både stora och små måste försöka dra sitt strå till stacken. Vi ser ett stadigt ökande antal småskaliga äggproducenter och vi har ett antal storskaliga producenter med ett stort antal ekologiska värphöns. Vi har också ett antal stallar med ekologisk slaktkycklingproduktion. Därför är det viktigt att det finns verktyg utan allt för stora kostnader för alla att använda för att bidra till att minska klimatpåverkan.

## 3. Syfte och målgrupp

Syftet med projektet är att förbättra stallmiljön och därmed djurhälsan i ekologiska fjäderfäbesättningar. Fermenterade ”nyttiga” mikroorganismer förhindrar dels ammoniakavgång i gödsel och ströbädd vilket leder till en bättre stallmiljö och ett minskat ammoniakutsläpp från fjäderfästallarna. Fermenterat foder ger en bättre tarmhälsa och förbättrar fodrets näringsvärde och därmed foderutnyttjande.

Ett så kallat regenerativt jordbruk leder på sikt till en bättre ekonomi och ökad konkurrenskraft.

Målgruppen i projektet var ekologiska fjäderfäproducenter. Men resultaten är tillämpliga på all fjäderfäproduktion.

## 4. Projektets mål

Projektmålen var att kunna visa att alla, både stora och små ekologiska producenter inom ägg- och kycklingnäringen skall kunna använda sig av fermenterade mikroorganismer för att få en förbättrad stallmiljö, bättre djurhälsa och i förlängningen en bättre jord och ett bättre klimat. Detta ger då ett hållbarare jordbruk och lönsamheten och konkurrenskraften förbättras.

## 5. Genomförande

Projektet har genomförts under perioden augusti 2022 till juni 2024. Fälttester har skett på fem olika gårdar med ekologisk fjäderfäproduktion. Fyra gårdar har ekologisk äggproduktion och en gård producerar ekologiska slaktkycklingar.

### Fälttester på gårdar

På var och en av fem testgårdar har foder och ströbädd behandlats med ”mikrobiella konsortiumpreparat”. I princip har minst en hel produktionsomgång behandlats och följts upp på varje gård. En kontrollgrupp eller alternativt tidigare omgångar har i diskussionen använts som jämförelse av produktionsresultat och stallklimat.

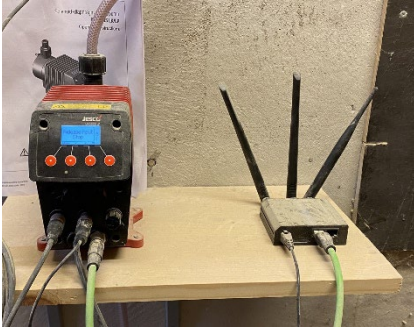


*Välmående värphöns.*

### Metod för mätning av stallmiljö

Vår avsikt var att under försöksperioden mäta ammoniakhalten, koldioxid, temperatur och fukthalt kontinuerligt.

Sensor- och doseringsdata har loggats i Webiot, en internetplattform utvecklad och levererad av IIOOTE AB.



*Pump och uppkoppling till Webiot*

### **Sensorer**

För mätning av luft (ammoniak, koldioxid, temperatur, fukt) i våra teststallar har vi samlat in data med hjälp av ”internet of things” sensorer baserade på LoRaWan kommunikation som är mycket energisnål och normalt bara behöver batterier för drift.

För mätning av koldioxid, temperatur och fukthalt inomhus använde vi Milesight MS-EM500-CO2-868M, för att ha jämförelsevärde utomhus har vi använt Milesight EM300-TH.

För mätning av ammoniak har vi använt tre olika produkter Daviteq G4, DOL 53 samt X-node, samtliga mäter med ”elektrokemiska membran”, det vill säga de bryts långsamt ned när de mäter. I utgångsläget använde vi Daviteq G4 för mätvärden upp till 100 ppm ammoniak men gick senare över till upp till 2000 ppm. Dol53 och X-node har ett mätområde upp till 300 ppm ammoniak. Till skillnad mot övriga sensorer behöver DOL53 en strömkälla.



*Ammoniämätning med X-node*

Elektrokemiska membran bryts långsamt ner när de mäter, vilket gör att efter exponering under en längre tid behöver de kalibreras (alternativt accepterar man ett något lägre värde). Ett högre maxvärde ger längre hållbarhet men också lägre mätnoggrannhet vid lägre värden.

### **Dosering av AveFerm**

I stallar med automatiserad utfodring har vi använt oss av en magnetdriven membranpump, Lutz-Jesco Magdos 15 med Ethernet utgång. Från relät som styr tvärskraven har en startkabel dragits som även startar membranpumpen. Från pumpen har vi dragit en 6/12 slang till tvärskraven och där borrar ett hål och anslutit med en injektionsnippel. Till Ethernet utgången har vi anslutit en 5G uppkoppling. Till Webiot har vi skickat tillgängliga data när pumpen har loggat och hur mycket, det vill säga antal slag. I samband med installation har vi även noterat vilken volym varje slag ger. Dosering



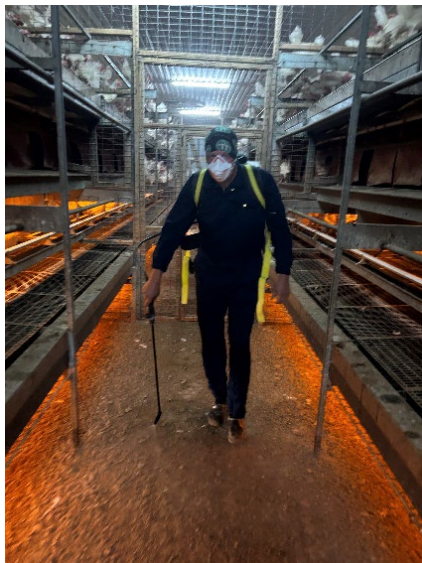
har varit 2 liter AveFerm per ton foder. I stallar med manuell utfodring, en av testgårdarna, har man sprejat Aveferm över fodret.



*Dosering av AveFerm på gård*

### ***Applicering av RhizoFerm***

Fermentet RhizoFerm sprejades ut över ströbädden med hjälp av ryggspruta beställd från (Birchmeier, med produktnamn Organic Star 15 Accu). Man sprejade en eller två gånger per vecka under testperioden. Dosering enligt ursprunglig plan 10 % lösning, 25 ml/ m<sup>2</sup>. Gårdarna har dock testat olika koncentration och olika mängd vätska.

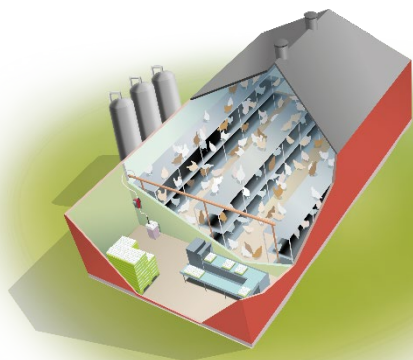


*Applicering av RhizoFerm med ryggspruta.*

### **Ekologiska fjäderfän**

Testgårdarna varierar i storlek och har mellan 2500 – 18 000 ekologiska fjäderfän.





Skiss på ett större värphönsstall

## Gård 1

Gården har sammanlagt 2500 värphöns och producerar ägg i en småskalig struktur med flera mindre byggnader med naturlig ventilation som inhyser ca 250 höns per stall. I försöket ingår 8 hus som benämns avdelning 1,3, 5,7, 9 och 11. Två flockar i två hus som inte har behandlats alls utgör kontrollgrupper. Efter avslutad värpperiod byts hönsen ut i två hus åt gången och därmed är flockarna inte helt jämförbara. Vi valde därför att följa samma flockar under en längre tidsperiod. Gården har ett specialbeställt foder utan fiskmjöl och soja. Man kunde inte förutse att fodrets innehåll av essentiella proteiner plötsligt sjönk i december 2022 och det orsakade en foderstörning.

### *Testperiod och försöksupplägg*

Testperioden på gård 1 omfattar en hel produktionsomgång i stall 9 och i stall 11. Från den 23 oktober 2022 till och med oktober 2023.

I stall 1 och 3 tillsattes enbart AveFerm i fodret. I stall 5 och 7 tillsattes både AveFerm i fodret samt RhizoFerm i ströbädden. I stall 9 och 11 tillsattes enbart RhizoFerm.

Kontinuerlig automatiserad ammoniakmätning med sensorer testades men var inte möjlig att genomföra varför manuella ammoniakmätningar med Kitagawa rör gjordes vid ett antal tillfällen under försöksperioden.

### *RhizoFerm*

Fermentet RhizoFerm sprejades med hjälp av en manuell spruta (med Hozelock ryggspruta) ut över ströbädden och i gödselbingen i stall 5,7,9 och 11 varav 9 och 11 under en hel produktionsomgång. Doseringen var 40 ml outspätt ferment per m<sup>2</sup> ströbädd. Ströbäddarna sprejades 1 – 2 gånger per vecka.

### *AveFerm*

Fermentet AveFerm tillsattes manuellt (med Hozelock ryggspruta) och sprejades på fodret i fodertuber i stallarna dagligen. Doseringen var 2 liter outspätt ferment per ton foder. Vid foderstörning ökades doseringen av AveFerm till 4 liter ferment per ton foder.

Gödselprover togs ut i lagrad gödsel och analyserades.

## Gård 2

Gården har 18 000 ekologiska värphöns i ett äldre stall som anpassats för ekologisk produktion med utevistelse. Stallbyggnaden rymmer 6 avdelningar på vardera 3000 höns. Avdelningarna är separerade med nätväggar så det är i princip samma inomhusmiljö i alla avdelningar. Här finns ingen kontrollgrupp utan jämförelser görs med tidigare omgångar. Sensorer installerades och utvärderades från november 2022 till den 6 maj 2024. Gården blandar eget foder. Under försöksperioden har dödligheten varit hög på grund av problem med fotbölder och ett utbrott av e-coli som vanligtvis för med sig en ökad dödlighet.

### *Testperiod och försöksupplägg*

Testperioden med RhizoFerm omfattar från och med den 6 juli 2023 till och med den 6 maj 2024. Testperioden med AveFerm omfattar från och med november 2022 till och med den 6 maj 2024.

Hela flocken, sex avdelningar behandlades med RhizoFerm i ströbädden och AveFerm i fodret under respektive försöksperiod.

Kontinuerlig automatiserad mätning av stallmiljöparametrar med sensorer genomfördes under hela testperioden. Kontrollmätningar för ammoniak med Kitagawarör och DOL 53 genomfördes regelbundet och de överensstämde med sensorernas mätningar.

Gödselprover togs ut i färsk gödsel och analyserades.

### *RhizoFerm*

Utgödsling sker tre gånger per vecka alltså lite oftare än normala rutiner i andra värphönsstallar. Inledningsvis innan testperioden späddes fermentet med vatten, då blev ströbädden för kladdig. Fermentet sprejades med hjälp av ryggspruta över ströbädden, ej på gödselbanden.

Doseringen var 9,4 ml outspädd RhizoFerm per m<sup>2</sup> ströbädd. Behandlingen genomfördes regelbundet varje vecka vilket tog ungefär 40 minuter inklusive påfyllning och rengöring av ryggsprutan. Ströbädden sprejades en gång per vecka.

### *AveFerm*

Fermentet doserades i fodret, doseringen var 2 liter per ton foder och doserades med membranpump som beskrivits ovan. Behandlingen påbörjades när unghönsen flyttade in i stallet vid 16 veckors ålder.

## Gård 3

Gård 3 har 18 000 ekologiska värphöns i ett relativt nybyggt stall med 6 avdelningar som skiljs åt med nätvägg. Gården blandar eget spannmål med inköpt koncentrat. På gården finns en kontrollgrupp och jämförelser görs även med tidigare omgångar. Sensorer installerades och utvärderades från den 16 augusti 2022 till 10 januari 2023. Under försöksperioden har man råkat ut för foderstörningar orsakat av inköpt koncentrat. Det har påverkat ströbädden under våren 2024.

### ***Testperiod och försöksupplägg***

Testperioden med RhizoFerm omfattar från och med en ny flock sattes in i januari 2024 till och med den 6 maj 2024. Testperioden med AveFerm pågick under en hel omgång från den 16 augusti 2022 till 10 januari 2024.

Hela flocken, sex avdelningar behandlades med RhizoFerm i ströbädden och AveFerm i fodret under respektive försöksperiod.

Kontinuerlig automatiserad mätning av stallmiljöparametrar med sensorer genomfördes under hela den sammanlagda testperioden. Kontrollmätningar för ammoniak med Kitagawarör och DOL 53 genomfördes regelbundet och de mätningarna överensstämde inte alltid utan visade lägre ammoniakhalter än sensorernas mätningar.

Gödselprover togs ut i färsk gödsel och analyserades.

### ***RhizoFerm***

Innan den egentliga försöksperioden testades att vattna ströbädden med vattenkanna. Doseringen var då fyra dunkar per tillfälle. Det upplevdes vara för besvärligt. Fermentet sprejades i stället med hjälp av ryggspruta över ströbädden, ej på gödselbanden.

Doseringen var 14 ml outspädd RhizoFerm per m<sup>2</sup> ströbädd. Ströbädden sprejades en gång per vecka.

### ***AveFerm***

Doseringen var 2 liter per ton foder och doserades med membranpump som beskrivits ovan. Fermentet doserades i fodret redan från att flocken sattes in i stallet.

## **Gård 4**

Gård 4 har 12 000 ekologiska värphöns. Gården blandar eget foder från grunden. Här finns fyra avdelningar med 3000 höns i vardera. Grupp A och D har varit testgrupper medan B och C har varit kontrollgrupper. Resultat från testperioderna har jämförts med kontrollgrupper och resultat från tidigare hönsomgångar. Sensorer installerades och utvärderades från den 20 oktober 2022 till den 28 april 2023.

### ***Testperiod och försöksupplägg***

Testperioden med RhizoFerm omfattar från och med mitten av december 2023 till och med mars 2024. Testperioden med AveFerm pågick under en hel omgång från den 4 september 2022 till 13 januari 2024.

Två flockar behandlades med RhizoFerm i ströbädden och två med AveFerm i fodret under respektive försöksperiod.

Kontinuerlig automatiserad mätning av stallmiljöparametrar med sensorer genomfördes under hela den sammanlagda testperioden. Kontrollmätningar för ammoniak med Kitagawarör och X-node genomfördes regelbundet och de överensstämde inte helt.

Gödselprover togs ut i färsk gödsel och analyserades.

### ***RhizoFerm***

Fermentet RhizoFerm sprejades ut över ströbädd och nedre delen av inredningen med hjälp av ryggspruta beställd från (Birchmeier, med produktnamn Organic Star 15 Accu). Man sprejade en gång per vecka under testperioden. Doseringen var 43 ml

outspädd RhizoFerm per m<sup>2</sup> ströbädd. Flock A och D behandlades. Flock A under en månads tid och flock D under tre månader.

### ***AveFerm***

Doseringen var 2 kg ferment per ton foder och fermentet doserades med hjälp av en membranpump som beskrivits ovan. Fermentet doserades i fodret i flock A och B redan från det att flokken sattes in i stallet. Avsikten var att behandla med AveFerm under en hel produktionsperiod. Under försöksperioden har dock pumpen krånglat. Det har medfört att resultaten under försökets sex första månader då pumpen fungerade utan avbrott kan användas som jämförelse.

## **Gård 5**

Gård 5 producerar 4800 ekologiska slaktkycklingar. Uppfödningen sker i startstall från första till tredje levnadsveckan sedan flyttas kycklingarna till ett större tillväxtstall. Det är i tillväxtstallet testen med ferment har utförts.

### ***Testperiod och försöksupplägg***

Gårdens test omfattar AveFerm i fodret i tillväxtstallet under två slaktkycklingomgångar samt RhizoFerm i ströbädden under två omgångar. Fermentet RhizoFerm spredades ut över ströbädd.

En omgång fick AveFerm samtidigt som ströbädden spredades med RhizoFerm. Åldern på kycklingarna i tillväxtstallet var ca 21–60 dagar. De fick alltså ingen behandling under de tre första levnadsveckorna dag 1 - 21.

### ***RhizoFerm***

Fermentet RhizoFerm spredades ut över ströbädden tre gånger per vecka med hjälp av ryggspruta beställd från Birchmeier (med produktnamn Organic Star 15 Accu). Doseringen var 15 liter med spädning 50:50 vilket ger 11,5 ml koncentrerad RhizoFerm per m<sup>2</sup> ströbädd.

### ***AveFerm***

Doseringen var 2 kg ferment per ton foder och fermentet doserades med hjälp av en membranpump som beskrivits ovan.

Gödselprover togs inte ut för analys.

## **Gödselanalyser**

Gödselanalyser togs från färsk gödsel på tre gårdar där man behandlat med AveFerm. På en gård togs gödselprover på lagrad gödsel behandlad med Rhizoferm där man också jämförde med kontrollprov.

## 6. Spridning av projektets resultat

Efter projektets slut kommer framtaget material och slutrapporten finnas tillgängligt på samarbetsparternas hemsidor.

Flera av gårdarna kommer att fortsätta behandla med fermenten AveFerm och RhizoFerm. Det kommer att sprida ringar på vattnet. Projektet har bidragit till en ökad kunskap om användningen av mikrobiell konsortiumteknik för att kontrollera patogena arter, främja stallmiljön och förbättra djurhälsan.

Målet är att alla ska förstå att detta är den rätta vägen att gå om vi ska kunna bidra till ett bättre klimat både hos djur och människa. Då bidrar vi i stället för att belasta.

## 7. Projektets arbetssätt

### Projektorganisation

Projektorganisationen har varit en styrgrupp som har bestått av projektledare Maria Karlsson, Jan Röed, Roland Höckert, Claes Nordfeldt samt Åsa Odelros. Styrgruppen har haft regelbundna möten för att planera och följa upp resultat.

Projektets referensgrupp består av styrgruppen samt deltagande gårdar. Referensgruppen har haft ett möte i månaden under projektets uppstart och under det första året. Efter det har projektledaren kallat till möten vid behov.

## 8. Resultat av fälttester

### Mätutrustning

Förutom fälttesterna med mikrober har projektet testat och utvärderat innovativ mätutrustning för stallklimat.

### Erfarenhet sensorer

Sensorerna för att mäta temperatur, fukthalt och koldioxid har haft hög tillgänglighet och generellt hög funktionalitet. Daviteq G4 sensorer för mätning av ammoniak med mätområde upp till 100 ppm bröts ner väldigt snabbt. När mätområde upp till 2000 ppm installerats försvann det problemet men då var mätnoggrannheten låg vid låga halter från 0–15 ppm ammoniak. Dol 53 och X-node som är samma sensor men olika strömförsörjning har under projektet levererat stabilt med data.

### Erfarenhet dosering

Generellt har det fungerat bra, ett problem är att pumpen kanske går när den får signal men det kommer inget flöde för att det är slut i dunken, antingen har membranet gått sönder eller så är det en backventil som inte tätar. I vissa fall har pumpen gått som den ska men en ”norsk omstart” (dra ur sladden) har krävts för att logga data.

## Mikrober - erfarenheter från testgårdar

Resultat och erfarenheterna från gårdarna varierar men vi kan dra några generella slutsatser.

### Gård 1, resultat och iakttagelser

#### *RhizoFerm*

Vid normal produktion utan störningar syntes ingen skillnad i foderåtgång i stallar som behandlats med RhizoFerm. Personalen upplevde att det var bättre luft och att kvalitetstrycket minskade. Efter testperioden behandlas alla hus med RhizoFerm före insättning och man har slutat använda kemiska desinfektionsmedel.

#### *AveFerm*

En foderstörning orsakat av för lågt metioninnehåll i fodret under 2022. Det ledde till fjäderplockning och nedgång i äggproduktionen. En tydlig iakttagelse var då att AveFermbehandlade flockar snabbare återhämtade sig och återgick till normal äggproduktion jämfört med kontrollgruppen. Flocken hade sedan bättre uthållighet i äggproduktionen. AveFerm tillsätts i vattnet efter försöksperioden.

Vid manuella ammoniakmätningar så var ammoniakhalten lägst i husen med både AveFerm och RhizoFerm. Därefter kom RhizoFerm behandlade husen. Sämst luft var det i kontrollgruppen. En intressant iakttagelse är att effekten av RhizoFerm behandlingen fanns kvar långt efter avslutad behandling.

### Gård 2, resultat och iakttagelser

#### *RhizoFerm*

Djurskötare uppskattade att behandlingen förbättrade stallmiljön, därför sprutade de gärna ströbädden. De påpekade också att mängden damm i stallet minskade. Sensorernas loggade ammoniakmätningar bekräftar låga halter under hela behandlingsperioden. Personalen vill inte längre använda andningsmask, vilket nog är ett problem. Skillnaden märktes ganska omgående trots att man startade behandlingen i juli då stallklimatet ofta är bra. Under vinterperioden märktes större skillnad eftersom ammoniakhalten vanligtvis är hög under vinterhalvåret. Om man späder ut RhizoFerm blir ströbädden något kladdig. En erfarenhet var dock att vid mycket torr ströbädd kan man spä ut RhizoFerm med vatten för att på så vis samtidigt binda en del damm.



Något kladdig ströbädd



Ytterligare iakttagelser är att gödsel och ströbädd blev klibbigare under behandlingstiden men det påverkade inte andelen smutsiga ägg. Andelen knäckägg har också minskat men det kan bero på fodret och kalkinnehåll.

### AveFerm

De som jobbar i stallet känner skillnad ”det är en helt annan luft i stallet”. Det gick dock inte att mäta skillnaden. När ströbädden samtidigt behandlas med RhizoFerm är det skillnad i ammoniakhalten. Efter uppvärpningen vid cirka 40 veckors ålder när unghönsen uppnått vuxenvikt och äggen är fullstora har man succesivt kunnat minska koncentrationen i foderblandningen. Gården har kunnat minska koncentrationen med ca 10 % i genomsnitt under hela produktionsomgången. Man konstaterar också att uppvärpningen går fortare vilket medför att äggstorleken ökar snabbare. Hönsen har dessutom en bättre uthållighet, det vill säga de behåller en hög äggproduktion och är inte lika ”slitna” under den senare delen av en längre produktionsperiod. Fjäderdräkten har också varit bra under hela produktionsomgången.

Diagram 1. Diagrammet visar skillnader i produktion och uthållighet. Den gula hönsgruppen, flock 3, dvs. gul linje, har behandlats med fermentet AveFerm under de 10 sista veckorna medan den gröna och blå flocken utfodrats med AveFerm under hela produktionsperioden. De grupper som behandlats under hela värppperioden har en bättre uthållighet och högre produktion.

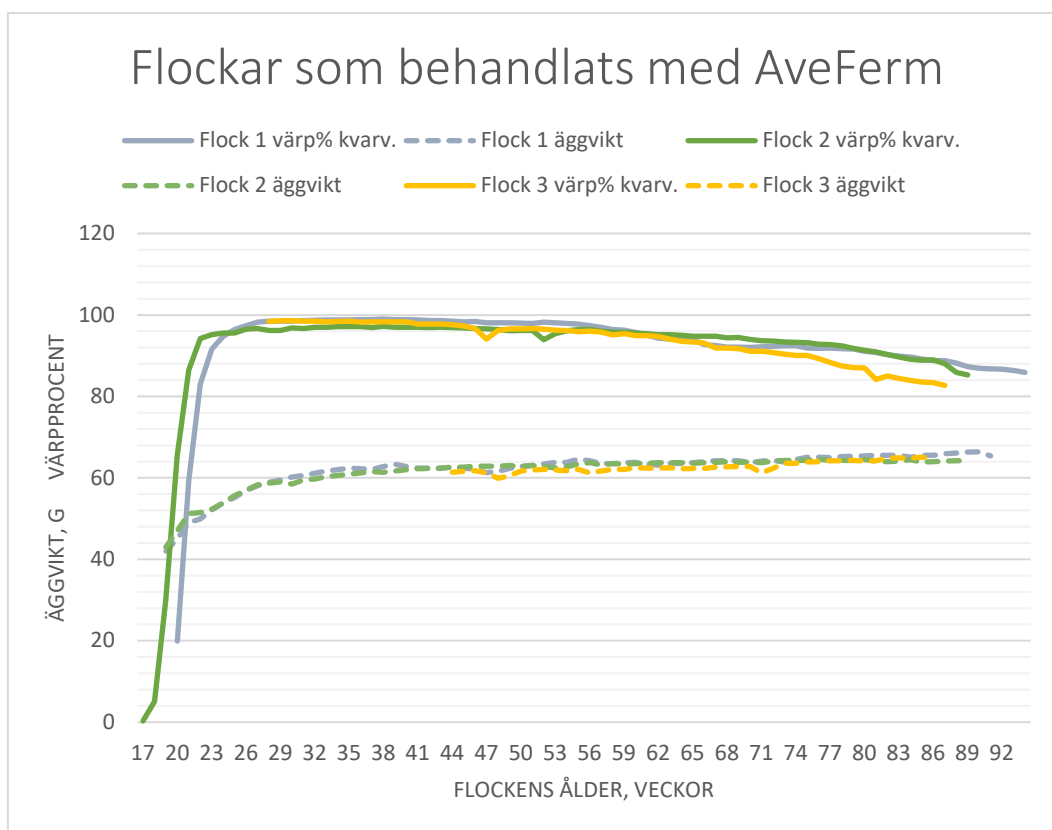
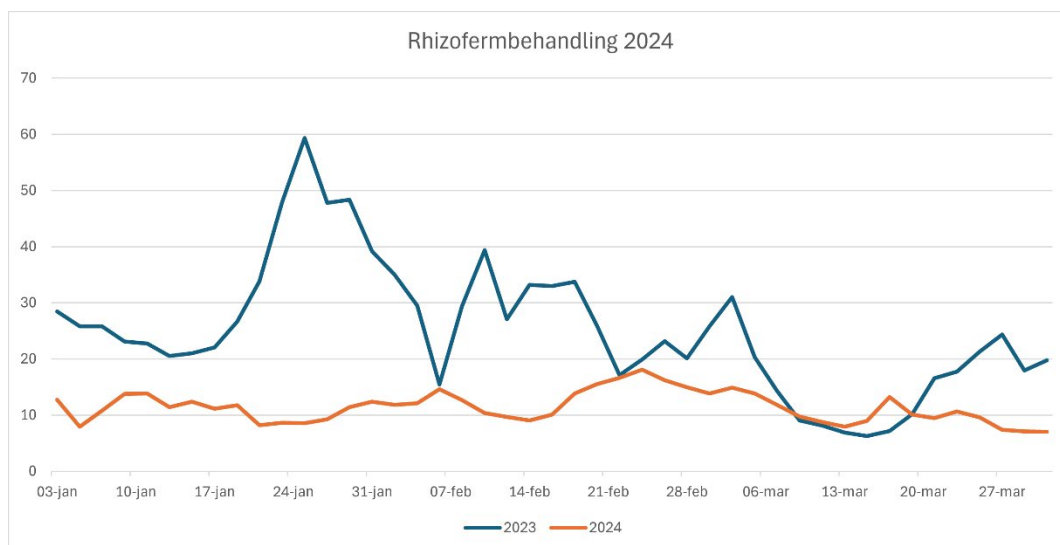


Diagram 2. Diagrammet visar ammoniakhalter efter RhizoFermbehandling 2024 på gård 2 jämfört med 2023 utan behandling.



### Gård 3, resultat och iakttagelser

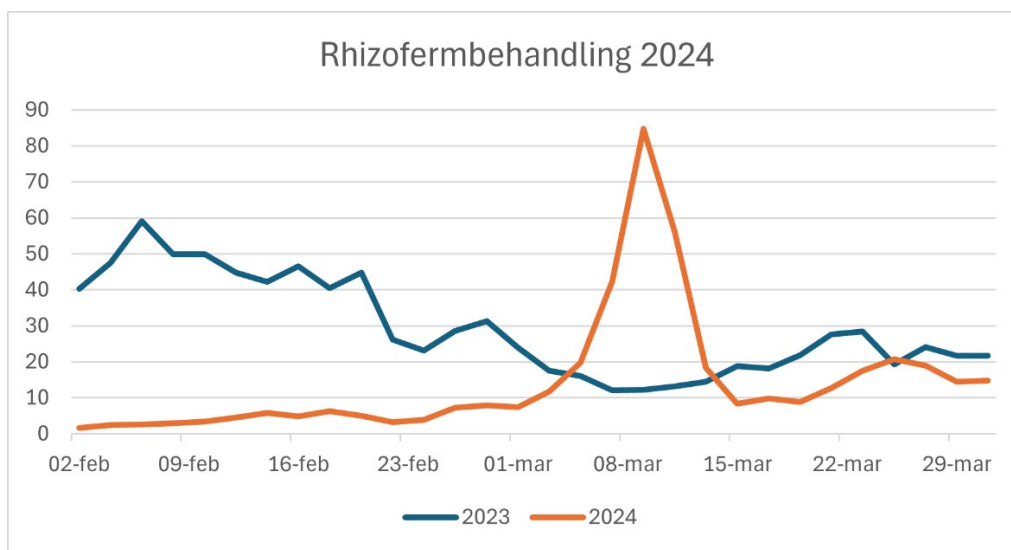
#### ***RhizoFerm***

Man såg en tydlig förbättring av stalluften ett par veckor efter påbörjad behandling med RhizoFerm. Personalen upplevde att stalluften blev bättre.

#### ***AveFerm***

Äggen är något större jämfört med tidigare flockar. Personalen upplevde en förbättring av stalluften även om ammoniakmätningarna inte visade det tydligt inledningsvis. Det ger både en bättre djurmiljö och samtidigt en bättre arbetsmiljö för djurskötare. En anställd som tidigare använt mask med filter slutade att använda den. De båda fermenten samverkar sannolikt. En kommentar är att inomhusklimatet vintertid blir bättre med Aveferm. Dödligheten har varit normal under testomgången men äggvikten och därmed äggproduktionen har ökat med mellan 5 – 10 ton i testomgången. Hönsen värper fler kilo ägg på grund av bättre uthållighet, vilket medför att en längre produktionsperiod på 90 veckor är möjlig. Man ser ingen stor skillnad på andelen smuts och knäck under testperioden. Andelen koncentrat i fodret har minskats med cirka fem procent. Gården använder nu AveFerm även till omgång efter testomgången. I den flocken såg man en bättre äggvikt i början av produktionsperioden.

Diagram 3. Diagrammet visar RhizoFermbehandling på gård 3 under 2024 jämfört med år 2023 utan behandling. En foderstörning i mars resulterade i blöt ströbädd och tillfälligt förhöjda ammoniakhalter.



## Gård 4, resultat och iakttagelser

### *RhizoFerm*

Det märktes inga tydliga skillnader av behandlingen som genomfördes mitt i vintern. Det kan bero på att av misstag har man fler höns i behandlingsgruppen jämfört med kontrollgruppen. Behandlingen avslutades. Ryggssprutan fungerade bra inget krångel och batteriet räckte för behandlingen. Behandlingen tog cirka 30 minuter.

### *AveFerm*

Flock A och B behandlades under hela produktionsperioden. Pumpen gav upp under en period varför det blev ett uppehåll den 28 april 2023 efter det tillfället har den inte fungerat kontinuerligt.

Personalen i stallet upplevde att hönsen hade bättre aptit i uppvärpningen. Det medförde att hönsen ökade bra i vikt och att äggvikten ökade snabbare än normalt.



Injektion AveFerm i tvärskruv

En nackdel var att ibland när fodret tog slut kom det fukt från AveFerm i skruven respektive foderröret vilket medförde foderstopp eftersom det proppade igen på grund av att AveFerm pumpen fortsatte att gå. För övrigt fungerade det bra.

Fodereffektiviteten har påverkats i försöksflocken. Foderåtgången var 2,10 kg foder per kg ägg vilket är lägre i jämförelse med tidigare insättningar där foderförbrukningen var 2,16 foder/kg ägg. Beräkningen omfattar vecka 30 till vecka 48.

Gården noterade inga avvikelser vad gäller äggkvaliteten, andelen knäck och smuts.

## Gård 5, resultat och iakttagelser

En iakttagelse var att småkycklingar verkade ha fastklibbat foder i näbbarna. Därför avbröts behandling i startstallet med små kycklingar från dag 1 till 21 dagar gamla. Doseringen kalibrerades.

### *RhizoFerm*

Inga skillnader kunde konstateras i flockar som behandlats med RhizoFerm. Gården använder golvvärme även i tillväxtstallet vilket medför i grunden ett mycket bra inomhusklimat och en torr ströbädd.

### *AveFerm*

På gården såg man inga eller små skillnader i slutvikt i de flockar där AveFerm tillsattes i fodret, resultatet var att testgruppen hade något lägre vikt. Man såg inte heller någon skillnad i djurvälstånd som till exempel fjäderplockning. En nackdel var att startfodret tenderade att fastna i näbben på daggamla kycklingar. Testet i startstallet avbröts därför.

## Sammanfattning resultat

Vi har intervjuat gårdarna vid flera tillfällen och det är svårt att sortera ut vad som beror på vad. Testerna har inte planerats som ett försöksupplägg och gårdarna har haft väldigt olika förutsättningar. Det går därför inte att dra slutsatser på samma sätt som ett vetenskapligt stationsförsök. Projektet har väckt intresse för mikrober och ferment. Funderingar på fortsättning och framtid är på gång.

Resultaten kan sammanfattas i stort enligt följande:

### **Rhizoferm**

- Tre gårdar uppger tydliga förbättringar i stalluften
  - Man ser en snabb effekt och det är mätbart, jmf diagram 2 och 3
- En gård ser små förbättringar och en gård ser inga tydliga skillnader i stallluftens kvalitet
- Två gårdar påpekar att det är en större effekt när Rhizoferm och Aveferm används samtidigt
- Minst tre gårdar kommer att fortsätta använda fermentet efter testperioden.

### **Aveferm**

- Två gårdar som har haft produktionsstörningar uppger att behandlad flock återhämtar sig snabbare och bättre än kontrollgruppen
- Två gårdar anger att flocken får en bättre uthållighet som möjliggör en längre produktionsperiod

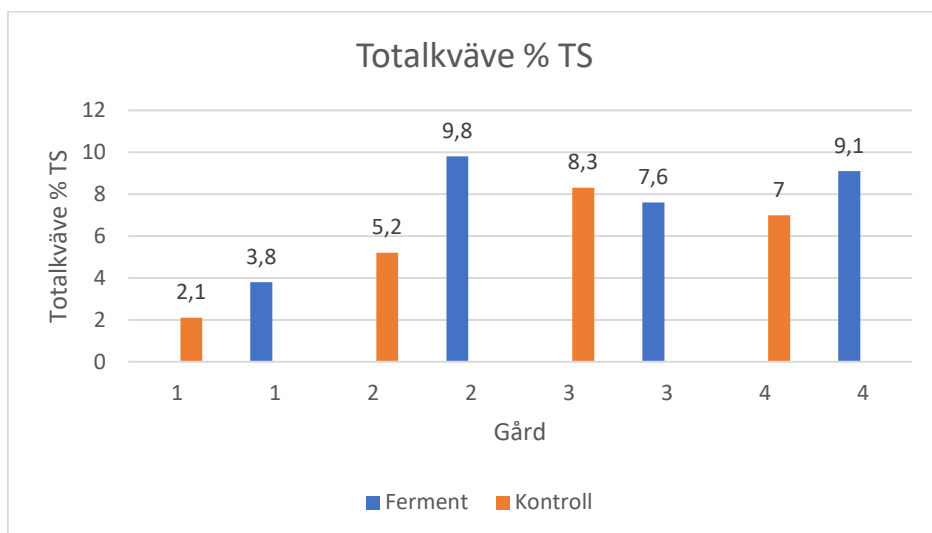
- Två gårdar uppger att de har minskat fodrets koncentratandel 5 – 10 procent under testperioden utan negativa konsekvenser för äggproduktionen
- En tredje gård har en högre fodereffektivitet
- Tre gårdar har kommenterat att flockarna har en bra befjädring
- Två gårdar har noterat en minskad kvalsterförekomst
- Tre gårdar har påpekat att de ser en snabb uppgång i äggvikt
- En gård noterade att unghönsen hade bra aptit och därmed ökade i vikt bättre än kontrollgruppen
- En gård har noterat en ökad äggproduktion
- Vi har inte några åsikter om att äggkvaliteten det vill säga andel smuts och knäck har förändrats till det bättre eller till det sämre
- Minst tre gårdar kommer att fortsätta använda fermentet efter testperioden.

Vi kommer att fortsätta diskutera försöksupplägg i samarbete med SLU för att kunna verifiera de fördelar vi har sett i denna fältstudie. Minst tre gårdar kommer att fortsätta använda fermenten efter testperioden.

### Gödselanalyser

En generell observation är att gödsel som behandlats med ferment luktar inte lika starkt som i kontrollgrupperna. Analysresultaten på gödseln visar i flera fall att total kvävet i procent av torrsubstans i färskgödseln ökar efter Avefermbehandling. På Gård 1 som RhizoFermbehandlat ströbädden är det tydligt att totalkvävehalten har lagrats in i gödseln. Gödseln lagrades innan provtagning.

*Diagram 4. Gödselanalyser på 4 gårdar visar att totalkväve halten var högre i tre fall av fyra i den fermentbehandlade gruppen jämfört med kontrollen. En produktionsstörning på gård 3 kan ha påverkat förhållandet av totalkväve i gödseln.*



När det gäller näringsämnen i gödseln så vet vi att kvävet kan förloras på vägen genom ammoniakavgång medan andra näringsämnen som till exempel kalcium, magnesium och fosfor inte kan förloras ur gödseln. Kvävets väg går från foder antingen till

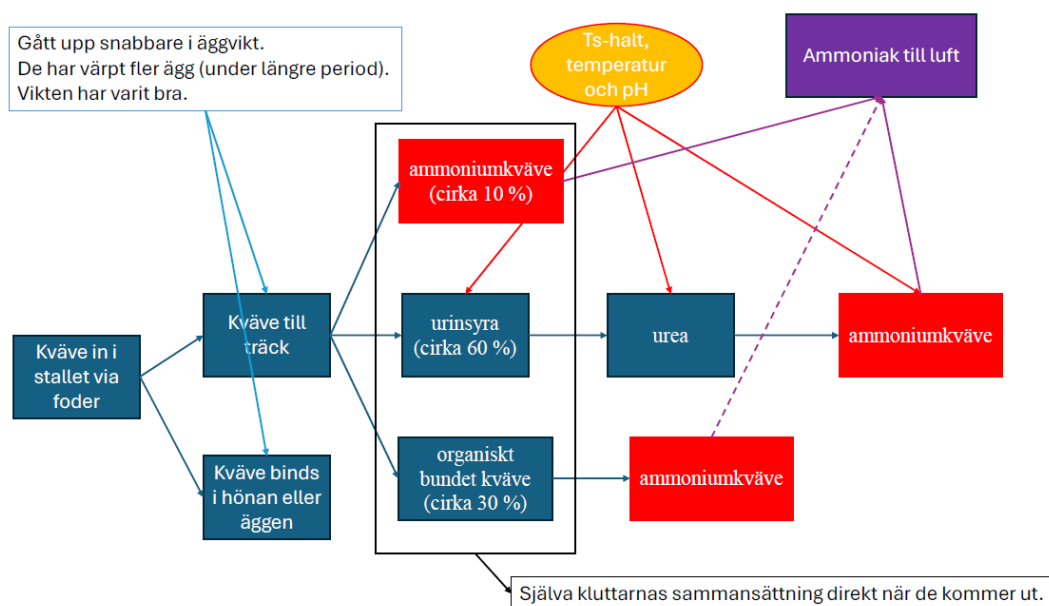
organiskt bundet kväve eller till ammoniumkväve. Ammoniumkväve är en förlust av kväve och därmed ett utsläpp.

Om det är samma foder så kan skillnader i kväveinnehåll bero på att:

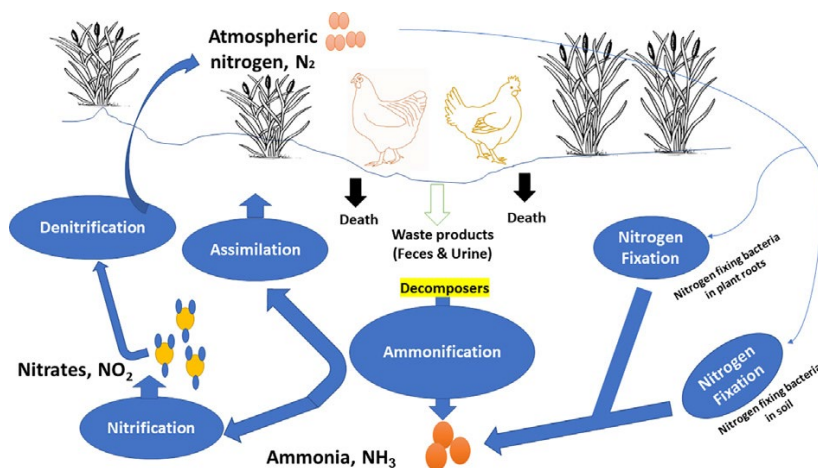
1. mer eller mindre kväve gick till ägg eller tillväxt
2. mer eller mindre kväve har förlorats till ammoniumkväve.

TS-halt och temperatur har stor påverkan på hur snabbt kväve förloras ur gödseln.

Figur 1. Kvävets väg från foder till ammoniakutsläpp



Figur 2. Ammoniakutsläpp kan minskas med hjälp av nitrifikationsbakterier





RhizoFerm i ströbädden motverkar ammoniakavgången genom:

- En mer effektiv denitrifikation där kvävet återförs till atmosfären som inert kvävgas, N<sub>2</sub>
- Ett större upptag av kväve i mikrobernas anabolism där det binds in som aminosyror och proteiner
- Att fermentationsbakterierna konkurrerar med rötningsmikroberna och besätter organiska rester
- En pH-sänkning som hygieniserar och motverkar rötningsprocesser eftersom många kloner i RhizoFerm producerar organiska syror.

## 9. Diskussion - slutsatser

Projektet har pågått i två år och under den tiden har vi fått många nya erfarenheter. Vi har kommit fram till slutsatser som äggbranschen kan ha nytta av i framtiden. Projektets resultat pekar på flera positiva effekter varför vi kan förorda användningen av testade ferment i foder och på ströbädd.

När det gäller Rhizoferm, så fanns det ingen förutbestämd mängd att spreja ut. Mängden som vi började med var en rimlig bedömning. Vi har i projektet provat olika metoder, koncentrationer och mängder på de olika gårdarna, som slutligen använt utspädd Rhizoferm. Mängden RhizoFerm har varierat mellan 5 ml per kvadratmeter upp till 50 ml per kvadratmeter. Att använda vattenkanna är inte att rekommendera. Ströbädden blir då för klabbig.

Det är dock tydligt att ströbädden måste behandlas för att nå så bra resultat på stallmiljön som möjligt. För bästa resultat bör man spreja hela huset före insättning av ny flock. Tänk då på att desinfektionsmedel eventuellt kan hämma mikrobernas tillväxt. Efter insättning har vi valt att spreja en gång per vecka. Två gånger per vecka gjorde i stor sett ingen skillnad.

Vi har funderat på varför djurskötare upplever en bättre stallmiljö efter AveFermbehandling men mätningar visar inte på lägre ammoniakhalter. Det kan bero på att stallluften innehåller andra gödselgaser som korsreagerar med mikroberna i fermentet vilket i sig kan medföra betydande förbättring av stalluften.

Ett mycket positivt resultat är ökningen i äggproduktion och fodereffektivitet. Tre gårdar har påpekat att de ser en snabb uppgång i äggvikt, den fjärde äggproducerande gården har inte helt jämförbara observationer då en foderstörning påverkat värphönsen och värpningen negativt.

Det röda hönskvalstret är ett blodsugande kvalster som kan orsaka irritation och blodförlust hos hönsen. Ett oväntat resultat var att kvalsterförekomsten minskade efter påbörjad behandling med ferment både när man använde RhizoFerm och AveFerm. Att använda RhizoFerm borde vara en fördel i detta fall. Genom minskad kvalsterförekomst påverkas hönsens välbefinnande positivt och smutsäggen minskar. Det ger ekonomiska fördelar även i detta fall.

En framtida rekommendation kan vara att använda fermenten, AveFerm och RhizoFerm i kombination för att uppnå bästa resultat.

I hönan möjliggör AveFerm en bättre foderomvandling vilket ger förutsättningar för en ökad produktion av ägg eller tillväxt. Genom att tillsätta Rhizoferm får vi en tydligare mätbar förbättring av stallmiljön. I gödseln har analyser visat att totalkväveandelen ökar efter behandling med ferment. Kvävet stannar alltså kvar i gödseln i stället för att avgå som ammoniak. Fermenten ger resultat i hönsens produktion, i stalluften och i gödseln.

## Praktiskt handhavande

Vid automatisk dosering av AveFerm måste pumpens funktion kontrolleras regelbundet på plats eller i molnet. Det har hänt att den doserar om skruven går men inte matar fram foder. Det kan i värsta fall leda till foderstopp.

För småskaliga äggproducenter, så går det bra med en 5–7 liters spruta. Det är viktigt att hålla Rhizoferm genom en sil för att minska risken för att täppa till munstycket i sprutan.

## Övriga reflexioner

Eftersom kontinuerliga stallmiljömätningar gjordes under projektiden lade vi märke till samband som förbryllade oss eller rättare sagt vi såg inte de samband som vi förväntade oss. Några exempel är att det är vedertaget att hög fukthalt ger höga ammoniakvärden och att hög koldioxidhalt, vilket är en indirekt mätning på ventilationskapaciteten, också ger högre ammoniakvärden. Vi vet också att sommarhalvåret normalt sett har bra ventilation och mindre bekymmer med höga ammoniakhalter.

*Diagram 5. Samband mellan ammoniak, fukthalt inne och ute, temperatur och koldioxid. Index den 1/1 2023 är satt till 100. Graferna visar förändringar över tid i förhållande till startdatum. Ammoniaken tycks här inte ha korrelationer med övriga uppmätta klimatparametrar.*

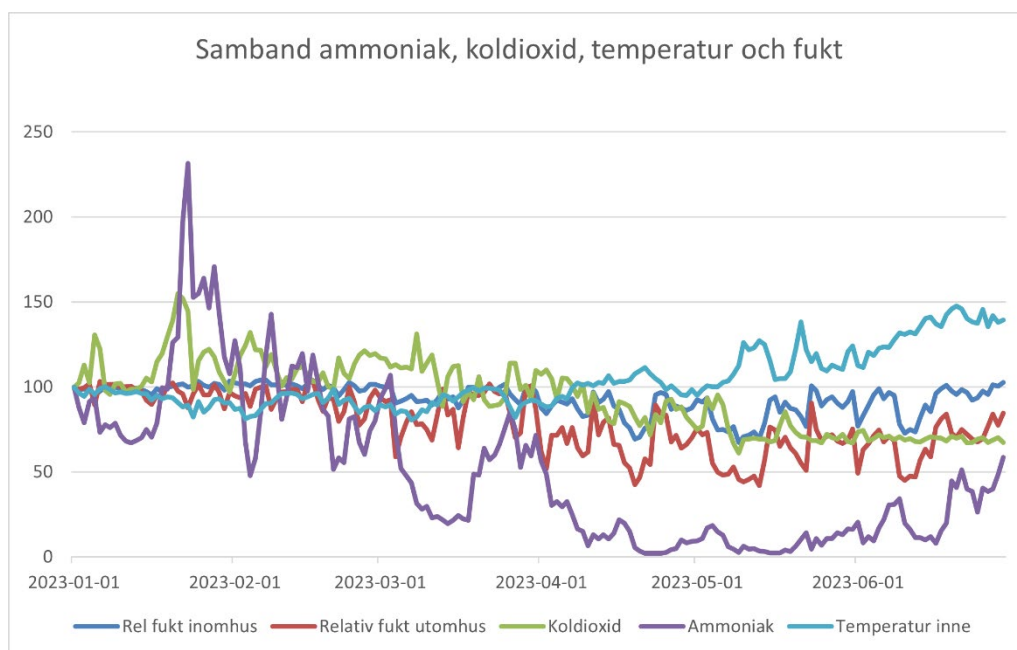


Diagram 6 visar att uppmätt ammoniakhalt varierar väsentligt under dygnet den är hög när hönsen är vakna och aktiva och låg nattetid. Bör vi inte ifrågasätta den bedömning av ammoniakhalt som görs momentant av kontrollanter idag och den formulering som finns i djurskyddslagen. Våra resultat överensstämmer med tidigare kontinuerliga mätningar i rapporten, Utvärdering av digital innovation för mätning och styrning av klimat i fjäderfästallar, se referens Alm, Malin med flera, 2019.

Diagram 6. Ammoniakhaltens variation över dygn i november

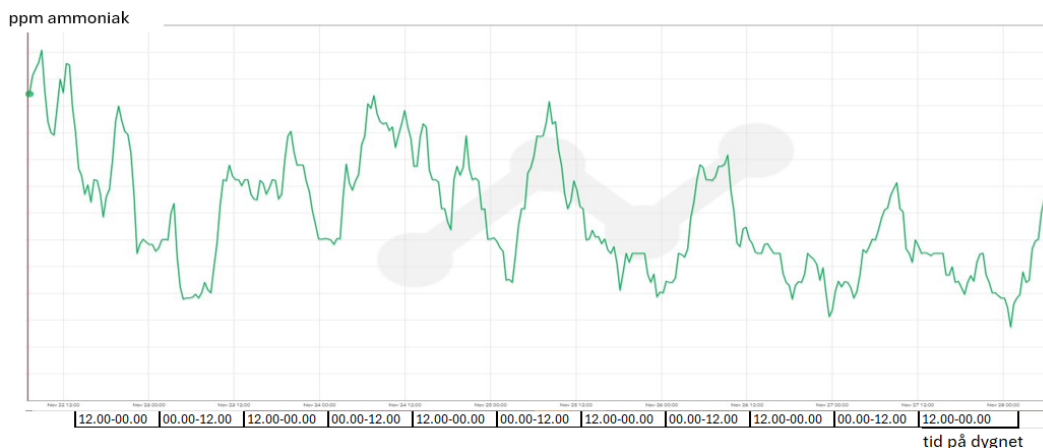
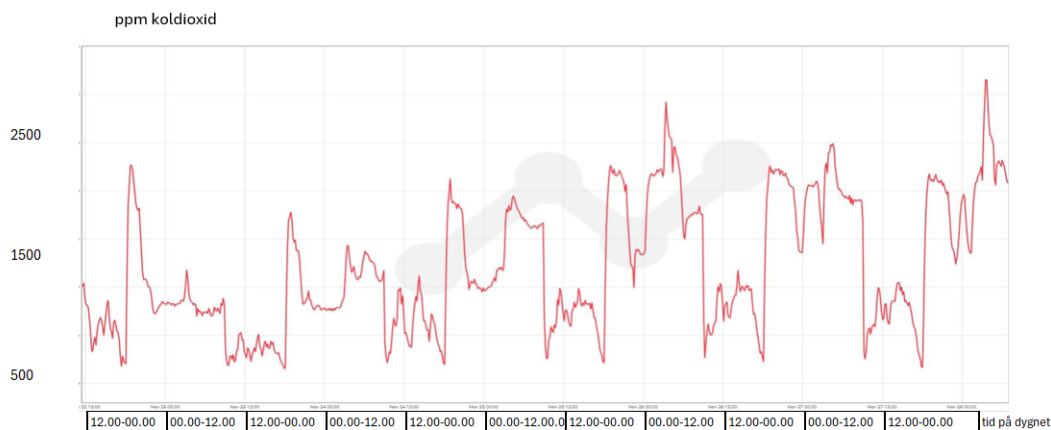


Diagram 7. Koldioxidhaltens variation över dygn i november.



## Framtiden – optimera processen

I framtiden behöver processen kunna optimeras, vi vill därför utreda mer om optimala förhållanden till exempel koncentrationen av mikrober, val av mikrober för olika ändamål, vilka faktorer i miljön gynnar de goda mikroberna i fermentet exempelvis pH, fukt och temperatur. Vi vill också lära oss mer om vad som egentligen är en dålig stallmiljö vad gäller partiklar och gödselgaser samt hur vi kan mäta stallmiljön.

Det skulle vara också intressant att ta reda på vad det är i mikroberna som åstadkommer ett minskat kvalstertryck.

Vi står inför stora utmaningar vad det gäller ekohönans foder. Jordbruksverket har beviljat ett EIP projekt för att utreda om mikrober kan förbättra foderutnyttjande för ekologiska fjäderfä. Föreningen för Ekologisk Fjäderfäproduktion, KRAV och Svenska Ägg har inlett ett samarbete för att i projektet utreda möjligheter att få fram en unik proteinsammansättning med hjälp av mikrober. Funderingar finns om det är

möjligt att kunna mata mikroberna med lämpligt substrat som omvandlas till bland annat den viktiga aminosyran metionin. Ansökan har kunnat formuleras tack vare resultat som har uppnåtts i detta projekt gällande AveFerm inverkan på fodereffektivitet, äggvikt med mera.

## Slutligen

Detta projekt har varit ett samverkansprojekt vilket har gett oss en del nya erfarenheter som vi gärna förmedlar till andra projekt:

- Det är viktigt i samarbetet att alla deltagande har samma syn på vad ett projekt innebär
- Ta tid i början med att dra upp gemensamma ramar.
- Bestäm och förankra projektets arbetssätt
- En utförlig och konkret projektplan är till stor nytta som styrdokument under projekttiden
- Samarbete mellan flera aktörer ger ömsesidig nytta av varandras erfarenheter och kontaktnät.

Vi kan konstatera att samarbete tar tid, men slutresultatet blir bättre än vad var och en skulle ha kunna åstadkomma på egen hand. Andra erfarenheter är att det är positivt med projekt som löper över en längre tid med längre planeringshorisont. Det är bra med stora övergripande projekt med flexibilitet och möjlighet att belysa aktuella frågor som dyker upp i branschen.

Det är ett problem med långa handläggningstider för utbetalningar. Guiden för ansökan om utbetalning behöver förtydligas. E-tjänsten har också bristfälliga instruktioner, till exempel när det gäller var bilagor ska läggas.

Projektet har genom sina aktiviteter förhoppningsvis satt fotspår lite varstans i vårt avlånga hönsland. En projektperiod går mot sitt slut – men frågorna kring mikrober, ägg, kyckling och djurvälstånd kommer inte att tystna för det! Flera av testgårdarna kommer att fortsätta använda fermenten.

## Referenser:

- Alm, M. & Jaimeson, M.** (2017) Vreta Kluster AB, HIR Skåne. Utvärdering av digital innovation för mätning och styrning av klimat i fjäderfästallar”.
- Alm, Malin & Hollstedt, Sofia** (2023). Vreta Kluster AB. Biokol i fodret ”Förbättring av klimat i fjäderfästall – för bättre djurhälsa, produktion och mindre miljöpåverkan”.
- Bosch med flera** (2016) Feed Innovation Services, Wageningen, The Netherlands Fermentation (Bokashi) versus Composting of Organic Waste Materials: Consequences for Nutrient Losses and CO<sub>2</sub>-footprint.
- Carlsson, Birgitta** med flera, (2019). Minskad ammoniakavgång i värphönsstallar. Svenska Ägg med flera.
- Geels, Camilla** med flera. (2023) *Agronomy* 2023, 13, 283.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy13020283>. Manure Acidification and Air Cleaners for Ammonia Abatement: A Holistic Assessment of the Costs and Effects on Terrestrial, Freshwater and Marine Ecosystems
- Li med flera.** *Journal of Animal Science and Biotechnology* (2018) 9:25. Effects of *Lactobacillus acidophilus* on the growth performance and intestinal health of broilers challenged with *Clostridium perfringens*.
- Liu med flera.** *Journal of Animal Science and Biotechnology* (2024) 15:84. Effects of methionine supplementation in a reduced protein diet on growth performance, oxidative status, intestinal health, oocyst shedding, and methionine and folate metabolism in broilers under *Eimeria* challenge.
- Microbe Factory AB**, personlig kommunikation AveFerm, Rhizoferm  
<https://www.microbefactory.se/produktoversikt>
- Röed, Jan**, 2024. Personlig kommunikation.
- Tec-Campus med flera** (2023). *PLOS Computational Biology*  
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011371> . The genome-scale metabolic model for the purple non-sulfur bacterium *Rhodospseudomonas palustris* Bis A53 ....
- Vacheron med flera** (2013). *Front Plant Science*. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning.