

*Utvikling og funksjon av blindtarmen hos
slaktekyllinger.*

Development and function of the caeca in broiler chickens.

Sigrun Schumpa

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
Institutt for Husdyr- og akvakulturvitenskap
Masteroppgave 30 stp. 2013



Forord

Et fem års masterstudie på Universitet for miljø- og biovitenskap er fullført, og det kjennes nesten som om det var i går at jeg begynte på Husdyrvitenskap. Nesten. Årene har gått fort, og lærdommen og kunnskapen har økt. Og mer kunnskap skal det bli!

Jeg vil med dette takke Prof. Birger Svihus for de veiledende rådene og tålmodigheten. Jeg vil takke Frank Sundby, som har vært til stor hjelp gjennom hele forsøket. En stor takk skal også gå til de ansatte på FôrTek og Kyllinghuset for deres vennlighet og assistanse.

I wanted to thank my colleagues Adiya, Zhamuer and Chiqchi in this study. Thank you for all your help and smiles, which made our work so much easier.

Ich möchte meiner Familie und meinen Freunden danken, die mir immer zur Seite standen. Danke für eure Unterstützung, Geduld und Ehrlichkeit.

Ås, 14 Mai 2013

Sigrun Schumpa

Sammendrag

Blindtarmens betydning og deres funksjoner hos den kommersielle slaktekyllingen er et fremdeles lite utforsket område. Det ble utført fôringsforsøk for å studere effekten av ulike diettsammensetning og fôringsregime på blindtarmens utvikling og innhold. Blindtarmprøver ble analysert for både partikkelstørrelse og stivelse. I en periode fra 7-34 dagers alder ble 207 slaktekyllinger (Ross 308) tildelt en hvetebasert diett med eller uten fytase, med eller uten havreskall, og fôret enten ad libitum eller tildelt måltider. Kyllinger fôret ad libitum, hadde kontinuerlig tilgang til fôr, mens de som ble måltidsfôret fikk tildelt fôret fire ganger daglig.

Prøveresultatene fra 21 dag gamle kyllinger viste små forskjeller i blindtarmsutviklingen mellom de ulike behandlingene; ingen samspillseffekter ble observert. Tørt innhold i blindtarmene økte signifikant ($P < 0,05$) når kyllingene ble måltidsfôret. Tørrstoffprosenten var signifikant lavere ($P < 0,05$) for kyllingene som fikk dietten tilsatt fytase. Havreskall i dietten ga større mengde små partikler i blindtarmsinnholdet ($\text{Ø } 26,6\mu\text{m}$), enn finmalt fôr ($\text{Ø } 31,2\mu\text{m}$). Forsøksresultatene fra dag 34 viste lite effekt på blindtarmsinnhold etter 16 timer fasting. Stivelsesprosent økte signifikant 3 timer etter fôring. Det ble observert en signifikant nedgang ($P < 0,05$) i tørrstoffprosenten i timene etter fôring. Vekt til tom blindsekk var signifikant høyere ($P < 0,05$) hos kyllingene fôret med grovt strukturfôr.

Det kan bli oppsummert at blindtarmen er lite påvirket av fôring. Blindtarmene ser ut til å ha en "back-up"funksjon i tider med lite eller ingen fôrtilgang, ved å holde på næringsstoffer over lang tid, som kan forsyne kyllingen med livsnødvendig energi.

Abstract

The importance and functions of the caeca in commercial broiler chickens a little researched area. In this study, feed trials were done to investigate the effect of different diet compositions and feeding regimes, on the development and content in the ceca. 207 broiler chickens (Ross 308) were given a wheat based diet with and without the enzyme fytase, with and without oat husks, and were either fed ad libitum or with limited feed. This was done in the period of age 7 – 34 days. The chickens fed ad libitum had constant access to feed, while the chickens limited feed were fed four times a day.

The test results from 21 days old chickens showed small differences in caeca development between the different feed regimes. No interaction effects were observed. Dry matter content in the caeca increased significantly ($P < 0,05$) when feed was limited. The dry matter percentage was significant lower ($P < 0,05$) for chickens who were given feed with fytase. Oat husks in the diet gave a larger amount of small particles in the caeca content ($\text{Ø } 26,6 \mu\text{m}$), compared to finely ground feed ($\text{Ø } 31,2 \mu\text{m}$). Test results from day 34 showed to have little effect on caeca content after 16 hours period of fasting. The starch percentage increased significantly 3 hours after feeding; the percentage was highest for feed with oat husks. It was observed a significant decrease ($P < 0,05$) in the dry matter percentage after feeding. The weight of empty caeca was significantly higher ($P < 0,05$) in chickens fed with coarse structure feed.

In summary, caeca is little affected by feeding. The caeca seems to have a "back-up" function for periods with little or no feed, by keeping nutrients for a longer period of time, which can supply the chicken with essential energy.

Innhold

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
INNLEDNING	2
LITTERATUR	3
SLAKTEKYLLING – OPPRINNELSE OG EGENSKAPER	3
ANATOMISKE OG FYSIOLOGISKE KJENNETEGN HOS FJØRFE	4
<i>Fôrpreferanser og fordøyelseskana</i> l	4
<i>Struktur i fôr med effekt på fordøyelsen</i>	6
<i>Måltidsfôring</i>	7
BLINDTARMER TIL HØNSEFUGLER	9
<i>Anatomi og morfologi</i>	9
<i>Motilitet av blindtarmene og tykktarm</i>	11
<i>Funksjon</i>	13
MATERIALE OG METODER	18
DIETTKOMPOSISJON AND PROSESSERING	18
FØRINGSREGIME OG DISSEKSJON	21
<i>Forsøk 1 – Blindtarmsutvikling med alder</i>	21
<i>Forsøk 2 – Dag 21</i>	21
<i>Forsøk 3 – Dag 34</i>	22
BEHANDLING AV BLINDTARMPRØVENE	23
<i>Forsøk 1 – Blindtarmsprøver</i>	23
<i>Forsøk 2 – Partikkelstørrelsesanalyse</i>	23
<i>Forsøk 3 – Stivelsesanalyse</i>	25
STATISTIKK	25
RESULTAT	26
FORSØK 1 – BLINDTARMSUTVIKLING MED ALDER	26
FORSØK 2 – DAG 21.....	29
FORSØK 3 – DAG 34.....	32
DISKUSJON	36
FORSØK 1 – BLINDTARMSUTVIKLING MED ALDER	36
FORSØK 2 – DAG 21.....	36
FORSØK 3 – DAG 34.....	38
KONKLUSJON	42
LITTERATURLISTE	43

Innledning

Den stigende populasjonsveksten, avtagende matressurser og global forurensning er resultatet av menneskets streben etter noe nytt, bedre og mer. Dette har ført med seg at forskning har blitt et sentralt verktøy, som nå skal gi løsninger i samsvar med natur- og dyrevern. I dag utgjør slaktekylling (broiler) en stor del av næringen til mennesker, og industrien har behov for å øke produksjonen av kyllingkjøtt. Et viktig skritt for å oppnå dette, er å optimalisere opptaket av næring fra fôr. Dermed står nødvendigheten i å forstå fordøyelsessystemet til kyllinger sentralt i broileroppdrettet.

I de siste 20 årene har interessen for å undersøke blindtarmene hos domestiserte fuglearter økt. Tidligere forskning på fugleblindtarmer har gitt en oversikt over ulike fuglearter med forskjellig utformete blindtarmer (Clench & Mathias 1995). Hovedsakelig ble det gjort ulike studier på mikroorganismer og bakterier i blindtarmene og deres nedbrytningsprodukter (Gasaway 1976b; Hinton et al. 2000; Józefiak et al. 2004; Mead 1989; Rehman et al. 2008). Histologien og transportmekanismen inn og ut av blindsekkene av tarminnhold ble nærmere undersøkt av en rekke forskere (Fenna & Boag 1974; Björnhag & Sperber 1977; Björnhag 1989; Duke et al. 1984; Ferrer et al. 1991). Studier om betydningen til blindtarmen hos fugler er svært liten, og det er blitt gjort få eller ingen gjentakforsøk som kan støtte opp resultatene som har fremkommet. Det er mange spørsmål rundt dette temaet og mye som er uklart.

Hos en rekke villfugler blir det antatt at blindtarmene overtar en viktig rolle i opptaket av næringsstoffer, spesielt om vinteren. Det ble funnet at blindtarmer hos lirypen er nesten dobbelt så stor om vinteren, enn om sommeren, når den fiberrike dietten øker (Pulliainen & Tunkkari 1983; Gasaway 1976b). Et høyt fiberinnhold i dietten gjelder stort sett for hønsefugler og andefugler, som klassifiseres til hhv. omnivore (alteter) og graminivore (gresseter) (Klasing 2005).

Björnhag og Sperber (1977) fant i et forsøk med kalkuner at kun 3% av partiklene i blindtarmene var større enn 0,2mm. Til dags dato har dette vært den eneste referansen, som har gitt en spesifikk størrelse på fôrpartikler og dets mengdefordeling i blindtarmer.

Hovedspørsmålet er, om det må tas hensyn til blindtarmens funksjon i broileroppdrettet.

I et omfattende fôringsforsøk på broilerkyllinger i aldersperioden fra 1-34 dager av rasen Ross 308, ble det gjort ulike undersøkelser på blindtarmer, for å finne flere opplysninger, som kan gi svar på hvorvidt fiberrike dietter og fôringsregime har innflytelse på dyrets blindtarm og blindtarmsinnhold.

Litteratur

Slaktekylling – opprinnelse og egenskaper

Den domestiserte kyllingen (*Gallus g. domesticus*) som slaktekyllingen tilhører, er en underart som stammer fra den røde jungelfuglen Bankviahøne (*gallus gallus*) (Kathle 2002). Nyeste forskning viste imidlertid at tamhøns i dag, ikke stammer fra den røde jungelfuglen alene, men mest sannsynlig også fra den nært beslektede grå jungelfuglen (*gallus sonnatitii*), som i likhet med domestisert kylling har gul hud (Eriksson et al. 2008). Resultatene viste at den domestiserte kyllingen kan være en hybrid, og hvis det stemmer, vil dette ha svært stor betydning for videre forskning.

I 2012 ble det produsert ca. 79 590 tonn slaktekylling (broiler) i Norge, det er 10 000 tonn mer enn i 2009 (Ingerø 2013). For å effektivisere kjøttproduksjonen, i henhold til innsparing av fôr og tid, har man gjennom de siste tiårene framavlet en kylling med høy kjøttprosent og rask tilvekst. Med en vekt på omtrent 1,6 kg ved en alder på 30 dager, blir kyllingene slaktet. Dette er en ekstrem vekst på veldig kort tid, sammenlignet med produksjon fra 1970-tallet, da en kylling brukte nærmere 3 måneder for å nå en lignende levendevekt (Havenstein et al. 2003).

En mye brukt slaktekyllingrase er Ross 308, "en robust, hurtigvoksende, fôreffektiv broiler med god tilvekst" (Aviagen 2012). Slaktekyllingen er ikke en norsk rase, patentet eies av det tyske konsernet Aviagen. Broilerkyllingene som brukes i Norge, har sin besteforeldregenerasjon i Sverige, hvor rugeegg til foreldredyr blir importert og klekt i norsk rugeri. Foreldredyrene blir sendt til rugeeggprodusenter etter noen uker, og derfra går produserte egg til rugeri for slaktekylling, som leverer daggamle kyllinger til slaktehøneprodusenter (Nortura n.d.).

Broilere i dag er blitt avlet sterkt ensidig på tilvekst, det samme gjelder for verpehøner som er avlet fram for god eggproduksjon og veldig lite kjøtt. Kommersiell slaktekylling har svært rask vekst og lav aktivitetsnivå i motsetning til verpehøns. Forskere Havenstein et al. (2003) gjorde et forsøk med en flokk slaktekylling av likt genetisk materialet som i 1957, som vokste opp samtidig med en flokk Ross 308. Begge ble fôret med dietter fra 1957 og 2001. Forsøket ga klare resultater ved alle målinger, som viste at vekstraten for Ross 308 var opp til fem ganger høyere enn for kyllingrasen fra 1957. Etter 42 dager hadde Ross 308 en snittvekt på 2672g, mens 1957-kyllingene bare veide 530g i gjennomsnitt.

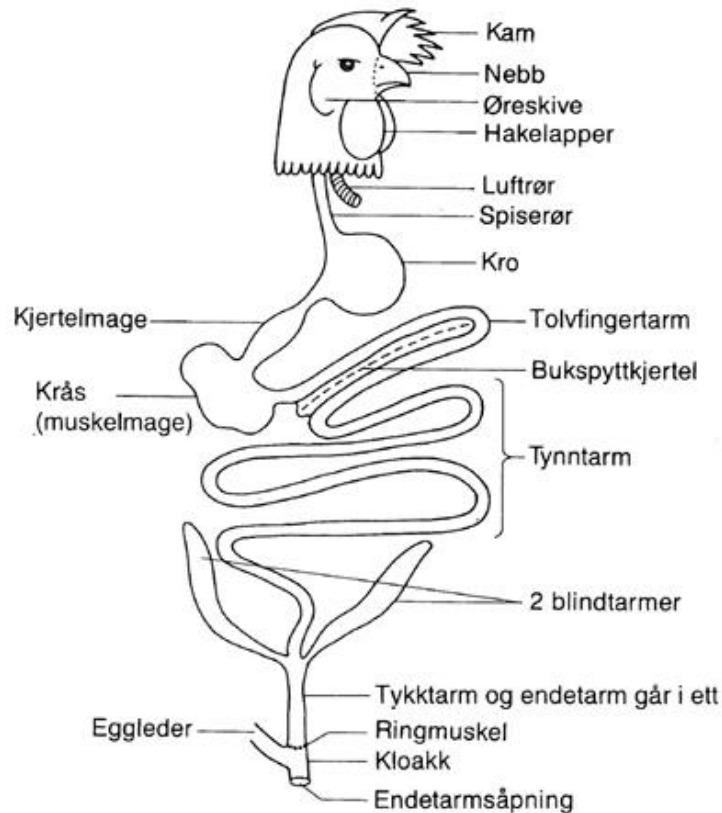
Som følge av den hurtige veksten, er slaktekyllinger utsatt for en rekke helsemessige problemer, som beinskjørhet, bukwatersott (ascites) og SDS (sudden death syndrome). På grunn av uproporsjonal vekst mellom muskel og bein vil fugler ikke klare å støtte deres egen vekt. Den høye tilveksten gjør at muskler trykker på hjertet, blodkar og lunger, som fører til dårlig blodsirkulasjon og ascites. Et annet velferdsspørsmål er den enorme appetitten kyllingen har. Dette er en uønsket korrelert egenskap, som øker det frivillige opptaket, som går utover energibehovet (Appleby et al. 2004).

Anatomiske og fysiologiske kjennetegn hos fjørfe

Fôrpreferanser og fordøyelseskanal

Gjennom evolusjonen tilpasset seg alle dyr til sitt spesifikke miljø og tilgjengeligheten av energi- og næringstilgang. En slik prosess har hatt stor innflytelse på type fordøyelsessystem, samt hvordan energikrevende komponenter og næringsstoffer blir fordøyd og absorbert (Józefiak et al. 2004).

Hønsefugler er altetende dyr og kjennetegnes ved å ha en fleksibel fordøyelseskanal, som kan tilpasses ulike type fôr (Klasing 2005) og spiser et bredt utvalg fôr, som består av planter og fôr av animalsk opprinnelse. Kyllinger har en enorm tilpasningsevne når det gjelder fôr. Klasing (2005) referer til forsøk, som viste at kyllinger kan ernære seg som en kjøtteter (carnivore), frøeter (granivore) eller tilpasse seg en diett basert på urter av lav kvalitet. Fordøyelseskanalen hos kyllinger er oppbygd av nebbet, spiserør (oesophages), kro, proventriculus (kjertelmagen), krås (muskelmage), to blindtarmer, kort tykktarm og kloakk.



Figur 1. Fordøyelsessystemet hos høner (Gjefsen 1995)

Hønsefugler har ingen tenner og fôret blir tatt opp helt, gjennom spiserøret og videre til kroa,. Kroa er en utposning av spiserøret som finnes hos en lang rekke fjørfearter. Hos hønsefugler er kroa en kuleformet beholder som kan sees i overgangen mellom hals og bryst, mens kroa hos and og gås er en sylindereformet utvidelse av spiserøret langs halsen. Kroa er en enkel utposning av spiserøret og har derfor samme oppbygning som resten av spiserøret. Veggens overflate er forhornet og slitesterk, og består av mange slimkjertler. Kroa fungerer som et mellomlager for å bløtgjøre fôret, men bare når kråsen er full. Etter hvert som muskelmagen tømmer finmalte partikler videre til duodenum, sender kroa små mengder med fôr til magen (Gjevre & Griffith 2002).

Noe som er unikt fra andre enmagede dyr, er den todelte mageregionen, som består av kjertelmagen, som produserer enzymer og syrer, og muskelmagen. Kråsens hovedoppgave er å fungere som en mølle for å male grove fôrpartikler. Selv om hønsefugler ikke kategoriseres som frøeter, så inneholder dietten til den viltlevende slektningen av den konvensjonelle kyllingen i dag en betydelig mengde av grove partikler, som nøtter og frø, insekter og fibrøst materiale (Klasing 2005). Kråsen spiller dermed en enestående rolle når dietten er av grov partikkelstruktur. Når kyllingen spiser hele korn eller får innblandet ufordøyelige skall av frø i

fôr, vil kråsen utvikle seg til en større muskel, som i tillegg beskytter bedre mot kråsbetennelse og bakteriesmitte (Hetland et al. 2003). Siden volumet av kjertelmage og krås er svært begrenset og dermed ikke kan tjene som et mellomlager for fôr, slik tilfellet er for vår og grisens mage, er kroas viktigste oppgave å tjene denne funksjonen.

Fôrpassasje kan variere innenfor de ulike avsnitt i fordøyelseskanalen. Fôr kan for eksempel lagres en kort periode i kroa, mens fôrpartikler i blindtarmen forblir over lengre tid (Warriss et al. 2004). Når grove partikler gis til kylling, vil de forbli i kråsen til partiklene er redusert ned til en tilstrekkelig størrelse (Hetland et al. 2002). I tynntarmen bestemmes hastigheten av fôrpassasjen av summen til de peristaltiske og antiperistaltiske (tilbakeførende) bevegelser. Det er blitt vist at tarminnhold kan strømme tilbake fra jejunum til kråsen (Duke 1986), noe som kan være en mekanisme for å øke næringsstoffordøyelsen i tider med lite eller intet fôr (Clench & Mathias 1995).

Struktur i fôr med effekt på fordøyelsen

Kyllingfôr har gjennomgått store forandringer de siste 50 årene. Ernæringsbehovet har endret seg parallelt med de genetiske forandringer gjort innen kyllingavl (Havenstein et al. 2003). Tidligere var det vanlig å bruke bløt fôr blandet med hele korn eller gitt hver for seg. Etter hvert med industriens framskritt, ga pelletering av fôr en helt ny betydning for fôr- og oppdrettsbransjen. Finmaling av fôringrediensene ble dominerende, mens fiberrike fôrvarer, som grønnfôr eller havre ble mindre brukt (Svihus 2011). Fiber er en strukturkomponent, som ikke er løselig i vann. Plantecellevegger består primært av cellulose, andre ikke-stivelses polysakkarider (NSP) og lignin, og regnes som fiber.

I de siste tiår har bruk av hel korn blandet med pelletert proteinkonsentrat blitt mer populær i det europeiske broileroppdrettet. Ulike forsøk med uløselig fiber og grov struktur i dietten har vist å ha gunstig effekt på kråsaktivitet og –utvikling (Sacranie et al. 2011; Hetland & Svihus 2001), næringsstoffordøyelsen (Svihus & Hetland 2001; Hetland et al. 2002; Hetland et al. 2003) og fôrforbruk (Svihus et al. 1997).

I dietter med mye fiber spiller kråsen en stor rolle. Hønsefugler har en spesielt stor og muskuløs mage, som er tilpasset store mengder harde og slitesterke fôrpartikler i dietten, og blir med det samme stimulert positivt for utvikling og funksjon. Grovt, ufordøyelig fiber har en høyere stimulerende effekt enn ved fôring av grove kornpartikler. Hetland & Svihus (2001) observerte en 17% økning av kråsstørrelsen når 10% havreskall ble tilsatt fôret, og Hetland et al. (2002) så en 50% vektøkning av krås med innhold, da en grov hvetestruktur ble byttet ut

med 12,5% havreskall. Gjevre et al. (2009) bekrefter disse funn, men fant ut at strø ikke kan erstatte fôr med høyt fiberinnhold mot kråsbetennelse, som oppstår når det fôres med basisfôr uten struktur. Havreskall dietten har vist å øke kråsvekten og reduserte pH i krås (Sacranie et al. 2011; Svihus et al. 2010). Man antar at en underutviklet krås kan bidra til overkonsumering av fôr, som igjen vil føre til at fôret dyttes gjennom fordøyelseskanalen uten å blitt fordøyd tilstrekkelig (Svihus 2001; Sacranie et al. 2011). Ferrando et al. (1987) observerte at størrelsesterskel for fôrpartikler ligger mellom 0,5-1,5mm før de forlater kråsen. Mens Hetland et al. (2002; 2003) fant ut at partikler er mindre enn 0,1mm når de kommer inn i duodenum, selv når fôret inneholder en betydelig mengde av hel hvete eller grove kornpartikler.

En økning i fordøyelse av næringsstoffer ved bruk av fiber, er blitt sett i ulike forsøk. For eksempel ble det funnet en høyere stivelsesfordøyelighet hos kyllinger når malt hvete ble byttet ut med hel hvetekorn (Hetland & Svihus 2001). Det ble spekulert om denne stivelsesfordøyelighet skyldes økt kråsaktivitet, som vil gi bedre flyt av fôr gjennom tarmkanalen og stimulere sekresjon av fordøyelsesvæsker (gallesalter, enzym) (Svihus & Hetland 2001). Fordøyelighet av stivelse økte både ved et lavere fôropptak, bruk av cellulose, og ved en grovere struktur i form av 40% hel hvete i dietten. Det ble observert en økt amylaseaktivitet og gallesyrekonsentrasjon ved bruk av hel korn. Hetland (2003) fant en høyere totalmengde gallesyre i krås, og konstaterte tilbakestrømning av innhold fra duodenum til krås, som økte når kyllingene fikk tilgang til ufordøyelig fiber. Tilbakestrømningen har effekten å forlenge oppholdstiden for optimal fôrutnyttelse gjennom kjemisk og mekanisk bearbeiding av strukturfôr (Sacranie et al. 2011).

Måltidsfôring

Slaktekyllingen har blitt selektert for en stadig raskere vekst. Den effektive og kostnadsbesparende kjøttproduksjonen medvirker vekstrelaterte helseproblemer. Sterk seleksjon for vekst er korrelert med stor appetitt hos kyllinger. Det fører til overspising, som reduserer fôrutnyttelsen av næringsstoffene i fôret, da fôret mer eller mindre blir dyttet gjennom fordøyelseskanalen (Svihus 2011).

Broilerproduksjonen er avhengig av en høy vekstrate og en effektiv fôromsetning. Det er derfor slaktekyllinger stort sett blir fôret ad libitum (appetittfôring) under et nesten kontinuerlig eller kontinuerlig lysprogram. Denne metoden av dyrehold er knyttet til potensiell overkonsum av fôr (Svihus 2001; Svihus et al. 2010) og fysiologisk problemer under veksten.

I de fleste land i verden, er det vanlig å fôre slaktekyllingene ad libitum, mens i Norge har man begynt å tildele fôret restriktiv (måltidsfôret). På denne måten vil man unngå uønsket kroppssammensetning og andre helserelevante problemer (Richards & Proszkowiec-Weglarz 2007). Måltidsfôring, i forbindelse med periodiske lysprogrammer, ga færre beinproblemer og en økt fôrutnyttelse (Julian 1993; Decuyper et al. 1994; Buyse et al. 1994; Buyse et al. 1996). Forsøk har vist at bruk av et bestemt lysprogram og lysstyrke kan gi en bedre fôrutnyttelse og lavere mortalitet (Svihus et al. 2010; Svihus 2011; Svihus et al. 2012; Ahmad et al. 2011).

Broiler har evnen til å opprettholde tilveksten under måltidsfôring ved å bruke kroa som et midlertidig lagringsplass. Undersøkelser har vist at det er svært varierende og svært ofte ikke noe kroinnhold i slaktekyllinger som får fri tilgang på fôr. Om dyrene derimot får tildelt fôr restriktiv, lærer kyllingene seg fort at det lønner seg å spise mye og å fylle opp kroa når fôr er tilgjengelig. Resultatet er at måltidsfôrede kyllinger vokser like raskt som kyllinger fôret ad libitum (Svihus 2011). Forsøk viser i tillegg at fôrforbruket per kilo tilvekst var mindre for måltidsfôrede kyllinger enn for appetittfôrede kyllinger (Svihus et al. 2010). En mulig forklaring for forbedret fôrutnyttelse er at den oppfuktingsprosessen, som skjer i kroa, har positiv betydning for fordøyeligheten, ved å bli lettere findelt og fordøyd av enzymene i tarmen, eller generelt at enzymer jobber mer effektive. Buyse et al. (1993) viste at slaktekyllinger bruker kroa og proventriculus-krås som lagringsorgan, når de opplever lange perioder uten fôr. Barash et al. (1993) observerte en signifikant økning av vekt og fôrholdingskapasitet av både kroa og krås, når kyllingene fikk bare 1-2 måltider/dag. Svihus et al. (2010) fant at selv om kråsen blir stimulert gjennom grovere fôrstruktur, så ga det ikke noe effekt på fuglens evne å takle måltidsfôring bedre enn ad libitum, hvor broilerkyllinger har vist å overkonsumere fôret.

Et annet organ som trenger mer oppmerksomhet i fremtidige forsøk med kylling er blindtarmene. Disse forekommer parvis hos alle domestiserte fugler, men i noen villfugler mangler blindtarmene (McLelland 1989). Det er blitt funnet ut at blindtarmene spiller en viktig rolle for vannabsorpsjon og fermentering. Det kommende kapittelet skal gi innblikk i forskningen, som er blitt gjort på blindtarmer hos fjørfe og villfugler.

Blindtarmer til hønsfugler

Blindtarmer hos de fleste hønsfugler (galliformer) har fått mer og mer oppmerksomhet gjennom de siste 30 årene. Den funksjonelle betydningen til blindtarmene hos en rekke villfugler, og ernæringsmessige betydningen til blindtarmene er blitt undersøkt, men spørsmålet om hvor viktig blindtarmene hos domestiserte fjørferaser i fangenskap er, er ennå ikke avklart. Den økonomiske viktigheten av høner, ryer, ender og gjess har gjort at funksjonen til blindtarmene står høyt i fokus i disse artene (Clench 1999), og de store og bra utviklede blindtarmer hos fuglene gjør håndtering enklere under forsøk.

Selv om en stor del av forsknings- og sammendragsartikler, publisert de siste 40 årene, har økt vår forståelse, er usikkerheten fortsatt stor, ikke minst om den kvantitative betydningen av funksjonene til blindtarmen. Næringsstoffer, slik som ufordøyd stivelse og protein, samt fiber som passerer tynntarmen vil ende opp i blindtarmene, men det er ukjent i hvilken form og under hvilke forhold disse fraksjonene kommer seg inn. Når partikler kommer inn i blindtarmen, kan de bli fermentert til flyktige fettsyrer (VFA). Kvantiteten av energien som blindtarmen står for er fortsatt usikkert, spesielt for moderne høytstående fjørfe, og effekten av diettsammensetning er også uklar. Faktumet er, caeectomy og caecostomy (hhv. kirurgisk fjerning av, fistel i blindtarmene) har ikke blitt vist å ha en betydelig effekt på næringsutnyttelse (Chaplin 1989; Son et al. 2000; Rezvani et al. 2007). Det kan tyde på at blindtarmen ikke er et essensielt organ i sterk selekterte domestiserte hønsfugler, i hvert fall ikke sett i føreffektivt perspektiv. Man vet for eksempel at både vann- og mineralabsorpsjon i den nedre fordøyelsestrakt er viktig for det essensielle næringsstoffopptaket hos fugler (Thomas 1982).

Det ser ut som at blindtarmer spiller en rolle i nedbrytingen av fiber i fugler, som av og til spiser fiberrikt plantemateriale (Svihus et al. 2012). Hønsfugler og andefugler har velutviklede blindtarmer. Det er interessant å nevne at blindtarmer oftest ikke eksisterer i spurvefugler og duearter (Clench & Mathias 1995), som er klassifisert som frøetere (Klasing 2005).

Anatomi og morfologi

Blindtarmer er blitt observert å forekomme i ulike former, kapasitet og størrelse i et flertall fuglearter (Clench & Mathias, 1995) på grunn av deres evolusjonære tilpasning. Det er for eksempel kjent at rypearter har blindtarmer som utgjør 24% av kroppsvekten, mens de til huskyllinger utgjør omtrent 2% (Pulliainen 1976).

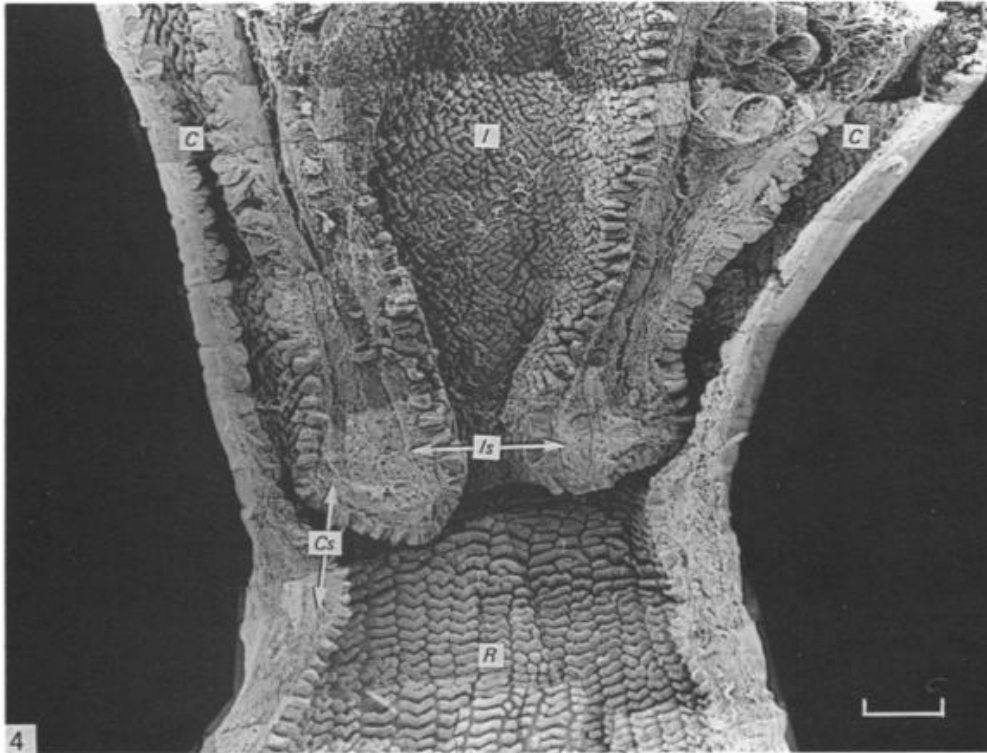
En ofte sitert forsker, for beskrivelse av fugleblindtarmens anatomi, er McLelland (1989). Han beskriver at blindtarmen hos de fleste domestiserte arter (fraværende hos duer) består av et par av blindsekker, som begynner ved knutepunktet av ileum og kolon. De forlengete blindsekker ligger bakover rettet langs ileum, og er tilkoblet tynntarmen via tarmkrøset (mesenteriet) (Ferrer et al. 1991). Blindtarmene i hønsfugl er vanligvis lang og godt utviklet, 1-2mm vid i 3 uker gamle kyllinger (Clarke 1978).

I et forsøk med lys- og elektron-mikroskopi kunne Mahdi & McLelland (1988) konstatere tre tykke muskulære ringer eller lukkemuskler, en ileal lukkemuskel og en venstre og høyre blindtarmmuskel. Clarke (1978) fant også den ileale muskelringen, men identifiserte den ikke som lukkemuskel. I undersøkelsen til Mahdi & McLelland (1988) kunne de finne en høyere tetthet av muskelnerver og åreknuter i nevnte regionene sammenlignet med andre områder i andetarmen, og det ble konstatert at disse sannsynligvis spiller en rolle ved fylling og tømming av blindtarmene. Clarke (1978) beskriver en muskelring av vev, fremme ved blindtarmsåpningen, som videre kan bidra til filtrering av materiale, som kommer inn i blindtarmen. Fenna & Boag (1974) fant ikke slik ventil-liknende struktur, men de fant at den halslignende delen, fremst i blindtarmen, inneholdt både riller og i hverandre gripende tarmtotter. Det virker som at det store antallet blindtarmstotter har en filtreringsfunksjon, hvor bare vann og fine partikler kommer seg gjennom når innhold fra kolon, gjennom antiperistaltisk tarmbevegelse/kontraksjon, blir presset opp mot blindtarmsåpningen (Fenna & Boag 1974).

Dantzer (1989) og Ferrer et al. (1991) fant flere mikrovilli, der de lengste ble observert fremst i blindtarmen. Den proksimale (nær blindtarmsåpning), forsnevrete delen i blindtarmen har mange tallrike tarmtotter og mange begerceller (Strong et al. 1989), som sørger for hhv. absorpsjonen av næringsstoffer og produksjon av slim til smøring og beskyttelse av det omkringliggende epitelet. Også Ferrer et al. (1991) fant at overflatestrukturen i denne delen av blindtarmen lignet overflaten av jejunum, noe som kan tyde på at det finner sted absorpsjon av næringsstoffer der. Hovedsakelig ligner blindsekken en tynnvegget pose, og man fant i den mediale (midtre) og distale (lengre bort blindtarmsåpningen) delen flere folder og mindre utviklede tarmtotter (Ferrer et al. 1991; Yu et al. 1998).

Funn av fortykket muskelvev, som vist i bildet til Mahdi & McLelland (1988) (Figur 2), antyder at denne ansamling medvirker fylling og tømming av blindtarmene, i enighet med Clarke (1978), som antok at ileum-blindtarm-rektal krysset spiller en stor rolle. Hill (1971) og Akester et al. (1967) beskriver at innhold fra kolon ikke kommer inn i ileum når

antiperistaltiske bevegelser presser opp mot krysset, siden åpningen mot ileum syntes å være lukket. Isteden filtreres flytende tarminnhold gjennom den smale åpningen inn i blindtarmene (Fenna & Boag 1974; Mahdi & McLelland 1988). Kolonbevegelsen skyller sannsynligvis vannløselige stoffer og fine partikler fra tarminnholdet, og presser dem inn i blindtarmen, mens store ufordøyelige partikler forblir utenfor og blir skilt ut (Björnhag 1989).



Figur 2. Elektro-mikroskopisk bildemontasje av ileo-caeco-rektal forbindelse hos domestisert and (Mahdi & J. McLelland 1988). Ileal ringmuskel (Is) og høyre og venstre blindtarmsmuskel (Cs). C, blindsekk; I, ileum; R, rectum.

Motilitet av blindtarmene og tykktarm

Bevegelsen av materiale i blindtarmer og i den nedre fordøyelsestrakt er blitt omfattende forklart og sammenfattet (Duke 1989; Clench 1999; Björnhag 1989; Fenna & Boag 1974). Disse forskerne viste at antiperistaltiske bevegelser skyver materiale fra den proksimale mot den distale enden av blindtarmene, som fører til at blindtarmene fylles og innholdet blir blandet, mens peristaltiske bevegelser bidrar til å blande og tømme blindtarmer. To typer av bølger ble registrert av Duke et al. (1980). De store sammentrekningene oppstod 1,2 ganger per minutt og var både antiperistaltisk og peristaltisk, selv om de antiperistaltiske ble registrert dobbelt så mange ganger. De mindre sammentrekninger skjedde 2,6 ganger per minutt og var tydeligvis kun sammentrekninger, som bidro til blanding av innhold. Lentle & Janssen (2008) og Janssen et al.(2009) observerte både sirkulære og langsgående

sammentrekning, og fant lignende mindre sirkulære sammentrekninger, men hovedsakelig kun når blindtarmen ikke var oppblåst. Dette var også ved høyere frekvens. Når blindtarmen var oppblåst, observerte de kraftige sirkulære sammentrekninger, som hadde en tendens til å bevege innhold i den distale og proksimale enden mot hverandre, noe som bidro til blanding. Duke (1989) og Duke et al. (1984) observerte hos kalkuner at blindtarmene tømte seg i snitt to ganger per dag; ved soloppgang og midt-ettermiddag. Vanlig avføring derimot skjer mer enn en gang i timen hos broilerkyllinger. Den sjeldne tømninga vil forlenge oppholdstiden i blindtarmen, noe som ble bekreftet av det faktum at blindtarminnholdet ikke var signifikant redusert etter 24 timer med fasting (Hinton et al. 2000; Warriss et al. 2004). Innhold i blindtarmen blir utskilt på grunn av den synkroniserte kraftig peristaltiske bevegelsen av både blindtarmer og tykktarm.

Kontinuerlige antiperistaltiske bevegelser i tykktarmen har blitt observert (Duke 1989). Det er blitt vist at disse bevegelsene frakter materiale fra analåpningen eller coprodeum inn i blindtarmen i løpet av kort tid (Akester et al. 1967; Sorvari et al. 1977). Gjennom motsettende peristaltikk i ileum og antiperistaltiske bevegelser i tykktarmen ble materialet transportert til ileum og tykktarm i løpet av 25 minutter, og deretter fraktet inn i blindtarmen. Etter 120 minutter fant man bariumsulfat kun i blindtarmen og kloakken. Ingen tilbakeløp inn i ileum ble observert, som også kunne bekreftes av Akester et al. (1967), Janssen et al. (2009) og (Hill 1971).

Duke (1989) mente at urin og andre væsker tilbakeflyter gjennom lavkontraktil antiperistaltiske bevegelser i kolon, mens kjernen av tarminnholdet, som består av mindre fordøyelig material, beveget seg mot kloakken/kloakkåpningen gjennom sterke peristaltiske bevegelser. Dette gir en rask passasje av grov ikke-fermenterbare partikler og en utvidet oppholdstid av fint fermenterbart materiale, da retensjonstiden i blindtarmen er 3 til 4 ganger høyere enn som i resten av fordøyelsestrakten (Duke 1986b).

Funksjon

Blindtarmen av fugler kan ha mange funksjoner, det inkluderer opptak av vann og næringsstoffer (Chaplin 1989), bevaring eller nedbryting av nitrogenkomponenter (Goldstein 1989), og fermentering (nedbryting av karbohydrater) (Jørgensen et al. 1996; Jamroz et al. 2002). Clench & Mathias (1995) skrev en omfattende sammendrag om blindtarmen til fugl og deres funksjon hos de ulike fugleartene. Noe av de viktigste funksjonene som tilskrives blindtarmen til kyllingen er mikrobiologisk fermentering og resulterende VFA-syntese, og absorpsjon av vann fra tarminnhold og urin.

I studier gjort på viltlevende fugleraser, har det blitt vist at blindtarmen er veldig tilpasningsdyktig og vil endre størrelsen basert på hva slags diett som er tilgjengelig i naturen. Hos mange hønsefuglearter, som høner og kalkuner, vil størrelsen og fermenteringsprodukter av mage-tarmkanalen, spesielt krås og blindtarmene, tilpasse seg endringen i føremengde og -kvalitet gjennom sesongen (Gasaway 1976b; Pulliainen & Tunkkari 1983). Om vinteren er kråsen størst og mest muskuløs, og blindtarmen er lengst og produserer hovedsakelig flyktige fettsyrer, når fuglene ernærer seg primært på (treaktige) stengler, knopper og blader. Hos liryper ble det observert at lengden og vekten på blindtarmen øker drastisk, når fuglene tilpasser seg til den fiberrike vinterdietten (Pulliainen & Tunkkari 1983; Fenna & Boag 1974). Pulliainen and Tunkkari (1983) fant at blindtarmen var 30% lengre om vinteren enn om sommeren, adaptasjonstiden er usikkert. Ifølge Redig (1989) er to til tre måneder nødvendig for at blindtarmen vil tilpasse seg til en ny diett. Duke et al. (1984) observerte hos kalkuner at blindtarmen var 25 % lengre og inneholdt dobbelt så mye tørrstoff etter tildeling av en høyfiber-diett (40% byggskall, 15 % hvetegryn og 10 % alfalfa) i 4,5 måneder. Dette stemmer overens med observasjoner gjort hos broilerkyllinger, der en signifikant økning av størrelsen på blindtarmen og fermentasjonsaktivitet var synlig etter bare noen få uker etter overgang til en diett med mer fermenterbart materiale (Longstaff et al. 1988; Józefiak et al. 2006; Rehman et al. 2008). Józefiak et al. (2006) fant en signifikant økning i vekt av både tom blindtarm og innholdet i blindtarm etter fem uker, etter at en diett basert på havre ble byttet ut med en byggbasert diett, som hadde en høyere andel løselig fiber.

Viktigheten for elektrolytter og vann reabsorpsjon

En viktig funksjon av blindtarmene er elektrolytt- og vannabsorpsjon, og hos noen fuglearter spiller det sannsynligvis en større rolle enn hos andre (Chaplin 1989). McNab (1972) konkluderte sitt sammendrag med at villfugler muligens har mer nytte av blindtarmens evne

til å absorbere vann, enn domestiserte fugler i fangenskap, som har tilgang til vann konstant (ad libitum).

Thomas (1982) forklarer at netto-absorpsjonen av vann ikke skjer før etter ileum, og er hovedsakelig en reabsorpsjon av elektrolytter og vann fra tarm og renal (urin) opprinnelse i blindtarmene. Det ble funnet at en stor mengde av urin blir transportert gjennom antiperistaltisk kontraksjon av kolon inn i blindtarmen (Björnhag & Sperber 1977), som dermed må være en effektiv mekanisme, som sikrer gjenvinning av karbon og nitrogen fra urin. Blindtarmens rolle for vannabsorpsjon er blitt vist i forsøk, der blindtarmsfjerning hos kyllinger ble gjennomført. Son et al. (2000; 2002) fant at avføringen til verpehøner inneholdt 2,2 % mer vann etter caeectomy/caecostomy, og det har vist å øke vanninntaket og vanninnhold i avføring 14 dager etter fjerning av blindtarmene. Det kan ha til følge at våt avføring gi uønskete miljøforhold i kyllinghuset (Thomas 1982). Tilstanden er kun midlertidig i følge Thomas & Skadhauge (1989), siden vannopptakskapasiteten ser ut som å stabilisere seg gjennom andre deler av fordøyelsestrakten etter 12-15 dager. Den nedre delen av fordøyelsestrakten kan sies å være en viktig del av tarmfunksjonene som sikrer opptaket av elektrolytter, vann og nitrogen balansen gjennom reabsorpsjon og resirkulering, der blindtarmene spiller en viktig rolle (Thomas 1982). Data til Maisonnier et al. (2001) bekrefter blindtarmens viktighet for oppbevaring av vann, hvor blindtarmsvekten fra individuelle broilere med identiske dietter var negativt korrelert til mengde vann utskilt i forhold til fôrintak. Dette indikerer at store og velutviklede blindtarmen bidrar til et lavere vanntap gjennom avføring.

Fermentering og diettsammensetning

Den grunnleggende mekanismen for bevegelsen inn og ut blindtarmene er kjent, mens hvilke komponenter som virkelig går inn i blindtarmen er fortsatt uklart. De fleste studiene om blindtarmen er blitt gjort på hønsefugl holdt i fangenskap, hvor fôring hovedsakelig bestod av en lav-fiber diett uten struktur (Moss 1989). Viltlevende hønsefugler ernærer seg i stor grad på en diett bestående av mye fiber. Variasjoner i fiberfordøyeligheten avhenger oftest av hvor mye fiber som kan prosesseres til fine partikler, som så sammen med løselige komponenter entrer i blindtarmen. Det ser ut som at de relativt lavfordøyelige fôrpartiklene føres gjennom fordøyelseskanaalen raskere enn de mer fermenterbare, lettfordøyelige stoffer (G. E. Duke 1986b). Fine fôrpartikler er dessuten enklere å fordøye enn de store på grunn av en stor overflate i forhold til volumet (Björnhag & Sperber 1977)(Björnhag & Sperber 1977).

Fermentering av forskjellige karbohydratfraksjoner til flyktige fettsyrer gjennom mikrofloraen i blindtarmen er blitt diskutert av Józefiak et al. (2004). De konkluderte med at bare en liten mengde av NSP blir fermentert, men allerede en liten forandring i fermenterbare fibre kan påvirke fermentering i blindtarmen. I et annet forsøk med ulike karbohydrater i blindtarmsinnhold ble det funnet at oligosakkaridene, laktose og raffinose, ble fermentert raskere og produserte høyest VFA, enn polysakkaridene (Marounek et al. 1999). Fermentering av inulin ga mer VFA enn fermentering av stivelse, pektin og xylan. Minst VFA-produksjon ga xylaner, mens karboksylcellulose ikke viste å gi noe gjæringsaktivitet i det hele tatt. Villfugler, som er tilpasset en høy-fiber diett, er i stand til å bryte ned opptil 34% av cellulose, mesteparten gjennom fermentering i blindtarmene (Gasaway 1976a). Carré et al. (1995) fant ut at mindre enn 6% av NSP i mais- eller mais/erte-basert dietter ble brutt ned, med litt høyere verdier for utvokste haner, enn for broilerkyllinger i vekst. VFA-utskillelsen var mer enn dobbelt så stor hos slaktekylling, enn hos voksne haner, og dermed indikeres at absorpsjon av fettsyrer er lavere hos dyr i vekst. Et forsøk hos kalkuner ble utført av Duke et al. (1984) for å finne ut i hvor stor grad blindtarmen er i stand til å fermentere fiber. Cellulose med radioaktiv merket karbon ble gitt enten oralt eller injisert i blindtarmen. Kalkunene gikk på enten lav-fiber diett eller høy-fiber diett. Det ble målt at en tilpasning til en høy-fiber diett økte prosentandelen cellulosenedbrytingen til karbondioksid fra 2,9 til 10,4. I en sammenligning viste effektiviteten var dobbelt så høy hos caeectomiserte kalkuner, enn hos normale kalkuner. En signifikant mengde av cellulose ble funnet i blindtarmen og viste at selv finmalt cellulosepulver vil til en viss grad komme inn og bli fermentert. Forandringer i mikroflorasammensetningen i blindtarmene, på grunn av endringer i dietten, kan være en indikasjon på passasje av fiberkomponenter inn i blindsekkene. Rougière & Carré (2010) fant en tendens til økning i blindtarmvekt ved å tilsette 15% skall fra solsikkefrø i dietten til broilerkyllinger. Det er til å anta at denne lille mengden i dietten bidro til økningen.

I hvilken grad ufordøyd stivelse blir fermentert i blindtarmen kan vurderes ved å studere forskjellen av stivelsesnedbryting mellom ileal (i ileum) og hele tarm-fordøyelsen. Weurding et al. (2001) rapporterte at verdiene til ileal stivelsesfordøyelighet lå mellom 72,3% og 98,9% når broiler fikk stivelse av ulike kilder. Overraskende var at det fantes ingen forskjell i stivelsesfordøyelighet verdiene mellom den bakre ileum og totale tarmkanalen i slaktekylling i alderen 27-28 dagers alder, til tross for store mengder stivelse som passerte ileum. I et annet forsøk resulterte diettene i en lav ileal-stivelsesfordøyelighet (under 85%), og ga en minst 10% høyere stivelsesnedbryting målt for hele tarmen (Zimonja & B. Svihus 2009; Marron et

al. 2001). Andre har også funnet at stivelsesfordøyelighet ikke øker på en total fordøyelsestrakt, når det allerede ligger på et høyt nivå i ileum (Svihus et al. 2004; Gracia et al. 2003; del Alamo et al. 2009). Dette tyder på at, under visse forhold, stivelse kan bli redusert av den mikrobielle populasjonen i blindtarmen og andre deler av den nedre fordøyelseskanal, når det ikke fordøyes i tynntarmen (Svihus et al. 2012).

Mikroflora

Samspillet av mikroflora-komposisjon, diettsammensetning og helsetilstand er et omfattende tema (Svihus et al. 2012). Mikrofloraen i blindtarmen til høner er blitt forklart av et rekke av forskere. Selv om det finnes en del signifikante forskjeller grunnet miljømessige differanser og metoder under forsøkene, kan det sees noen felles egenskaper/kjennetegn. Mange studier viser at det finnes en rikelig mengde av anaerobiske bakterier i blindtarmen hos domestiserte fugler, spesielt kyllinger (Mead 1989). I sitt sammendrag kommenterte Mead (1989) at blindtarmen inneholder vanligvis 10^{11} anaerobiske bakterietyper per gram våt vekt, noe som Józefiak et al. (2004) kunne bekrefte. Vergara et al. (1989) konkluderte med at bare en liten brøkdel av veldig små partikler og små mengder av fiber- og stivelseskomponenter fordøyes av enzymer og er dermed tilgjengelig for den bakterielle fordøyelsen i fugleblindtarmen. Generelt vet man at bakteriene i blindtarmen til fuglene bruker nitrogenet, som blir med inn i blindtarmen ved kolons antiperistaltikk, til egen metabolisme ved å bryte ned urinsyre til VFA og ammoniakk. Józefiak et al. (2010; 2011) fant flere typer av mikrobakterier i blindtarmene hos broilerkyllinger, og at antallet økte når en bygg-basert diett ble byttet med en rug-basert diett. Ved bruk av nye molekylære verktøy, greide Torok et al. (2008; 2011) å vise at alder og diett forårsaket endringer i mikrofloraen hos slaktekyllinger, men at det så ut som at alder hadde størst påvirkning.

Type materiale i blindtarmene

Det er enighet i at funksjonen til blindtarmen omfatter vannabsorpsjon, fermentering av karbohydrater og proteinnedbryting (McNab 1972). Sett ut i fra blindtarmens morfologiske oppbygging må partiklene, som kommer inn, være finkornete, lavmolekylære ($< 800 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) og ikke-viskøse molekyler. Clarke (1978) foreslo at bare væske og små partikler går inn i blindtarmen. Son et al. (2002) fant hos haner at 18% av det totale utskilte tørrstoffet og 17% av utskilte vannet totalt kom inn i blindtarmene, og konkluderte med at materialer i blindtarmen er av kvantitativ signifikans. For sultede fugler var mengde materiale i blindtarmene enda høyere.

Mekanismen for å skille og frakte fordøyd materiale inn i blindtarmen er blitt beskrevet av Björnhag (1989). Det er åpenbart at vann og salt, samt monosakkarider, blir tilbakeført inn i blindtarmen. Det kan indikere at en stor del av monosakkarider, som ikke blir absorbert av tynntarmen, passerer videre inn i blindtarmen. Imidlertid, ser det ut til at store partikler ikke entrer blindtarmen, og det bekreftes ved resultater fra ulike forsøk. Björnhag & Sperber (1977) fant ut at selv om tørrstoffinnhold i tynntarm inneholdt nesten 50% med partikler større enn 0,2mm, var ikke mer enn 3% av partiklene av slik størrelse igjen å finne i blindtarmen. Rougière & Carré (2010) fant at kun mellom 0,6 og 1,7% av krom-beiset skall fra solsikkefrø og noe mer (3,5%) av dietten med titaniumoksid kom inn i blindtarmen. Hetland et al. (2002) fant hos kyllinger med godt utviklete krås at over 40% av partiklene som gikk inn i duodenum hadde en partikkel-diameter mindre enn 0,04mm

Studier har vist at en betraktelig passasje av polyethylglycol inn i blindtarmene, som indikerer at lite viskøs, lavmolekylære karbohydrater lett entrer blindtarmen (Carré et al, 1995). Duke et al. (1984) og Gasaway (1976) kunne demonstrere fermentasjon av cellulose i blindtarmen, som indikerer at også komplekse polysakkarid-partikler kan komme inn i blindtarmene, og at en tilpasning til dietter med mye fiber forbedrer cellulosefordøyelsen. Jamroz et al. (2002) fant både løselige og uløselige arabinoxylaner og beta-glukaner fra bygg i blindtarmer til broilerkyllinger, som indikerer at slike fibre kan komme inn. Choct et al (1996) fant ingen signifikant stigning av VFA-produksjon i blindtarmene til broilere, selv når det ble lagt til 6,6% ekstra svært løselige og viskøse arabinoxylaner i dietten. Et tillegg av arabinoxylaner resulterte i en stor nedgang av fordøyelse av både stivelse og protein, som burde ha gitt nok materiale til fermentering i blindtarmene. Det er mulig at det høyt viskøse materialet som passerte tykktarmen hindret passasje av materialet inn i blindtarmene. Dette er sannsynlig, siden et tillegg av xylanase depolymeriserte arabinoksyulaner og resulterte i en høy oppgang av fermentasjon i blindtarmen. Videre støtter dette hypotesen om at små, ikke-viskøse polysakkarider kan entre blindtarmen, men ikke store, svært viskøse materialer (Svihus et al. 2012).

Som nevnt tidligere vil kun små og/eller løselige partikler bli ført inn i blindtarmene sammen med urin og fordøyelsesvæsker. Urinsyre former kolloidpartikler (0,5-13 μm) sammen med natrium, kalium, kalsium og klor, som hindrer urinsyren til å danne krystaller som ellers ville blokkere urinrøren (Braun & Campbell 1989). Vi kan med dette, samt størrelsesopplysningen til Björnhag & Sperber (1977), gå ut i fra at partikler i blindtarmer er av veldig liten størrelse, i måleområdet mikrometer (μm).

Materiale og metoder

Diettkomposisjon and prosessering

Fôret ble produsert ved Senteret av Fôrteknologi (FôrTek), ved Universitetet for Miljø-og Biovitenskap (UMB) på Ås, Norge.

Det ble produsert fire hvetebaserte dietter. Tabell 1 viser forskjellen mellom diettene. Diett 1 og 3 inneholdt havreskall (grov struktur) hhv. uten og med fytase, mens diett 2 og 4 inneholdt cellulose (fin struktur) hhv. uten og med fytase. Diettene var basert på hvete høstet i 2012, som stammer fra Drammen-omegn, midt-sør Norge, og er preget av et høyt proteininnhold og høyt falltall.

Kostnadene av selve eksperimentet ble finansiert av Nutreco, Nederland. Diettene (Tabell 1) var sammensatt etter anvisning for Broiler Ross 308 Nutrition Specification (Aviagen Group 2007), for å dekke kyllingenes ernæringsmessige behov, men med et høyere innhold av fytinsyre og et relativt lavt innhold av fosfor. Sammensetningen av fôret er vist i Tabell 2.

Tabell 1. Fôrsammensetning, Diett 1-4.

Ingredienser	Diett 1	Diett 2	Diett 3	Diett 4
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Hvete	529,5	529,5	529,5	529,5
Soyamel	200	200	200	200
Rapsfrømel	80	80	80	80
Riskli	60	60	60	60
Havreskall	50	-	50	-
90 cellulose + 10 hvetemel	-	50	-	50
Soyaolje	40	40	40	40
Kalk	14	14	14	14
Salt	1,8	1,8	1,8	1,8
Sodium bikarbonat	2,6	2,6	2,6	2,6
Mineral premiks ¹	1,3	1,3	1,3	1,3
Vitamin A	0,7	0,7	0,7	0,7
Vitamin D3	0,7	0,7	0,7	0,7
Vitamin E	0,4	0,4	0,4	0,4
Vitamin ADKB ²	0,8	0,8	0,8	0,8
DL-metionin	2	2	2	2
L-lysin	3	3	3	3
Titanium	5	5	5	5
L-treonin	2	2	2	2
Xylanase, Econase [®] XT 25	5	5	5	5
Kolin klorid	1,2	1,2	1,2	1,2
Fytase, Quantum Blue [®]			0,028	0,028

¹Mineral-premiksen inneholdt følgende per kg diett. Fe 50 mg; Mn 40 mg; Zn 70 mg; Cu 10 mg; I 0.5 mg; Se 0.2 mg.

²Vitamin-premiksen inneholdt følgende per kg diett. retinol 3.4 mg; kolecalciferol 0.062 mg; tokoferol 55 mg; menadion 6.6 mg; pyridoksin 4.4 mg; riboflavin 17.6 mg; pantotensyre 18.25 mg; biotin 0.286 mg; tiamin 2.75 mg; niacin 55 mg; kobalamin 0.022 mg; folsyre 2.75 mg.

Tabell 2. Beregnet diettsammensetning (som gitt).

Omsettelig energi (MJ/kg)	11.76
Råprotein (g/kg)	197.3
Kalsium (g/kg)	7.1
Total fosfor (g/kg)	5.0

Havreskall ble rensed fra fine partikler ved bruk av en 1,4mm sikt. Hvete, soya og rapsfrø ble malt hver for seg på 3mm sold i en hammermølle (modell. E-22115 TF, Muench-Wuppertal, Tyskland, under Bliss-USA, 18.5 kW og 2870 rpm). Det ble produsert 4 batcher kontinuerlig,

hver veide 230 kg, og ble blandet i en 400 l mixer conditioner (Twin shaft paddle, Tatham of England, Forberg, Norway, 7.5 kW). De to diettene uten fytase ble produsert først for å unngå kontaminering. Blandingstid for hver batch var to minutter, når mikroingrediensene og havreskall ble tilsatt. Soyaolje ble sprayet på blandingen med et trykk på 4 bar i 4 minutter og 45 sekunder, da spraydysene hadde en kapasitet på størrelsen 6505 (vinkel 65, str. 05, Unijet, spraying systems Co, Wheaton, Illinois, USA) og en spraykapasitet på 2,3 l/min (vannviskositet basert). Blandingsvarigheten var på 2 minutter etter oljetilsetning. Det ble tatt tre prøver fra hvert diet etter blandingsprosessen fra “vente-hopperen” (før conditioning, etter blanding). Blandingsprøvene ble tatt ut direkte fra ulike steder – representative prøver – blandet i en bøtte og fylt og oppbevart i plastikkposer. Fôrmassen ble sendt gjennom en double-conditioner (Twin Pass, Muench, Germany, 1.2 t/h, 2 x 1.8m x 30cm), der 4% damp/vann ved 75°C ble tilsatt i 20-30 sekunder (retensjonstid) før videreprosessering i pelletpressen (Muench, Tyskland, 1.2t/h maks. kapasitet, 2 x 8.5kW). Gjennom pelleteringen ble det registrert prosessparametere, oppført i Tabell 3. Rett etter pelleteringen ble temperaturen målt med termometer i en isoleringsboks.

Tabell 3. Matrisespesifikasjoner - Prosessparametere.

Conditioner - temperatur	°C	74,8
Produksjonskapasitet	kg/h	700
Matrise - diameter	mm	3
Matrise - lengde	mm	36/42
Kniv - distanse	mm	6,6
Motorbelastning	%	22,8
Amper - Motor 1	amp	13,6
Amper - Motor 2	amp	12,9
Gjennomsnittlig amper - Motor	amp	13,3
Energiforbruk	kW	8,1
Spesifikt energiforbruk	kWh/kg	0,0116
Damp	kg / h	51
ISO - Boks	°C	79,2

Pelletene ble kjølt ned i et counter-flow kjølesystem i 30 minutter, som bruker omgivelsesluft for nedkjøling av produktet (Miltenz, New Zealand, kapasitet 1.2 t/h). De avkjølte pelletene ble pakket i 1000 liter sekker fylt med en produktstørrelse på 200 ± 6 kg. Det ble tatt 3 representative pelletprøver, direkte fra de ferdigfylte baggene, ved hjelp av en kornprøvetaker.

Fôringsregime og disseksjon

Forsøket ble gjennomført fra 12. oktober til 14. november ved Senter for Husdyrforsøket, UMB.

380 daggamle broilerkyllinger av rasen Ross 308 ble plassert i batteribur med nettinggulv i et rom med 23 timer lys og en temperatur på 32°C, og ble fôret med kommersielt startfôr til slaktekylling ad libitum (fritt tilgang) i 7 dager. Alle kyllinger fikk tilgang til vann ad libitum gjennom hele forsøksperioden. Fôrkonsum og tilvekst for alle kyllingene brukt i forsøket ble registrert, ukentlig, hver fredag.

Forsøk 1 – Blindtarmsutvikling med alder

Blindtarmene fra kyllingene i alderen av 1, 7, 14, 21, 28 og 34 dager ble samlet i plastposer og fryst ned. Alle kyllingene ble valgt ut tilfeldig og avlivet ved cervikal dislokasjon.

Blindtarmene ble samlet fra kyllinger på 1 og 7 dags alderen, som fikk kommersielt startfôr ad libitum. Kyllingene fra dag 14 og 28, fra gruppebur, ble tildelt fire dietter restriktiv, som beskrevet i Forsøk 3. Det ble avlivet seks kyllinger på dag 1 og 7, tolv på dag 14 og dag 28. Blindtarm fra dag 21 og 34 stammer hhv. fra 24 og 81 måltidsfôrete kyllinger, som ble avlivet på termineringsdagene hhv. fra Forsøk 2 og Forsøk 3. Alle kyllingene ble avlivet på samme tid av dagen, mellom kl.11.30 og 12.30.

Forsøk 2 – Dag 21

Ved 7 dagers alder ble 4 tilfeldig valgte kyllinger (96 kyllinger til sammen) plassert i en av de 48 bur med nettinggulv (50cm x 35cm x 20 cm). To burrekker (24 bur per rekke) ble plassert slik at måltidsfôrete kyllingene (bur 13-36) ikke hadde visuell kontakt med de ad libitum fôrete kyllingene (bur 1-2 og 37-48). De fire diettene ble tildelt sekvensiell/fortløpende i rader med fire. Til hvert bur ble det tildelt en bønne innholdende 5kg tilhørende fôr.

Ad libitum kyllingene hadde en 2x4 timers mørkeperiode, kl.23.00-03.00 og 04.00-08.00. Måltidsfôringsregime varte fra 7 til 14 dagers alder, da kyllingene fikk tilgang til fôr (ad libitum) fra kl.08.00-09.00, 12.00-13.00, 16.30-17.30 og 21.00 til lyset ble slått av kl.23.00.

Fra 14 dagers alder til slutten av forsøket ved alder en av 21 dager, fikk måltidsfôringsgruppen tilgang til fôr ad libitum fra kl.08.00-09.00, 13.00-14.00, 17.30-18.30 og 22.00-23.00. Temperaturen ble redusert til 29°C ved 7 dagers alder, og videre senket ned til 26°C ved en alder av 21 dager.

I forberedelse på disseksjonen ved 21 dagers alder, ble lyset slått på og fôret ble fjernet fra de måltidsfôrete kyllingene kl.04.00. Alle kyllingene og fôret ble veid kl.6.30. Måltidsfôrete kyllingene i burnumrene 13-15, 16-18, 19-21 og 22-24 fikk tilgang til fôr ved hhv. kl.07.40, 08.00, 08.20 og 08.40. Fôret ble fjernet 40 min etter fôrtildeling. For å utvide tiden fra første fôring til avliving, fikk måltidsfôrete kyllingene i bur 25-27, 28-30, 31-33 og 34-36 tilgang på fôr fra kl.07.00 til kl.08.00. I henhold til burnummer fikk kyllingene tilgang på fôr kl.11.40, 12.00, 12.20, 12.40, som etter 40 minutter ble fjernet igjen. De måltidsfôrete kyllingene ble avlivet nøyaktig 3 timer etter fôrtildeling. Kyllingen fôret ad libitum fikk tilgang på fôr fra tiden lyset ble slått på, kl.04.00, fram til disseksjonen. Kyllingene i bur 1-12 og 37-48 ble avlivet hhv. fra kl.08.20 og 12.40. To kyllinger fra hvert bur ble tatt ut tilfeldig, og avlivet i ovennevnte rekkefølge ved cervikal dislokasjon. En plaststrips ble satt rundt halsen umiddelbart etter avliving, for å hindre væskeutløp fra kro. Det ble tatt ut blindtarmen, og innhold av kro, proventriculus + krås, duodenum + jejunum og ileum ble samlet opp i begre. Begrene ble lagt i flytende nitrogen og deretter, sammen med blindtarmer i plastposer, i fryseboksen.

Forsøk 3 – Dag 34

Ved 7 dagers alder ble 144 kyllinger tilfeldig valgt ut, veid og fordelt på 12x12 gruppebur med gummimatter. Kyllingene var underlagt et program for måltidsfôring, med tre repetisjoner per diett (Diett 1-4), med og uten havreskall og med og uten fytase. De fire diettene ble gitt i rekkefølgen bur 1-12 og fortløpende. Fra 14 dagers alder til slutten av forsøket ved 32 dagers alder, var fôret tilgjengelig i tidsrommene kl.08.00-09.00, 13.00-14.00, 17.30-18.30 og 22.00-23.00. Måltidsfôringsregime varte fra 7 til 14 dagers alder, der kyllingene fikk tilgang til fôr fra kl.08.00-09.00, 12.00-13.00, 16.30-17.30 og kl.21.00 til lyset sluknet kl.23.00. Temperaturen ble redusert til 29°C ved 7 dags alderen, og ble videre redusert til 26°C ved en alder av 26 dager.

I forberedelse med disseksjonen fikk kyllingene ved 33 dagers alder tilgang til fôr fra kl.13.00-16.00, og gjennomgikk deretter en sultfase på 16 timer. Lyset var slått av mellom kl.22.00 til 07.00 på dag 34. Ved 34 dagers alder fikk kyllingene tilgang til de to fytasediettene med og uten havreskall, hvor diett 1 og 2 ble byttet ut med hhv. diett 3 og 4.

Fôrtilgang varte i 60 minutter fra kl.08.00 (tid null (0)). Deretter ble 7-8 kyllingene (3-4 kyllinger per grov strukturfôr) avlivet hvert 60. minutt fra kl.08.00 til terminering kl.18.00. Kyllingene ble avlivet gjennom cervical dislokasjon, og en plaststrips ble satt rundt halsen for å hindre tap av kroinnhold. Hele vekten (med innhold) av kylling, krås, tynntarmen med proventriculus og blindtarmene ble registrert. Innhold av kro, krås, duodenum+jejunum og ileum ble samlet i beger, som ble lagt i flytende nitrogen og ble deretter, sammen med blindtarmene i plastposer, oppbevart i fryseren ved -18°C.

Behandling av blindtarmprøvene

For viderebehandling ble alle blindtarmsprøvene tatt ut av fryseren og tint i 15 min. Innholdet i blindtarmene ble tømt over i plastbegere, og rester ble skrapet ut med en metallspatel. Blindtarminnholdet ble fryst ned til -80°C i ca. én time, og deretter satt i frysetørker (Beta 1-6, LMC-2, Christ, Osterode, Germany) ved -56°C og 25mbar i 36 timer, for å få et tørrstoffinnhold uten biokjemiske forandringer av prøvene. Vekten av en full blindtarm, blindtarmene, vekt av våt og frysetørket innhold ble registrert individuelt.

Forsøk 1 – Blindtarmsprøver

For blindtarmsanalysen av vekt og innhold av kylling på 7, 14, 28 og 34 levedager, ble det kun brukt én av de to blindsekkene. For analysen for dag 1 ble alle seks prøvene blandet sammen og senere målt som én gjennomsnittsprøve. For dag 21 ble de registrerte vektene til de 2 blandete blindseksprøvene kalkulert ned til én blindtarm, for en tydeligere sammenligning i Tabell 4.

Forsøk 2 – Partikkelstørrelsesanalyse

Blindtarmsinnhold for dag 21 representerer en gjennomsnittsverdi, hvor innholdet til én blindsekk fra den ene kyllingen ble blandet med innholdet til den andre kyllingen fra samme bur før frysetørking.

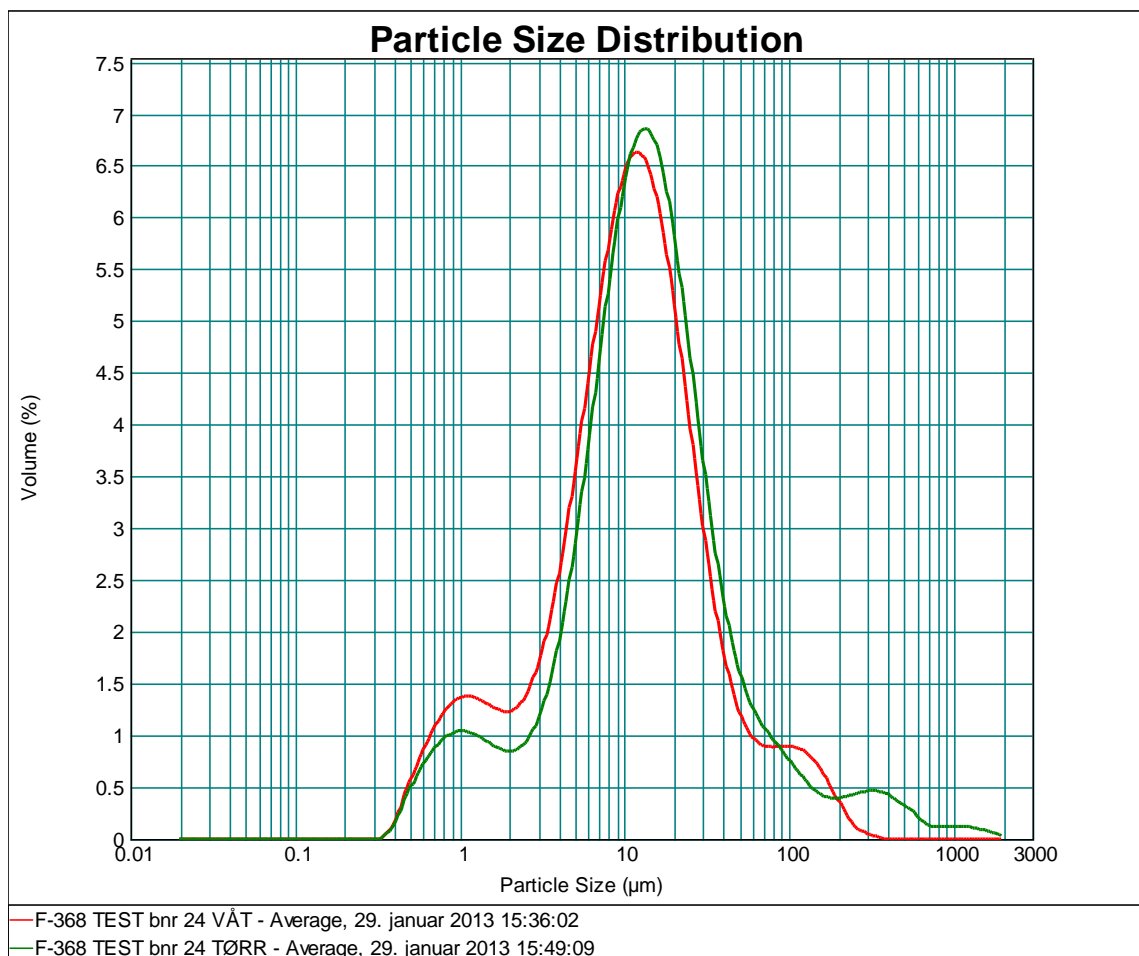
De frysetørkede prøver ble kuttet i 1-3mm store deler med skalpell. En representativ prøve på 80mg ble tatt ut og løst opp i 100mg destillert vann i 10min, før det ble tømt over i 800mg destillert vann. For å måle partikkelstørrelsesfordelingen ble det brukt måleapparatet Mastersizer 2000 fra Malvern, med sublimeringsenheten Hydro-2000G, som er en helautomatisk våt-dispergerbar-enhet for store volumer. Apparatet fungerer på prinsippet av laserlysstråling og analyserer basert på Mie- og Fraunhofer-spredning, og leser partikkelstørrelser mellom 0,02-2000µm (Malvern n.d.). Brennvidden hadde en lengde, dybde og bredde på hhv. 344, 352 og 330mm. Prøvemåling varte 12sek per kjøring, hvor 3

paralleller per prøve ble kjørt. Resultatet for partikkelfordelingen vises i volumprosent. Det ble kjørt to testprøver på våt og frysetørket prøve (Figur 3). Sammenligning av målingsresultatene skulle forsikre om frysetørket materiale kunne brukes til partikkelstørrelsesanalysen. Det ble veid ut lik mengde våt prøve som for tørr blindtarmsprøve:

$$X(\text{våt}) * \frac{TS\%}{100} = 80\text{mg}(\text{tørr})$$

$$X = \frac{80\text{mg}}{\left(\frac{TS\%}{100}\right)}$$

Begge prøvene ble tynnet ut med 100mg destillert vann i 12min. Prosedyren deretter var den samme som nevnt tidligere. Kurvefordelingene i Figur 3 viser at det var minimale forskjeller mellom våt og frysetørket prøve, og frysetørkede blindtarmsprøver ble brukt til partikkelanalyse.



Figur 3. Partikkelanalysedistribusjon. Sammenligning partikkelfordeling ved bruk av våt (rød) og frysetørket (grønn) blindtarmsprøve.

Forsøk 3 – Stivelsesanalyse

For analysene av blindtarmsprøvene ble det kun brukt én av de to blindsekkene til hver kylling. De frysetørkede blindtarmsprøvene ble undersøkt for stivelsesinnhold. I forberedelse for analysen, ble de prøvene mortet til fint pulver. Stivelsesanalysen ble foretatt ved Instituttet for husdyr- og akvakulturvitenskap (Svihus 2002).

Statistikk

Datamaterialet ble sortert og bearbeidet i Microsoft Excel 2010. Dataprogrammet Statistical Analysis System 9.2 (SAS Institute Inc.) ble brukt til å kjøre en toveis variansanalyse ved hjelp av GLM prosedyrer for å finne aktuelle effekter. For å finne de signifikante forskjellene mellom gruppene ble det kjørt en Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple range test. Ved p-verdi mindre eller lik 0,05 ble forskjellen ansett som signifikant, og en p-verdi mellom 0,1-0,05 ble sett på som en tendens til forskjell.

Resultat

Forsøk 1 – Blindtarmsutvikling med alder

Gjennom perioden fra 1-34 dagers alder hadde kyllingene en normal vekstutvikling. Dette vises i tabell 4. Resultatene er presentert som et gjennomsnitt av kyllingene fôret restriktivt med grov struktur og fin struktur. Det kan sees en generell vektøkning av alle organene samt blindtarmsinnhold fra 1 til 28 dagers alder. Vektene på dag 28 og 34 viser liten forskjell, heller en stagnering i vekst. Blindtarmen og tynntarmen vokste i takt med hverandre. Prosentandelen i levendevekt viser hovedsakelig at blindtarm og blindtarmsinnhold utgjør en stadig mindre del av totalvekten ettersom kyllingen vokser. Tørrstoffinnhold i blindtarmen var uendret under vekstperioden. Imidlertid var tørrstoffprosenten noe høyere etter første leveuke og på dag 34.

Figur 4 presenterer utviklingen til blindtarmene og fordøyelsessystemet hos slaktekyllinger i en alder fra 1-34 dager. Bilder a), b) og c) viser kyllinger i en alder på hhv. 1, 7 og 14 dager. Ulike deler i fordøyelsessystemet er merket med bokstaver, hvor X, Y og Z representerer hhv. krås, tynntarm og blindtarmene. Blindtarmstørrelsen mellom bildene står ikke i forhold til hverandre, og er dermed ikke sammenlignbare. Bilde d) viser en 21 dag gammel kylling med abnormitet, hvor bare én blindtarm ble funnet (svart ring). På dag 34 kunne det sees forskjeller mellom kyllingene som fikk fôr med havreskall (e) og uten havreskall (f). Hovedsakelig sees største forandringen i størrelsen til krås (svart pil). Bildene viser ingen synlig forskjell mellom blindtarmene Z_a og Z_b . Resultatene til blindtarmen på dag 34, er vist i kapittelet Resultat, Forsøk 3 – Dag 34.

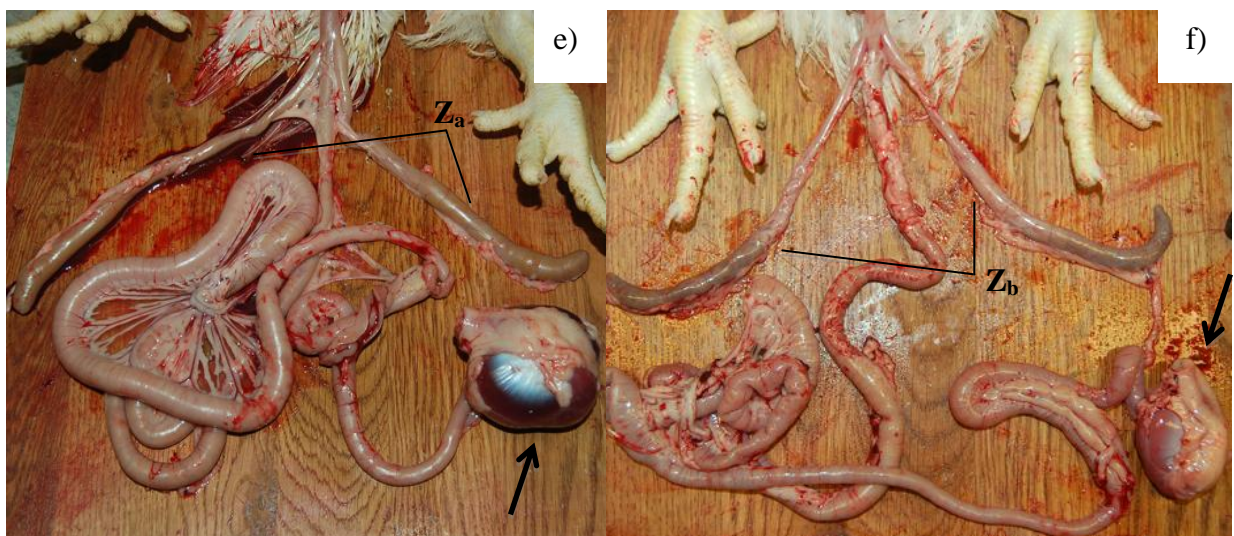
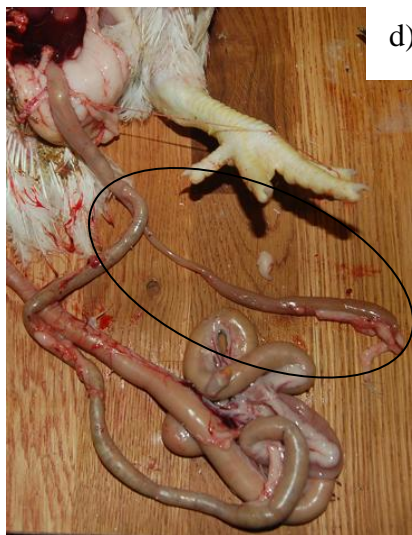
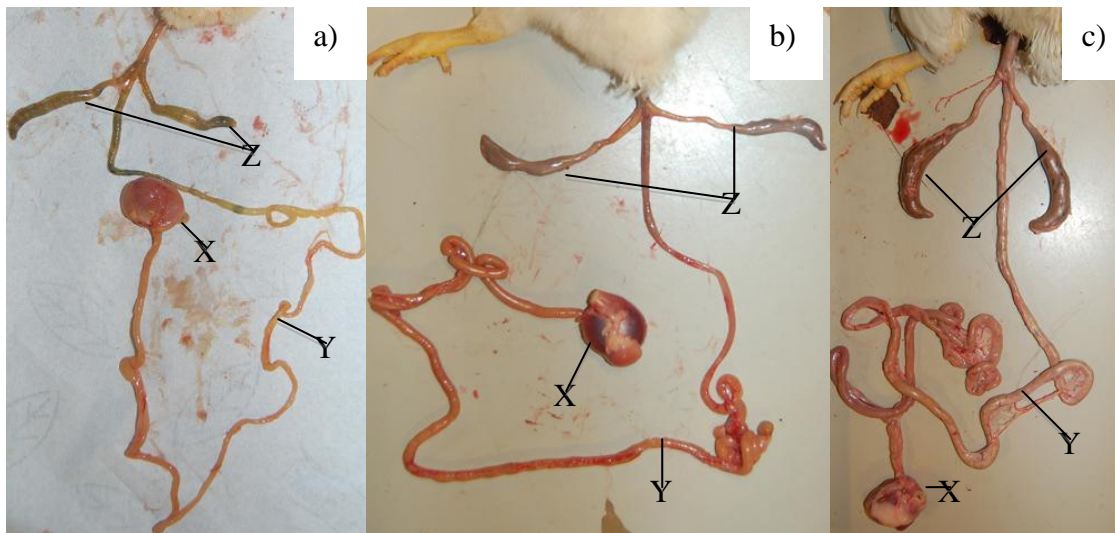
Tabell 4 Utvikling hos broilerkyllinger over tid fra 1-34 dagers alder. Måltidsfôret med grov og fin struktur fra 7-34 dagers alder

Alder, dag	Individ -antall	Kylling, levendevekt, g	Krås, g	Tynntarm full, g	Blindtarmer full, g	Blindsekk		Blindsekkinnhold		TS ² , %
						Full, g	Tom, g	Våt, g	Tørr, g	
1	6	37	2,22	1,62	0,23	0,12	0,17	0,12	0,02	2,30
7	6	154	8,63	14,08	2,23	1,03	0,42	0,61	0,13	22,28
14	12	440	16,28	33,72	4,98	2,32	0,79	1,53	0,23	14,91
21	24	936	17,84	n.d.	8,47	4,23	1,46*	2,77*	0,41*	14,69*
28	12	1496	29,86	81,01	11,96	6,09	2,42	3,67	0,52	14,54
34	81	1877	33,94	79,24	10,66	5,08	2,21	2,87	0,56	19,96
i % av levendevekt										
1			5,93	4,32	0,62	0,31	0,46	0,31	0,04	6,14
7			5,62	9,17	1,45	0,67	0,27	0,39	0,09	14,51
14			3,70	7,67	1,13	0,53	0,18	0,35	0,05	3,39
21			1,91	n.d. ¹	0,90	0,45	0,16	0,30	0,04	1,57
28			2,00	5,42	0,80	0,41	0,16	0,25	0,03	0,97
34			1,81	4,22	0,57	0,27	0,12	0,15	0,03	1,06

*Vekt fra to sammenslåtte blindsekker; blindtarminnhold ble halvert for bedre sammenligning i denne tabellen. Originalvekt (g) fra v. til h. hhv. 2,92; 5,5; 0,82; 14,74.

¹not dated = ikke datert

²tørrstoffprosent



Figur 4. Blindtarmsutvikling av fordøyelsessystemet hos 1-34 dager gamle slaktekyllinger. Bilde a), b), c) hhv. tatt på dag 1, 7, 14. Forkortelser brukt: X, krås; Y, tynntarm; Z, blindtarmene. Bilde e) dag 21, kylling med bare én blindtarm. Bilde e), f) dag 34; e) kylling føret havreskall; Z_a, blindtarmene; svart pil, stor krås. Bilde f) kylling føret uten havreskall; Z_b, blindtarmene; svart pil, lite utviklet krås.

Forsøk 2 - Dag 21

Tabell 5 viser generelt at det var små forskjeller mellom de ulike behandlingene når det gjelder utvikling av blindtarmene. Vekten til full blindtarm ble ikke påvirket signifikant av verken diett eller fôringsregime. Enzymet fytase og måltidsfôring ser ut til å ha økt mengden blindtarmsinnhold i våt tilstand ($P = \text{hhv. } 0,054, 0,055$). Lavest vekt ga finmalt fôr uten fytase, fôret ad libitum. Måltidsfôring ga en større mengde tørrstoff i blindtarmen ($P = 0,037$), men ikke noe signifikant endring i tørrstoffprosent ($P > 0,05$). Tørrstoffprosenten var signifikant lavest når fôret inneholdt fytase ($P = 0,008$). Det ble ikke funnet noe samspill mellom behandlingene.

Den presenterte fordelingen av partikkelstørrelse viser i hovedsak at partiklene i blindtarmen var veldig små, med en størrelse på mindre enn $75 \mu\text{m}$. Ved fôring av grov strukturfôr var 90% (D09) av partiklene signifikant mindre enn $55,1 \mu\text{m}$ ($P = 0,025$), mens 80% (D08) lå under en størrelse på $32,8 \mu\text{m}$ ($P = 0,034$). Flere små partikler under 10% ($P < 0,001$) ble funnet hos måltidsfôrete kyllinger, men den signifikante samspillseffekten ($P = 0,038$) antyder at dette først og fremst var tydelig for fôr med havreskall.

Tabell 5. Resultater fra kyllinger i 4-individ bur fra 7 til 21 dagers alder

Føringsregime	Struktur	Enzym-tilskudd									Blindtarm		Blindtarmsinnhold		
			D01, μm	D02, μm	D05, μm	D08, μm	D09, μm	Overflate, Gjennomsnitt, μm	Volum, Gjennomsnitt, μm	Kråstom, g	Full ² , g	Tom ² , g	Våt, g	Tørr, g	TS (%)
Ad libitum	Grov	Nei	3.9	6.9	15	30	45.6	7	23.5		7.9	3	4.9	0.72	14.9
Ad libitum	Fin	Nei	3.2	6.1	16.1	42.9	74.9	6.5	33.8		7.2	3	4.2	0.68	16.6
Ad libitum	Grov	Ja	4	7.5	17.6	38.2	62.8	7.6	31.3		8.4	3.2	5.2	0.71	13.7
Ad libitum	Fin	Ja	3.8	7	16.9	39.3	74.5	7.2	31.7		8	3.4	4.6	0.6	13
Måltidsføring	Grov	Nei	3.3	5.9	13.5	28.8	51.8	6.4	24.1		8.2	2.8	5.4	0.86	16
Måltidsføring	Fin	Nei	3.5	6.5	15.5	35	68.4	6.7	33.5		7.6	3.2	4.5	0.65	14.4
Måltidsføring	Grov	Ja	3.6	6.8	16.1	33.8	58.6	6.8	26.8		8.4	2.4	6	0.88	14.6
Måltidsføring	Fin	Ja	3.5	6.8	17.4	37.6	55.8	7	26.1		9.6	3.3	6.3	0.87	13.9
$\sqrt{\text{MSE}}$			1.02	1.64	4.03	9.13	19.51	1.26	7.2		1.8	0.62	1.41	0.218	2.06
Føringsregime															
Ad libitum			3.7	6.9	16.5	37.6	64.4	7.1	30.1	17.88	7.9	3.1	4.7	0,67b	14.6
Måltidsføring			3.5	6.5	15.6	33.8	58.6	6.7	27.6	17.84	8.5	2.9	5.5	0,82a	14.7
Struktur															
Fin			3.5	6.6	16.5	38,5a	67,8a	6.9	31.2	13.24	8.1	3.2	4.9	0.7	14.5
Grov			3.7	6.8	15.6	32,8b	55,1b	6.9	26.6	22.48	8.2	2.9	5.4	0.79	14.8
Enzym															
Nei			3.5	6.4	15	34	60.2	6.6	28.7		7.7	3	4.7	0.73	15,5a
Ja			3.7	7	17	37.1	62.4	7.1	28.9		8.6	3.1	5.5	0.77	13,8b

Hovedeffekter													
Fôringsregime	<0,001	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.055	0.037	NS
Struktur	NS	NS	NS	0.034	0,025	NS	0.03	NS	NS	0.06	NS	NS	NS
Enzym	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.054	NS	0.008
Fôring*Struktur	0.038	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fôring*Enzym	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Struktur*Enzym	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fôring*Struktur*Enzym	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^{ab} Gjennomsnittstall innen en kolonne med ulik eksponential-bokstav er signifikant forskjellig, P<0,05.

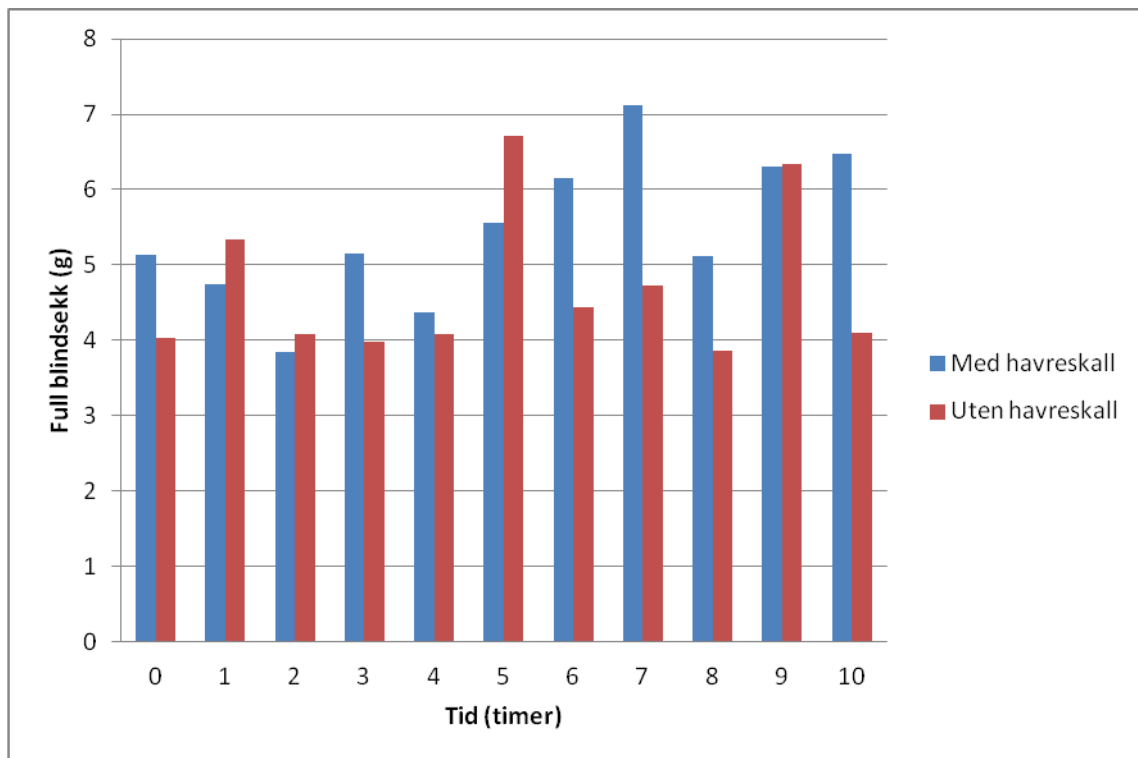
¹Hver kombinasjon av behandlinger hadde enten 6 eller 12 repeteringer.

²Tall for blindtarmen og innhold er resultater av en blindsekk til 2 kyllinger.

Forsøk 3 – Dag 34

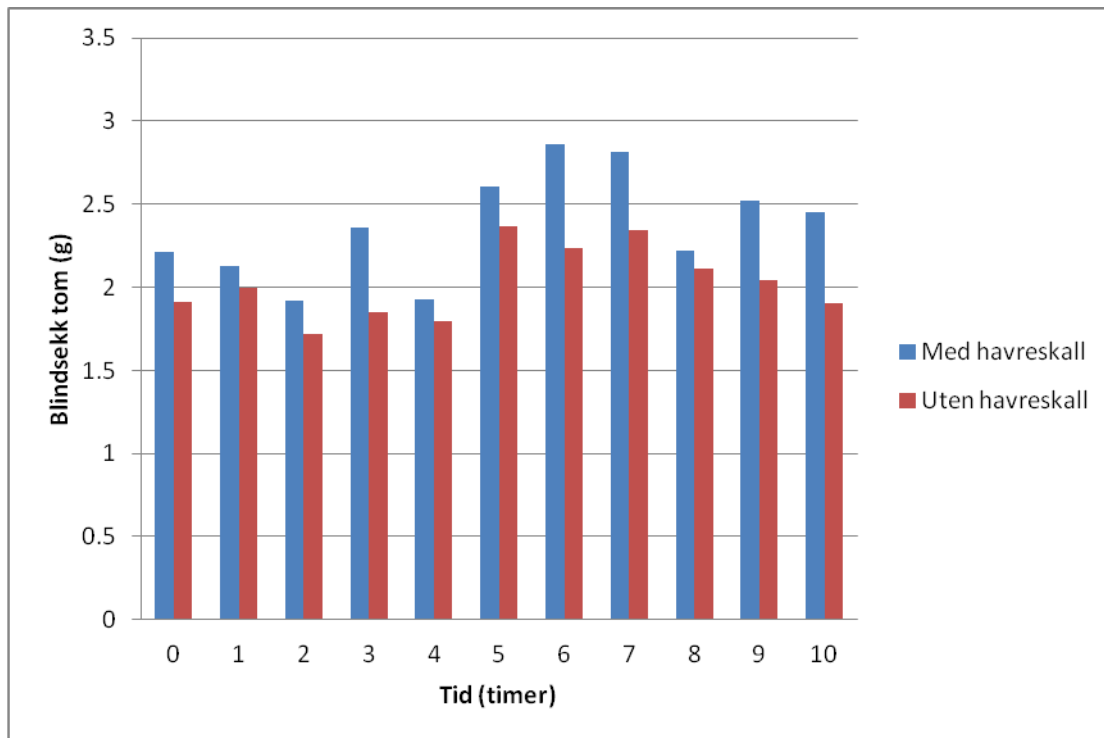
I dette segmentet ble det sett på effekten av struktur i fôr, i form av havreskall, på blindtarmsutvikling, -innhold og stivelsesinnhold i blindsekk. Forsøksresultatene er presentert i form av figurer. Statistikken er ikke vist, men P-verdiene til enkelte behandlingene er nevnt.

Det var ingen signifikant forskjell på vekt på full blindsekk mellom de to diettgruppene i forhold til tid (Figur 5). Likevel kan det sees at vekten etter fôring varierte noe mellom timene. Havreskall i fôret hadde en tendens til å øke vekten av full blindsekk ($P=0,054$).



Figur 5. Vekt til full blindsekk på ulike disseskjonstider etter fôrtildeling (tid 0).

I figur 6 sees at vekten til tom blindsekk var signifikant høyere hos kyllingene som fikk grovt strukturfôr ($P=0,002$). Med tiden endret vekten til tom blindsekk seg signifikant ($P=0,028$).

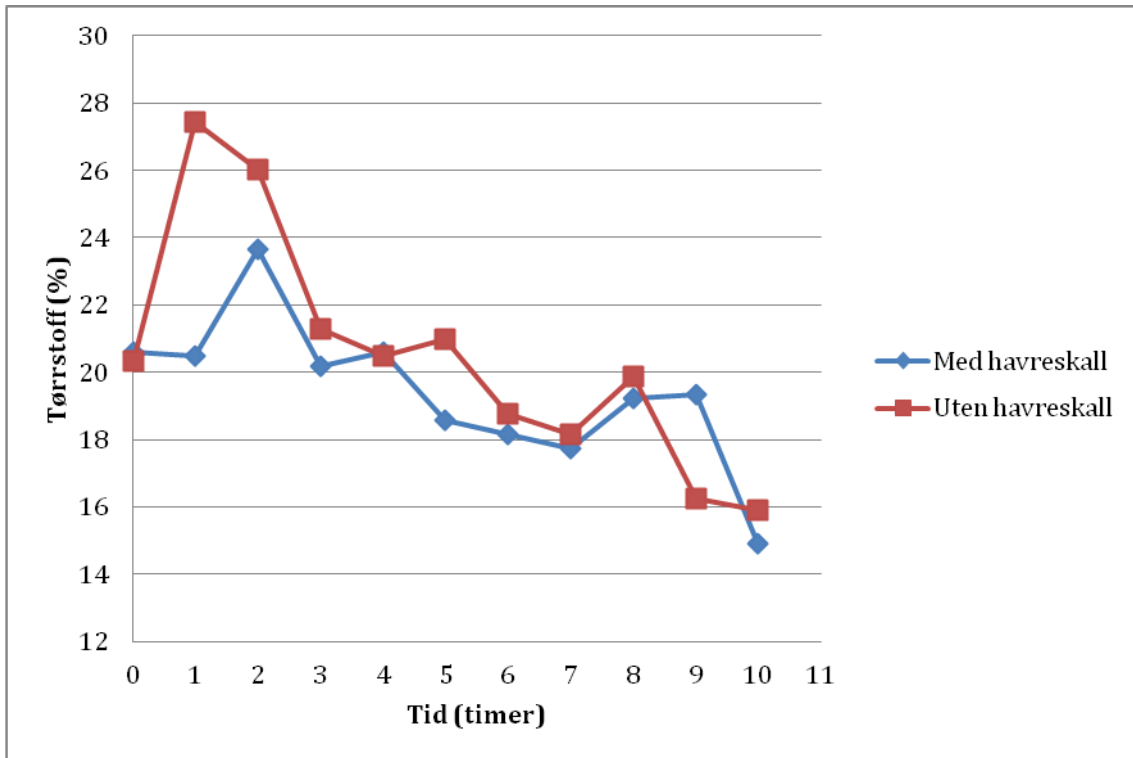


Figur 6. Vekt til tom blindsekk på ulike dissekjonstider etter fôrtildeling (tid 0).

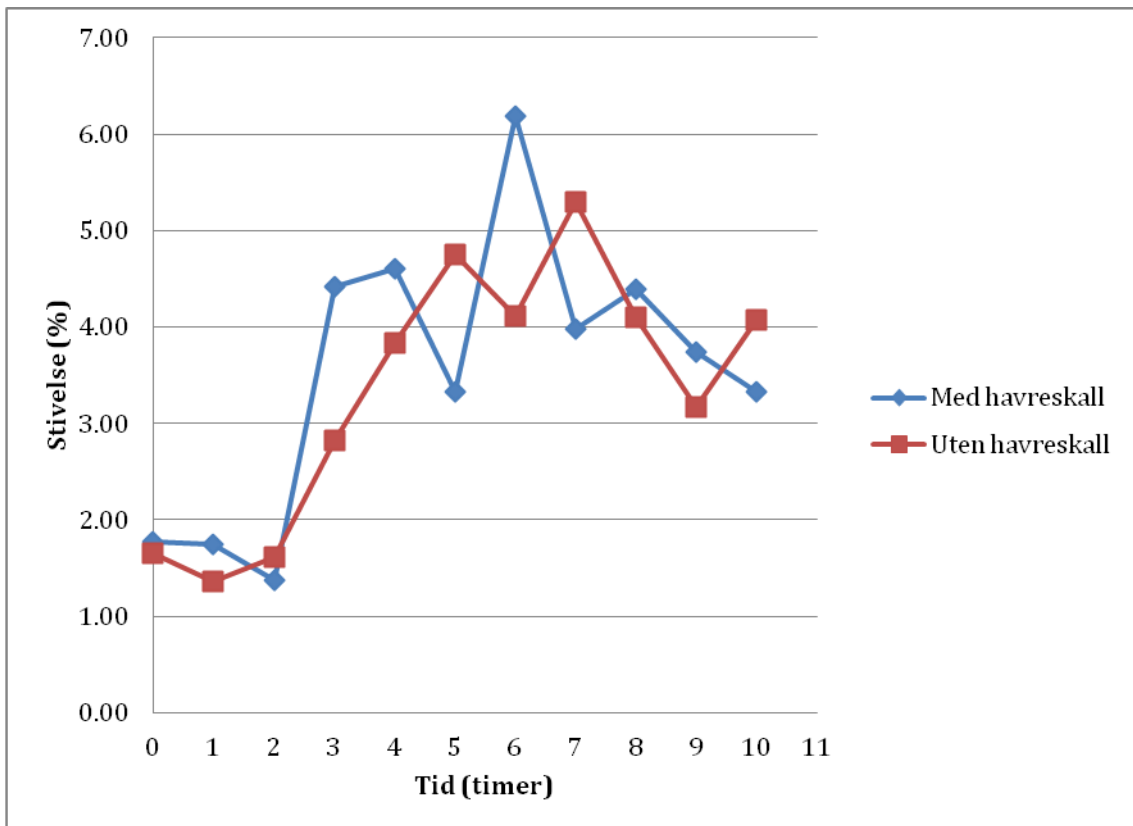
Type fôr og tid hadde ingen synlig effekt på våt og tørket innhold til blindsekken. Figur 7 viser at tørrstoffprosenten hadde en signifikant nedgang over tid ($P < 0,001$).

Tørrstoffprosenten var noe høyere når kyllingen fikk dietten av finmalt materiale ($P = 0,073$), og steg med rundt 7% den første timen etter fôrtildeling med fint strukturfôr.

Samspill av diett og tid hadde ingen virkning på blindtarm og innhold, men det var en signifikant effekt av tid på mengde stivelse i blindsekken ($P = 0,044$), som vist i figur 8. Denne stivelsesandelen i blindtarmen økte signifikant for begge diettene to timer etter fôrtildeling ($P < 0,001$). Diett alene hadde ikke noe effekt på prosentandelen av stivelse ($P > 0,05$), men det ble nådd et toppunkt ved 6,18%, seks timer etter tildeling av fôr med havreskall.

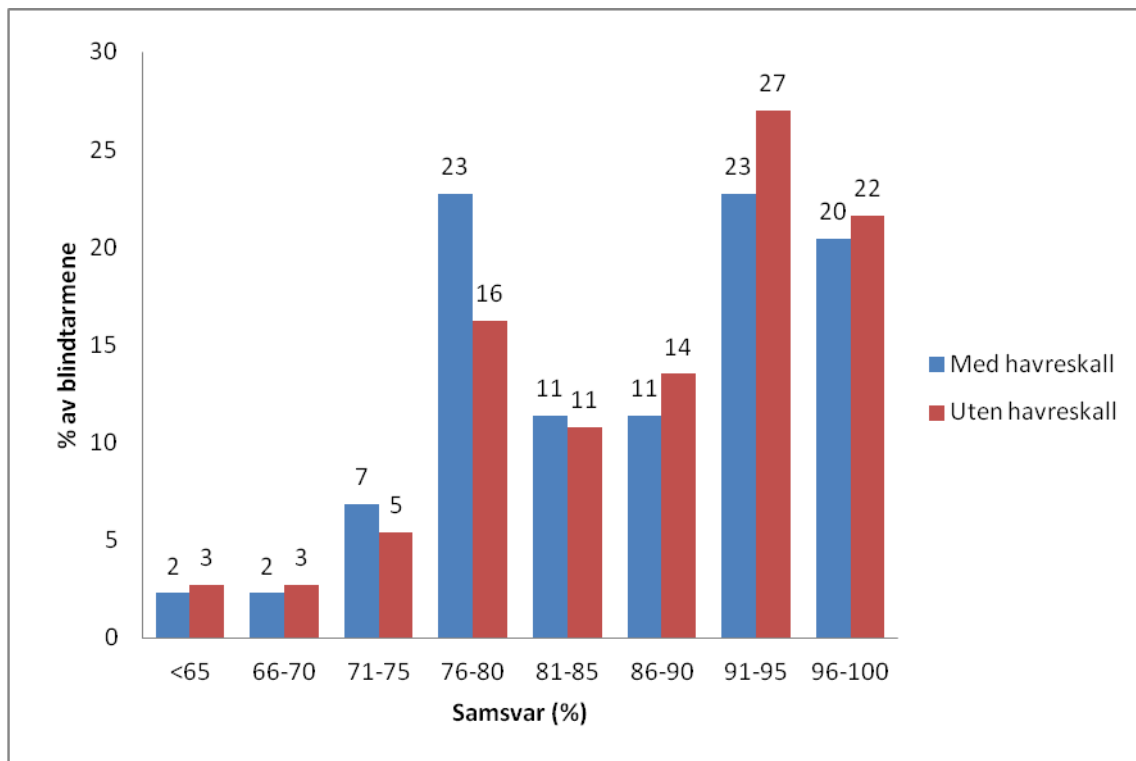


Figur 7. Tørrstoffinnhold i blindtarm i prosent ved ulike disseksjonstider etter fôrtildeling (tid 0).



Figur 8. Stivelsesinnhold i prosent på ulike disseksjonstider etter fôrtildeling (tid 0).

Fordelingen i figur 9 forteller at blindsekkene for en stor del av kyllingene samsvarte med hverandre i vekt med over 75%. Struktur i fôr hadde liten effekt på vekten, siden fordelingen mellom diettene er omtrent lik.



Figur 9. Likhet i vekt mellom de to tomme blindsekkene til hver kylling gitt i prosent.

Diskusjon

Forsøk 1 – Blindtarmsutvikling med alder

I perioden fra 1 til 34 dagers alder, gjennomgikk kyllingene en normal vekstutvikling (Tabell 1). Blindtarmen og tynntarmen vokste i takt med hverandre, som tydeliggjør at blindtarmen har lignende egenskaper som tynntarmen, ikke minst fordi overflatestrukturen til jejunum ligner på overflaten til blindtarmen (Ferrer et al. 1991). Blindtarm og blindtarmsinnhold, vist i prosent av levendevekt, utgjorde en stadig mindre del av kyllingens kroppsvekt gjennom vekstperioden. Tørrstoffandelen så ut til å holde seg relativt uendret når kyllingene var i vekst. Selv om mengden tørrstoff økte, så økte ikke prosentandelen, og det tyder på at blindtarmen sørger for et stabilt tørrstoffopptak gjennom hele veksten til kyllingen. Imidlertid var verdiene for tørrstoff noe høyere etter første leveuka og på dag 34. På dag 7 ble det målt en tørrstoffandel på 22,28%, som er noe uvanlig høyt sammenlignet med de andre tørrstoffverdiene. Dette kan ha hatt ulike årsaker: forskjellig sammensetning av oppvekstfôr og diettene, ad libitum-fôring versus måltidsfôring, alder, eller at seks kyllinger ikke er en representativ mengde og at resultatet dermed var tilfeldig. Den høye tørrstoffprosenten fra dag 34 er et gjennomsnitt fra resultatene fra forsøket, hvor kyllingene ble sultet i 16 timer. Dette forklares nærmere i Diskusjon, Forsøk 3 – Dag 34.

Forsøk 2 – Dag 21

På dag 21 ble det undersøkt om de ulike behandlingene hadde effekt på blindtarm og blindtarmsinnhold. Diettene viste å ikke ha noe signifikant effekt på vekten til full blindtarm i denne alderen. Grov struktur i fôret hadde ingen virkning. Sannsynligvis har adaptjonstiden på to uker ikke vært tilstrekkelig lang nok for blindtarmens tilpasning til en ny diett, noe som ble observert i forsøket til Longstaff et al. (1988). Flere undersøkelser har vist at vekten til full og tom blindtarm, og innhold var signifikant høyere når inntaket av grov struktur i fôr var stor (Longstaff et al. 1988; Józefiak et al. 2006; Rehman et al. 2008; Pulliainen & Tunkkari 1983). Det har også blitt funnet hos broilerkyllinger, at adaptjon til en ny diett varierte mellom 2-5 uker (Józefiak et al. 2006; Longstaff et al. 1988; Rehman et al. 2008). Faktisk så det ut som om finmalt fôr hadde en tendens til å øke vekten av tom blindtarm. Duke et al. (1984) viste at ved 6 og 30% andel cellulose i fôret, ble det funnet hhv. 4,5 og 12,4% i blindtarmene til fjellryper. Han antok at all cellulose i blindtarmsinnholdet ble komplett fermentert.

Fermenteringsforløpet kan dermed ha bidratt til at blindtarmsekkene utvidet seg og ble så noe tyngre hos kyllingene som fikk fint strukturfôr.

Kyllingene som ble måltidsfôret viste å ha en høyere mengde våt og tørt innhold i blindtarmene. Det så ut som at restriktiv fôring stimulerer til et høyere gjennomsnittlige vannopptak hos kyllingene, som ga en økt mengde vann. Resultatene fører til påstanden at kyllingene som spiste ad libitum hadde en mer stabil fordøyelse, hvor vannopptaket antakeligvis skjedde jevnlig. Dette ble ikke funnet i en sammenligning mellom ad libitum og måltidsfôrete kyllinger, hvor vannopptaket og vanninnhold i fordøyelsessystemet ikke viste noe forskjell (Pinchasov et al. 1987). En høyere mengde tørket blindtarmsinnhold kan ha vært et tegn på enten et bedre fungerende fordøyelsessystem, eller, det motsatte, at mer potensiell ufordøyd materiale kom inn i blindtarmene. Disse resultatene samsvarer ikke med funn til Warriss et al. (2004), som viste at blindtarmen til kyllinger er lite påvirket av når og hvor lenge fôr-og vannopptaket finner sted. Han observerte også at innhold, etter lengre tid med fasting, ble det i de fleste deler av tarmkanalen våtere, med unntak av i blindtarmen. Svihus et al. (2010) fant at kyllinger fôret restriktiv hadde en signifikant bedre fôrutnyttelse enn de som ble fôret ad libitum, selv om tilvekst per fôropptak ikke var vesentlig forskjellig blant behandlingene. Andre, som Svihus et al. (2012) og Sacranie et al. (2011), fant ingen stor forskjell på vekt, tilvekst og fôrinntak mellom måltidsfôrete og ad libitum fôrete kyllinger. Man kan dermed konkludere at fôringsregime har lite å si for hva og hvor mye som kommer inn i blindtarmen. Fytase viste å gi en signifikant lavere prosentandel tørrstoff i blindtarmen. Det kan hende at fytase har gitt en bedre fordøyelse i tarmsystemet, som førte til en mindre tørrstoffandel i blindtarmen. Men siden fytase ga våtere innhold i blindtarmen, og siden tørt innhold ikke var signifikant forskjellig for kyllingene fôret med og uten fytase, kan det påstås at fytase bidro til et høyere vannopptak i blindtarmen. Dette er en antagelse, som ikke kan diskuteres da det ikke ble funnet noen sammenlignbare resultater.

I vårt forsøk ble det gjennomført en unik analyse av partikkelstørrelse i blindtarmen hos 21 dag gamle kyllinger. Resultatene viste tydelig at grove strukturkomponenter ga en signifikant mindre partikkelstørrelse i blindtarmsinnholdet, hovedsakelig gjennom redusert mengde store partikler. Det ble funnet at 50% av partiklene hadde en størrelse på under 20 μ m. Det betyr at partiklene var omtrent på størrelse med stivelsesgranuler til hvetestivelse (Svihus et al. 2005). Havreskall i fôret økte andelen av små partikler i blindtarmen. Partiklene som lå over 50% (D05) av samlet partikkelvolum, ga signifikant størst forskjell mellom grov og fin struktur. Gjennomsnittsstørrelsen til partiklene hos kyllinger fôret med havreskall var på 26,6 μ m, mens

partikkelstørrelsen for finmalt fôr lå rundt 31,2µm. Dette kan tyde på at grov struktur i fôr økte andelen partikler av liten størrelse, som ikke ble fordøyd, for eksempel ved at fiber ble mer finmalt og dermed passerte inn i blindtarmen. Liknende funn ble oppdaget av Hetland et al. (2002), når han undersøkte effekten av hel hvete, havre og bygg på partikkelstørrelsesfordelingen i innhold til duodenum. Han fant at opptil 50% av partiklene var mindre enn 40µm. Et tillegg av hel og malt bygg- eller havrekorn ga høyest andel av små partikler, sammenlignet med malt hvete. Man antok at en høyere andel små partikler kunne relateres til skallfraksjonen i bygg og havre, hvor de ikke-vannløselige fibre i skallet hadde en økende effekt på maling i kråsen. Forsøksresultatene i vårt forsøk fører til antagelsen at havreskall kan ha bidratt til en høyere malingsaktivitet og bedre muskulutvikling av kråsen. Den sterke veggstrukturen i havreskall kan så ha økt kråsens evne til å male mer effektivt, som resulterte i finmalte små partikler (Svihus 2011; Gjevre et al. 2009), og medvirket til denne fordelingen av partikkelstørrelsen. I funn til Hetland et al. (2003) derimot viste havreskall i hvetebasert diett, ingen tydelig effekt på å redusere partikkelstørrelse i duodenum, bare ved et tillegg av grit. Han konkluderte med at alle partiklene ble malt til en kritisk størrelse, før de forlot kråsen.

Forsøk 3 – Dag 34

Vekten til full blindtarm (Figur 5) og vekten til våt og tørt innhold (data ikke vist) viste ingen signifikante forandring etter 16 timers sulte, sammenlignet med dataene tatt 9 timer etter fôring. Dette kan bekreftes med funn til Warriss et al. (2004), som fant etter en 12 timers sulteperiode ingen forskjell i forhold til innhold 2 timer etter fôrfradraget. Han konstaterte med at fôrfradrag i mer enn 12 timer vil være enda mindre effektivt i å klarne noen deler av tarmen, særlig blindtarmen og kolon. Forsøket til Hinton et al. (2000) ga liknende resultater, hvor vekten til full blindtarm forble upåvirket etter sulte i 12 og 24 timer.

Interessant var at grovt strukturfôr stimulerte til både økt størrelse og fylling av blindtarmen. I vårt forsøk ga et tillegg av havreskall i fôret 16,7% høyere vekt for tom blindtarmsekk, enn ved finmalt fôr. Dette stemmer overens med funn til Rougère & Carré (2010) som fant tendensen til økt vekt (11,5%) ved å ha tilsatt 15% skall fra solsikkefrø. Andre forskere har funnet hos hønsefugler, som kalkun og liryper, at blindtarmene blir større når fôret inneholder mye fiber (Fenna & Boag 1974; Gasaway 1976b; Pulliainen & Tunkkari 1983). Vekten til de tomme blindsekkene endret seg også signifikant med timene etter fôring. Grunnen til denne utviklingen, som skjedde bare over noen timer, er vanskelig å forklare. Tidligere funn hos kyllinger viste at blindtarmens tilpasning til en ny diett skjer i et tidsrom mellom 2-5 uker

(Longstaff et al. 1988; Rehman et al. 2008; Józefiak et al. 2006). Det kan tenkes at individforskjeller innen gruppene spilte inn og/eller at vekten differensierte seg pga. den lange perioden uten fôrtilgang. Dette kan ha gitt ulike grader av dehydrering og hydrering hos de enkelte blindsekkene.

Kyllingene tildelt fôr med eller uten havreskall viste å ha en høy tørrstoffandel i blindtarmsinnholdet, selv 16 timer uten fôr. Forskere Warriss et al. (2004) og Hinton et al. (2000) fant i forsøk med slaktekyllinger at vanninnholdet i blindtarmen og vekten til våt blindtarmsinnhold ikke forandret seg bemerkelsesverdig etter fôr- og/eller vannfradrag i 24 timer. Dette viser at blindtarmer sannsynligvis vil spille en sentral rolle når fugler har begrenset eller ingen tilgang til fôr eller vann (McNab 1972). Det kan tenkes at denne mekanismen til blindtarmene er til for å kompensere næringsstofftapet, ved å reabsorbere mest mulig vann og holde på innholdet lengst mulig. I tidligere forsøk har blindtarmsfjerning vist å føre til en høyere vannutskillelse, noe som bekrefter viktigheten av blindtarmen for vannabsorpsjon (Son & Karasawa 2000; Son et al. 2002; Thomas & Skadhauge 1989). Etter 16 timer sulte fant vi 20% tørrstoff igjen i blindtarmen. Liknende funn gjorde Warriss et al. (2004), når han fant mindre vann i blindtarmene etter 12 timer med fôrfradrag, som resulterte i et tørrer blindtarmsinnhold. Fôrtildelingen etter 16 timer uten fôr ga en tydelig nedgang av tørrstoffinnholdet ($P < 0,001$). Like etter fôring økte tørrstoffinnholdet, hvor tilgang til nytt fôrsubstrat kan ha vært årsaken. Etter denne oppgangen begynte tørrstoffandelen å normalisere seg og la seg på samme nivå, som ved jevnlig fôrtildeling i hele forsøksperioden (rundt 14% tørrstoff; Tabell 4). Det kan tenkes at fôring stimulerte til opptak av mer vann hos kylling, som økte vanninnholdet i blindtarmene og ga en mindre tørrstoffandel. Som nevnt økte tørrstoffet med 7% i den første timen etter fôring hos kyllinger med fint strukturfôr. Det ser ut som at partiklene kom seg raskere gjennom fordøyelseskanalen og inn i blindtarmen, hos kyllinger med underutviklet krås. Det kan tenkes at kyllinger med god utviklet krås, holdt på de store og grove partikler i fôret så lenge, at de ble malt til en viss størrelse og passerte videre (Hetland & Svihus 2001).

Målingene tatt etter 16 timer med sulte viste 1,7% stivelse i blindtarmen hos kyllingene. Dette stemmer overens med funn til Gjevre et al. (2009), hvor hun undersøkte stivelsesandelen i ileum hos kyllinger, som fikk 5% havreskall i en hvetediett. Forsøksrapporten til Gjevre et al. (2009) inneholdt ikke noe informasjon over hvor mange timer som lå mellom siste fôring og prøveuttaket. I vårt forsøk økte stivelsesinnhold tre timer etter fôrtildeling for begge diettene. Det kunne dokumenteres at stivelsesnivået holdt seg oppe i 7 timer. Det kan formodes at

stivelsesmengden avtok i de neste 6 timer, og nådde samme prosent som målt ved starttiden av forsøket (Ø 1,7% stivelse). Det tyder på at stivelse, under visse forhold, kan bli redusert av den mikrobielle populasjonen i blindtarmen og andre deler av den nedre fordøyelseskanalen, når det ikke fordøyes i tynntarmen (Svihus et al. 2012). Siden stivelse i ileum ble funnet å være av samme mengde som målt i blindtarmen, kan dette påstås å være korrekt. Denne antagelsen bør undersøkes ved å sammenligne stivelsesinnholdet i blindtarmen med stivelse i ileum fra den andre delen i dette forsøket. Hetland & Svihus (2001) foreslår at havreskall i dietten øker fordøyelsen av stivelse. Flere forsøk støtter hypotesen om at grov struktur kan ha en gunstig effekt på stivelsesfordøyelighet som følge av økt kråsakktivitet (Hetland et al. 2002; Svihus & Hetland 2001). I vårt forsøk ble det ikke funnet noe forskjell i stivelsesinnhold hos blindtarmene for dietter med grov eller fin struktur. Havreskall økte ikke stivelsesopptaket i blindtarmene, men det framgår av figuren, at stivelse hadde en noe raskere stigning når kyllingene fikk tildelt fint strukturfôr (Figur 8). Forklaringen kan ligge i en kortere oppholdstid i fordøyelseskanalen hos kyllingene fôret på finmalt fôr. Det er blitt vist at økt tilgang til ufordøyelig fiber fører til tilbakestrømming av innhold fra duodenum til krås (Hetland et al. 2003), som i vårt forsøk førte til å øke oppholdstiden av fôret med havreskall (Sacranie et al. 2011), mens det finmalte fôret kom seg raskere gjennom fordøyelseskanalen. Dette kan ha vært årsaken til at stivelse nådde tidligere inn i blindtarmen.

I dette forsøket ble det sammenlignet vekten mellom høyre og venstre tom blindtarm. Det ble funnet at 87% av blindtarmspar hadde blindsekker, som lignet hverandre med over 75%. Det kan dermed sies at to blindtarmer til en kylling vil være av omtrent lik størrelse og lengde (Clench & Mathias 1995). På grunn av ulik fremstilling av resultatene i forskjellige forsøk, er det vanskelig å sammenligne effekten av ulike behandlinger på vekt til blindtarm og -innhold. For eksempel presenterte Pulliainen & Tunkkari (1983) lengden av blindtarmen som en samlet lengde av de to blindsekkene. På samme måte viste Longstaff et al. (1988) resultat av vekt og lengde av blindtarmen, og brukte vekten som sum av begge blindsekkene. Det ble rapportert at blindtarmene ikke alltid er like, først og fremst ved sammenligning av ulike fuglearter (McLelland 1989; Clench & Mathias 1995; McNab 1972). Det forekommer også abnormiteter. Clench & Mathias (1995) henviser til Peckham (1965) som fant hos en høne bare én eksisterende blindtarm, med todelt tupp. I vårt forsøk ble det også funnet en slaktekylling med bare én blindtarm (Figur 4, bilde c), men det kunne ikke sees noe delt tupp. Det som er interessant er at vekten til denne differensierte seg ikke fra vekten til andre blindtarmspar (data ikke vist). Det ser ut som at én blindtarm kan overta funksjonene til to.

Dette bekræfter at blindtarmen er tilpasningsdyktig og uøver en viktig rolle i fordøyelsen til kyllinger.

Konklusjon

Det kunne vises at grov struktur i fôret førte til noen forandringer i blindtarmen hos slaktekylling. Det ble funnet at flere partikler av mindre størrelse entret blindtarmen når kyllingene ble fôret med grovt strukturfôr. Vekten til tom blindsekk ble påviselig tyngre fire uker etter bytte til dietten med havreskall.

Selv om måltidsfôring viste å ha en økende effekt på mengde innhold, så var blindtarmen relativt lite påvirket av fôringsregime og fôrfradrag. De små forandringene i innholdet etter 16 timer sulte viser at blindtarmen er et stabilt organ, som prøver å holde funksjonene på et bestemt nivå. Blindtarmen spiller sannsynligvis en viktig rolle når kyllinger opplever tider med lite eller intet fôr. Det kan være interessant å undersøke blindtarmens funksjon som et ”back-up”organ i perioder når kyllinger blir utsatt for ulike arter av stress.

Mengde innhold i blindtarmen virket relativt uberørt av de ulike diettene og fôrfradraget. Det ble påvist at noe stivelse entrer blindtarmen, men stivelsesandelen ble ikke påvirket av grov eller fin struktur. Fytase derimot hadde en økende effekt på vanninnholdet i blindtarmen. Årsaken til dette bør undersøkes nærmere i fremtidige forskning.

Litteraturliste

- Ahmad, F. et al., (2011) Effect of Different Light Intensities on the Production Performance of Broiler Chickens. *Pakistan Veterinary Journal*: 31 (3): 203–206.
- Akester, A.R. et al., (1967) A RADIOGRAPHIC STUDY OF URINE FLOW IN THE DOMESTIC FOWL. : 209–215.
- Del Alamo, G.A. et al., (2009) Wheat starch digestion rate in broiler chickens is affected by cultivar but not by wheat crop nitrogen fertilisation. *British poultry science*: 50 (3): 341–349. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19637034> [Accessed April 10, 2013].
- Appleby, M.C., Mench, J.A. & Hughes, B.O., (2004) Perceptions of Welfare. In *Poultry Behaviour and Welfare*. Oxfordshire :CABI, 118–129.
- Aviagen, (2012) Ross 308 Broiler: Performance Objectives. *Avigan*: 1–24. Available at: www.avigan.com.
- Aviagen Group, (2007) Ross 308 Broiler: Nutrition Specification 2007. : (June).
- Barash, I., Nitsan, Z. & Nir, I., (1993) Adaption of light-bodied chicks to meal feeding: Gastrointestinal tract and pancreatic enzymes. *British Poultry Science*: 34 : 35–42.
- Björnhag, G., (1989) Transport of Water and Food Particles Through the Avian ceca and Colon. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 32–37.
- Björnhag, G. & Sperber, I., (1977) Transport of Various Food Components through the Digestive Tract of Turkeys, Geese and Guinea Fowl. *Swedish Journal agriculture Research*: 7 : 57–66.
- Braun, E.J. & Campbell, C.E., (1989) Uric Acid Decomposition in the Lower Gastrointestinal Tract. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 70–74.
- Buyse, J. et al., (1993) Diurnalnocturnal changes in food intake, gut storage of ingesta, food transit time and metabolism in growing broiler chickens: A model for temporal control of energy balance. *British Poultry Science*: 34 : 699–709.
- Buyse, J. et al., (1996) Effect of intermittent lighting, light intensity, and source on the performance and welfare of broilers. *World's Poultry Science Journal*: 52 : 121–130.
- Buyse, J., Decuyper, E. & Michels, H., (1994) Intermittent lighting and broiler production. 1.Effect on female broiler performance. *Archiv für Geflügelkunde*: 58 (2): 69–74.
- Carré, B., Gomez, J. & Chagneau, A.M., (1995) Contribution of oligosaccharide and polysaccharide digestion, and excreta losses of lactic acid and short chain fatty acids, to dietary metabolisable energy values in broiler chickens and adult cockerels. *British Poultry Science*: 36 : 611–629.

- Chaplin, S.B., (1989) Effect of Cecectomy on Water and Nutrient Absorption of Birds. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 81–86.
- Clarke, P.L., (1978) THE STRUCTURE OF THE ILEO-CAECO-COLIC JUNCTION OF THE DOMESTIC FOWL (GALLUS GALLUS L.). *British Poultry Science*: 19 : 595–600.
- Clench, M.H., (1999) The Avian Cecum : Update and Motility Review. *Journal of Experimental Zoology*: 283 : 441–447.
- Clench, M.H. & Mathias, J.R., (1995) The Avian Cecum: A Review. *The Wilson Bulletin*: 107 (1): 93–121.
- Dantzer, V., (1989) Ultrastructural Differences Between the Two Major Components of Chicken Ceca. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 21–31.
- Decuypere, E. et al., (1994) Increased sensitivity to triiodothyronine (T3) of broiler lines with a high susceptibility for ascites. *British Poultry Science*: 35 : 287–297.
- Duke, G. E., (1986a) Alimentary canal: anatomy, regulation of feeding, and motility. In D. Sturkie, ed. *Avian physiology*. New York :Springer-Verlag, 269–288.
- Duke, G. E., (1986b) Alimentary canal: secretion and digestion, special digestive functions, and absorption. In P. D. Sturkie, ed. *Avian physiology*. New York :Springer-Verlag, 289–302.
- Duke, Gary E. et al., (1984) Cellulose Digestion by Domestic Turkeys Fed Low or High Fiber Diets. *The Journal of Nutrition*: 114 : 95–102.
- Duke, Gary E., (1989) Relationship of Cecal and Colonic Motility to Diet, Habitat, and Cecal Anatomy in Several Avian Species. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 38–47.
- Duke, Gary E., Evanson, O.A. & Huberty, B.J., (1980) Electrical Potential Changes and Contractile Activity of the Distal Cecum of Turkeys. *Poultry Science Association, Inc.*: 59 : 1925–1934.
- Eriksson, J. et al., (2008) Identification of the yellow skin gene reveals a hybrid origin of the domestic chicken. *PLoS genetics*: 4 (2): 1–8. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2265484&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed March 19, 2013].
- Fenna, L. & Boag, D.A., (1974) Filling and emptying of the galliform caecum. *Canadian Journal of Zoology*: 52 : 537–540.
- Ferrando, C. et al., (1987) Study of the rate of passage of food with chromium-mordanted plant cells in chickens (*Gallus gallus*). *Quarterly journal of experimental physiology (Cambridge, England)*: 72 : 251–259. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3628694>.

- Ferrer, R. et al., (1991) Morphological study of the Caecal epithelium of the chicken (*Gallus Gallus Domesticus* L.). *British Poultry Science*: 32 : 679–691.
- Gasaway, W.C., (1976a) CELLULOSE DIGESTION AND METABOLISM BY CAPTIVE ROCK PTARMIGAN. *Comparative Biochemistry and Physiology*: 54A : 179–182.
- Gasaway, W.C., (1976b) SEASONAL VARIATION IN DIET, VOLATILE FATTY ACID PRODUCTION AND SIZE OF THE CECUM OF ROCK PTARMIGAN. *Comparative Biochemistry and Physiology*: 53A : 109–114.
- Gjefsen, T., (1995) *Fôringsslære* 2.utg. utg., Oslo :Landbruksforlaget
- Gjevre, A.-G. & Griffith, D., (2002) Anatomy og Fysiologi. In M. F. Bagley, ed. *Fjørfeboka*. Oslo :Fagsenteret for Fjørfe og Landbruksforlaget, 27–68.
- Gjevre, A.-G., Kaldhusdal, M. & Hetland, Harald, (2009) Effekt av fiber på kråsbetennelse og fordøyelse hos slaktekylling. In *Husdyrforsøksmøte 2009*. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, 2009, 131–134.
- Goldstein, D.L., (1989) Absorption by the Cecum of Wild Birds: Is There Interspecific Variation. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 103–110.
- Gracia, M.I. et al., (2003) Heat Processing of Barley and Enzyme Supplementation of Diets for Broilers. *Poultry science*: 82 : 1281–1291. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12943299>.
- Havenstein, G.B., Ferket, P.R. & Qureshi, M. a, (2003) Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science Association, Inc.*: 82 : 1500–1508. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14601725>.
- Hetland, H. & Svihus, B., (2001) Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *British Poultry Science*: 42 : 354–361.
- Hetland, H., Svihus, B. & Krogdahl, A., (2003) Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. *British poultry science*: 44 (2): 275–282. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12828213> [Accessed March 20, 2013].
- Hetland, H., Svihus, B. & Olaisen, V., (2002) Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens. *British poultry science*: 43 (3): 416–23. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12195801> [Accessed March 13, 2013].
- Hill, K.J., (1971) The structure of the alimentary tract. In D. J. Bell & B. M. Freeman, eds. *Physiology and biochemistry of the domestic fowl*. London :Academic press, 1–23.
- Hinton, A., Buhr, R.J. & Ingram, K.D., (2000) Physical , Chemical , and Microbiological Changes in the Ceca of Broiler Chickens Subjected to Incremental Feed Withdrawal. *Poultry Science Association, Inc.*: 79 : 483–488.

- Ingerø, K.F., (2013) Slaktestatistikker 2010, 2011 og 2012. *Fjørfe Nr.2*: 22–23.
- Jamroz, D. et al., (2002) Digestibility and energy value of non-starch polysaccharides in young chickens, ducks and geese, fed diets containing high amounts of barley. *Comparative Biochemistry and Physiology*: 131 : 657–668.
- Janssen, Patrick W. M. et al., (2009) Spatiotemporal mapping of the motility of the isolated chicken caecum. *Journal of Comparative Physiology B*: 179 : 593–604. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19194713> [Accessed March 7, 2013].
- Jozefiak, D. et al., (2011) Dietary divercin modifies gastrointestinal microbiota and improves growth performance in broiler chickens. *British Poultry Science*: 52 (4): 492–499.
- Józefiak, D. et al., (2010) Effect of β -glucanase and xylanase supplementation of barley- and rye-based diets on caecal microbiota of broiler chickens. *British Poultry Science*: 51 (4): 546–557.
- Józefiak, D. et al., (2006) The effect of beta-glucanase supplementation of barley- and oat-based diets on growth performance and fermentation in broiler chicken gastrointestinal tract. *British Poultry Science*: 47 (1): 57–64.
- Józefiak, D., Rutkowski, A. & Martin, S., (2004) Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. *Animal Feed Science and Technology*: 113 : 1–15. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840103002943> [Accessed March 4, 2013].
- Julian, R.J., (1993) Ascites in poultry. *Avian Pathology*: 22 : 419–454.
- Jørgensen, B.H. et al., (1996) The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract , digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *British Poultry Science*: 75 : 379–395.
- Kathle, J., (2002) Fjørfeets atferd, Dyrevelferd i moderne fjørfehold. In M. F. Bagley, ed. *Fjørfeboka*. Oslo :Fagsenteret for Fjørfe og Landbruksforlaget, 149–174.
- Klasing, K.C., (2005) Poultry Nutrition : A Comparative Approach. *Poultry Science Association, Inc.*: 14 : 426–436.
- Lentle, R. G. & Janssen, P. W. M., (2008) Physical characteristics of digesta and their influence on flow and mixing in the mammalian intestine : a review. *Journal of Comparative Physiology B*: 178 (Springer-Verlag): 673–690.
- Longstaff, M.A., Knox, A. & McNab, J.M., (1988) DIGESTIBILITY OF PENTOSE SUGARS AND URONIC ACIDS AND THEIR EFFECT ON CHICK WEIGHT GAIN AND CAECAL SIZE. *British Poultry Science*: 29 : 379–393.
- Mahdi, A.H. & McLelland, J., (1988) The arrangement of the muscle at the ileo-caeco-rectal junction of the domestic duck (*Anas platyrhynchos*) and the presence of the anatomical sphincters. *Journal of Anatomy*: 161 : 133–142.

- Maisonnier, S. et al., (2001) Analysis of variability in nutrient digestibilities in broiler chickens. *British Poultry Science*: 42 : 70–76.
- Malvern, Hydro 2000G. Available at:
http://www.malvern.com/labeng/products/mastersizer/ms2000/hydro_g.htm [Accessed May 12, 2013].
- Marounek, M., Suchorska, O. & Savka, O., (1999) Effect of substrate and feed antibiotics on in vitro production of volatile fatty acids and methane in caecal contents of chickens. *Animal Feed Science and Technology*: 80 : 223–230.
- Marron, L., Bedford, M.R. & McCracken, K.J., (2001) The effects of adding xylanase, vitamin C and copper sulphate to wheat-based diets on broiler performance. *British poultry science*: 42 : 493–500. Available at:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11572625> [Accessed April 10, 2013].
- McLelland, John, (1989) Anatomy of the avian cecum. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 2–9.
- McNab, J.M., (1972) The avian ceca: A review. *World's Poultry Science Journal*: 29 : 251–263.
- Mead, G.C., (1989) Microbes of the Avian Cecum: Types Present and Substrates Utilized. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 48–54.
- Moss, R., (1989) Gut Size and the Digestion of Fibrous Diets by Tetraonid Birds. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: (3): 61–65.
- Nortura, Nortura Samvirkekylling. *Fjørfe*. Available at:
https://medlem.nortura.no/fjorfe/nortura_samvirkekylling/ [Accessed March 20, 2013].
- Pinchasov, Y., Nir, I. & Nitsan, Z., (1987) Water intake and water concentration in the body and gastrointestinal tract of intermittently fed broiler chickens. *British Poultry Science*: 28 (2): 287–294.
- Pulliainen, E. & Tunkkari, P., (1983) Seasonal changes in the gut length of the willow grouse (*Lagopus lagopus*) in Finnish Lapland. *Annales Zoologici Fennici*: 20 : 53–56.
- Redig, P.T., (1989) The Avian Ceca: Obligate Combustion Chambers or Facultative Afterburners? - The Condition Influence of Diet. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 66–69.
- Rehman, H., Böhm, J. & Zentek, J., (2008) Effects of differentially fermentable carbohydrates on the microbial fermentation profile of the gastrointestinal tract of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*: 92 : 471–480.
- Rezvani, M. et al., (2007) Studies on the effect of age and caecectomy on amino acid excretion and digestibility in laying hens. *Archiv für Geflügelkunde*: 71 (6): 241–246.

- Richards, M.P. & Proszkowiec-Weglarz, M., (2007) Mechanisms regulating feed intake, energy expenditure, and body weight in poultry. *Poultry science*: 86 : 1478–1490. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17575199>.
- Rougière, N. & Carré, B., (2010) Comparison of gastrointestinal transit times between chickens from D 1 and D 2 genetic lines selected for divergent digestion efficiency. *Animal*: 4 (11): 1861–1872.
- Sacranie, A. et al., (2011) The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *TBC Poultry Science Association, Inc.*: 1–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22334745> [Accessed March 20, 2013].
- Son, J. H, Ragland, D. & Adeola, O., (2002) Quantification of digesta flow into the caeca. *British Poultry Science*: 43 : 322–324.
- Son, J. H. & Karasawa, Y., (2000) Effect of removal of caecal contents on nitrogen utilisation and nitrogen excretion in caecally ligated chickens fed on a low protein diet supplemented with urea Effect of removal of caecal contents on nitrogen utilisation and nitrogen excretion in caecal. *British Poultry Science*: 41 : 69–71.
- Son, J. H., Karasawa, Y. & Nahm, K.H., (2000) Effect of caecectomy on growth , moisture in excreta , gastrointestinal passage time and uric acid excretion in growing chicks. *British Poultry Science*: 41 : 72–74.
- Sorvari, R., Naukkarinen, A. & Sorvari, T.E., (1977) Anal Sucking-like Movements in the Chicken and Chick Embryo Followed by the Transportation of Environmental Material to the Bursa of Fabricius, Caeca and Caecal Tonsils. *Poultry Science Association, Inc.*: 56 : 1426–1429.
- Strong, T.R., Reimer, P.R. & Braun, E.J., (1989) Avian Cecal Microanatomy: A Morphometric Comparison of Two Species. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 10–20.
- Svihus, B et al., (1997) Comparison of performance and intestinal characteristics of broiler chickens fed on diets containing whole, rolled or ground barley. *British poultry science*: 38 (5): 524–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9510997>.
- Svihus, B. et al., (2004) Causes for improvement in nutritive value of broiler chicken diets with whole wheat instead of ground wheat. *British Poultry Science*: 45 (1): 55–60. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00071660410001668860> [Accessed March 20, 2013].
- Svihus, B., Lund, V.B., et al., (2012) Effect of intermittent feeding, structural components and phytase on performance and behaviour of broiler chickens. *British Poultry Science*: Accepted, but not published yet.
- Svihus, B., (2002) Metodespesifikasjon: Stivelse i kornprodukter/gjødsel/vom-og tarminnhold. *Institutt for husdyr-og akvakulturvitenskap*. Available at: http://www.umb.no/statisk/iha/labtek/msp_st.pdf [Accessed May 12, 2013].

- Svihus, B. et al., (2010) Nutrient utilization and functionality of the anterior digestive tract caused by intermittent feeding and inclusion of whole wheat in diets for broiler chickens. *Poultry science*: 89 : 2617–25. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21076099> [Accessed March 13, 2013].
- Svihus, B., (2001) Research note: a consistent low starch digestibility observed in pelleted broiler chicken diets containing high levels of different wheat varieties. *Animal Feed Science and Technology*: 92 : 45–49. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840101002516>.
- Svihus, B., (2011) The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*: 67 (02): 207–224. Available at: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0043933911000249 [Accessed March 20, 2013].
- Svihus, B., Choct, M. & Classen, H.L., (2012) Function and nutritional roles of the avian caeca: A review. : 1–28.
- Svihus, B. & Hetland, H., (2001) Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat-based diet is improved by mash feeding , dilution with cellulose or whole wheat inclusion. *British Poultry Science*: 42 : 633–637.
- Svihus, B., Uhlen, a. K. & Harstad, O.M., (2005) Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*: 122 (3-4): 303–320. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840105000921> [Accessed March 20, 2013].
- Svihus, Birger, (2011) Effekt av måltidsfôring av slaktekyllinger på fôrutnyttelse og tilvekst. In *Husdyrforsøksmøte 2011*. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap. Available at: <http://www.umb.no/statisk/husdyrforsoksmoter/2011/113.pdf>.
- Thomas, D.H., (1982) SALT AND WATER EXCRETION BY BIRDS: THE LOWER INTESTINE AS AN INTEGRATOR OF RENAL AND INTESTINAL EXCRETION. *Comparative Biochemistry and Physiology*: 71A (4): 527–535.
- Thomas, D.H. & Skadhauge, E., (1989) Water and Electrolyte Transport by the Avian Ceca. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*: 3 : 95–102.
- Torok, V.A. et al., (2008) Application of methods for identifying broiler chicken gut bacterial species linked with increased energy metabolism. *Applied and environmental microbiology*: 74 (3): 783–791. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2227708&tool=pmcentrez&endertype=abstract> [Accessed April 26, 2013].
- Torok, V.A. et al., (2011) Influence of antimicrobial feed additives on broiler commensal posthatch gut microbiota development and performance. *Applied and environmental microbiology*: 77 (10): 3380–3390. Available at:

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3126468&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed April 12, 2013].

Vergara, P. et al., (1989) FACTORS DETERMINING GASTROINTESTINAL TRANSIT TIME OF SEVERAL MARKERS IN THE DOMESTIC FOWL. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*: 74 : 867–874. Available at: ep.physoc.org.

Warriss, P.D. et al., (2004) Defaecation and weight of the gastrointestinal tract contents after feed and water withdrawal in broilers. *British Poultry Science*: 45 (1): 61–66. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0007166041668879> [Accessed April 10, 2013].

Yu, B. et al., (1998) Effect of different sources of dietary fibre on growth performance , intestinal morphology and caecal carbohydrases of domestic geese Effect of different sources of dietary fibre on growth performance , intestinal morphology and caecal carbohydrases of. *British Poultry Science*: 39 : 560–567.

Zimonja, O. & Svihus, B., (2009) Effects of processing of wheat or oats starch on physical pellet quality and nutritional value for broilers. *Animal Feed Science and Technology*: 149 (3-4): 287–297. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840108002307> [Accessed March 20, 2013].