

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben die Bodenhaltung und die Freilandhaltung von Legehennen zugenommen. Diese Haltungsformen begünstigen Wurminfektionen und können die Prävalenz stark erhöhen. Die Besiedlung mit Darmparasiten beeinträchtigt die Tiergesundheit und vermindert die Leistungen. Den Nematoden *Ascaridia galli* und *Heterakis gallinarum* kommt dabei große Bedeutung zu (KEUTGEN et al., 1999; PERMIN et al., 1999; RUFF, 1999; ZELLER, 1990).

Das Interesse, einem Parasitenbefall über die Fütterung präventiv zu begegnen, ist in geflügelhaltenden Betrieben stark gestiegen. Untersuchungen an Schweinen zeigen, dass die Nematodenbesiedlung durch Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) des Futters beeinflusst werden kann (PEARCE, 1999; PETKEVICIUS et al., 2001; PETKEVICIUS et al., 2003; PETKEVICIUS et al., 2007). Für Geflügel liegen keine entsprechenden Ergebnisse vor.

Der vorliegenden Arbeit liegen Stoffwechselversuche an wachsenden Junghennen zugrunde. Es kamen Futtermischungen ohne und mit NSP-Zulagen zum Einsatz. Als Quelle unlöslicher NSP dienten Erbsenschalen und als Quelle löslicher NSP inulinreiches Zichorienwurzelmehl. Jede Futtermischung wurde an nicht infizierte und an experimentell mit *A. galli* oder *H. gallinarum* infizierte Tiere gefüttert. Mit dieser Versuchsanstellung sollten die Wirkungen der NSP und der Infektionen sowie der Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Versuchsfaktoren auf Verdauungsprozesse untersucht werden, um damit auch zu prüfen, ob die gewählten NSP-Träger Möglichkeiten zur Minderung der Parasitenentwicklung im Intestinaltrakt des Hühnergeflügels bieten.

2.1 Nicht-Stärke-Polysaccharide

Als Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) werden alle Polysaccharide bezeichnet, die vorwiegend in den Zellwänden von Pflanzen vorkommen und die nicht der Stärke zuzuordnen sind. Dem tierischen Organismus fehlen körpereigene Enzyme zum Abbau von NSP (JEROCH et al., 2008). Eine Übersicht über die Gruppe der NSP liefert die folgende Abbildung 1.

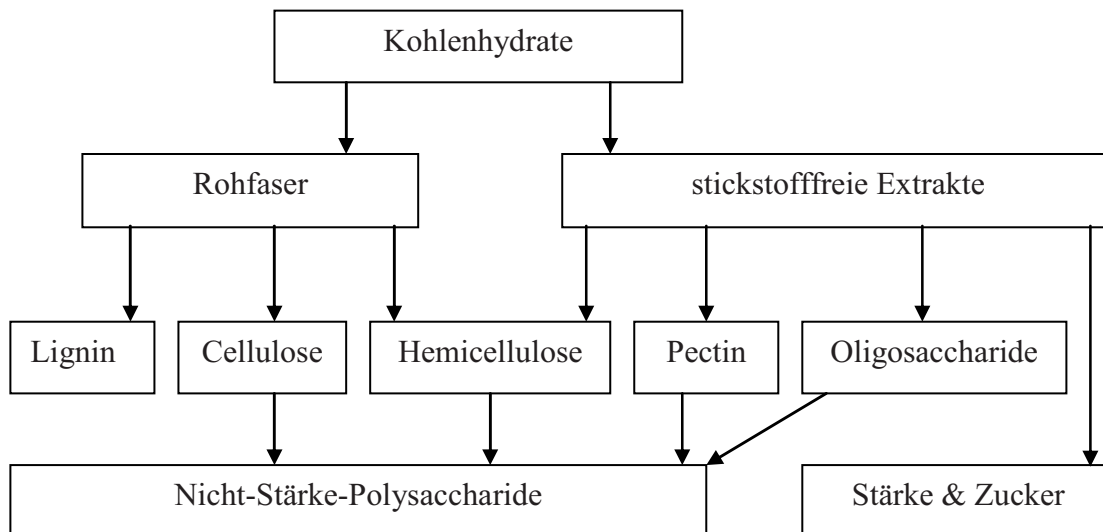


Abb.1: Klassifikation der Kohlenhydrate nach BAKKER et al. (1998)

Die NSP stellen eine strukturell sehr heterogene Gruppe dar. Zu ihr gehören Cellulose, (1-3, 1-4)- β - Glucane, Arabinoxylane (Pentosane), Mannane, Galactane, Xyloglucane, Inulin und Pectine (JEROCH et al., 2008). Eine vereinheitlichte und allgemeingültige Klassifikation der NSP ist bisher nicht vorhanden.

Cellulose kann als anomere β -Form der Glucose bis zu 15000 Glucoseeinheiten aufweisen. Cellulose bildet als wichtigstes Strukturpolysaccharid feste, faserige Molekülverbände und ist wasserunlöslich. Ebenso ist Cellulose in schwachen Laugen und Säuren nicht löslich. Die ausschließlich 1-4- β -glycosidisch miteinander verbundenen Glucosemoleküle bilden unverzweigte, langgestreckte Ketten, die über intermolekulare Wasserstoffbrückenbindungen übermolekulare Ordnungszustände ausbilden, bis hin zu Kristallgittern. Durch diese kommt es zur Entwicklung von Mikrofibrillen, die der Pflanzenzelle als Bestandteil

der Primärwand die nötige Stabilität verleihen. Körpereigene Enzyme des tierischen Organismus können die 1-4- β -glycosidische Bindung nicht spalten, jedoch können unterschiedliche Mikroorganismen solche Enzyme bilden, die wiederum kristalline Cellulose wesentlich langsamer abbauen als amorphe Cellulose. Chemische oder physikalische Behandlungsverfahren können den Anteil amorpher Cellulose erhöhen.

1-3, 1-4 – β -Glucane bestehen wie Cellulose ausschließlich aus β -Glucose. Zusätzlich zu den β -1-4-Bindungen sind jedoch noch β -1-3-Bindungen vorhanden, die zu aufgelockerten Strukturen durch Abwinkeln der Molekülkette führen. Aus diesem Grund entwickeln sie zum Teil Fraktionen, die in Wasser löslich und auch leichter in Laugen und Säuren in Lösung gehen. Die Viskosität von Lösungen wird durch die wasserlöslichen Fraktionen erhöht. Im Endosperm von Hafer- und Gerstenkörnern kommen höhere Anteile von 1-3, 1-4- β -Glucanen vor.

Die überwiegend aus den Fünffachzuckern Arabinose und Xylose bestehenden Pentosane weisen ein ähnliches Löslichkeitsverhalten wie die 1-3, 1-4- β -Glucane auf. Sie kommen hauptsächlich in Triticale, Roggen und Weizen vor. Ihre Struktur besteht aus 1-4- β -D-Xylopyranosylresten, die vorwiegend substituiert sind über O-2- und /oder O-3-Bindungen mit α -L-Arabinofuranosylresten. In geringen Mengen können neben diesen Fünffachzuckern auch andere Monosaccharide vorkommen. Weiterhin sind Arabinogalactane und Polygalacturonsäure (Pectine) als Bestandteile von pflanzlichen Zellwänden von Bedeutung. Sie werden zusammen mit den 1-3, 1-4 – β -Glucanen und den Pentosanen auch als Hemicellulosen bezeichnet.

Das definitionsgemäß ebenfalls zu den NSP zählende, aus Fructoseeinheiten über 1-2-Bindungen bestehende Inulin, ist ein Reservekohlenhydrat, welches z. B. in Zichorien und in den Knollen von Topinambur vorkommt. Das mit unterschiedlichen NSP strukturelle Verknüpfungen (Kohlenhydrat-Lignin-Komplex) eingehende Lignin ist kein Kohlenhydrat und für das Tier so gut wie unverdaulich. Um die Zugänglichkeit kohlenhydratabbauender Enzyme zu ihren Substraten zu optimieren, besteht aus ernährungsphysiologischer Sicht ein Interesse, diese Kohlenhydrat-Lignin-Komplexe zu lockern (JEROCH et al., 2008). Die NSP können in unlöslich und löslich eingeteilt werden.

Tabelle 1 gibt den Gehalt ausgewählter und bezüglich Löslichkeit charakterisierter NSP in einigen Getreidekörnern der in der Schweine- und Geflügelernährung gebräuchlichsten Getreidearten wieder.

Tab.1: Gehalte an β -Glucanen und Pentosanen in Getreidekörnern in g/kg Trockenmasse (JEROCH et al., 2008)

Getreideart	β- Glucane		Pentosane	
	gesamt	löslich	gesamt	löslich
Weizen	3-11.5	-	35-75	5-23
Gerste	26-66	24-50	31-77	5-10
Roggen	13-47	-	59-122	19-45
Hafer	23-51	16	37-80	8
Mais	0.3-1.7	-	33-68	4-10

- = keine Angaben bzw. Werte

2.1.1 Eigenschaften der unlöslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide

Der NSP-Abbau durch mikrobielle Enzyme ist vor allem von der chemischen Struktur abhängig (AULRICH und FLACHOWSKY, 1998). Dabei kann der Lignifizierungsgrad ausschlaggebend sein. Die unlöslichen NSP gehören zu den mit Lignin verbundenen Nahrungsfasern und werden nur gering fermentativ abgebaut (WENK und ZURCHER, 1990). Sie sind hauptsächlich am Einschluss von Nährstoffen beteiligt, dem so genannten Käfigeffekt, wodurch der Angriff von Enzymen schwieriger oder sogar verhindert wird (THEANDER et al., 1989).

Es ist möglich, dass aus unlöslichen NSP-Fractionen durch Hydrolyse löslichere Fraktionen entstehen, wobei es zunächst zu erhöhter und mit fortlaufender Spaltung in niedermolekulare Fragmente zu wieder sinkender Viskosität kommt (AULRICH und FLACHOWSKY, 1998). BACH KNUDSEN und CANIBE (1997) haben in Versuchen ebenfalls festgestellt, dass aus wasserunlöslichen durch Vorgänge der Fermentation wasserlösliche Polysaccharide entstehen können. Entsprechend betrug die Wiederfindungsrate löslicher Hemicellulosen im terminalen Ileum des Schweins 136% der mit dem Futter zugeführten Menge.

Die Verdaulichkeit von unlöslichen NSP lag in den gleichen Untersuchungen von BACH KNUDSEN und CANIBE (1997) im Caecum und Colon von Schweinen zwischen 46% und 86%. Sie hängt vor allem von der Herkunft der NSP, der Wasserbindungsfähigkeit, der Konzentration in der Ration, dem Anteil an Siliciumoxid (SiO_2), dem Lignifizierungsgrad, der Behandlungsart und der Bindungsart der einzelnen Moleküle ab (DUDA, 2004).

Den unlöslichen NSP werden eine verminderte Passagezeit der Digesta durch den Gastrointestinaltrakt, Effekte im Dickdarm, Verdünnung des Coloninhaltes und eine Erhöhung der Kotmenge zugesprochen (BACH KNUDSEN und HANSEN, 1991; BACH KNUDSEN, 2001; ROBERFROID, 1993).

Mit steigenden Gehalten an unlöslichen NSP steht eine beschleunigte Passage des Futters in Verbindung. Diese zieht eine gesteigerte Futteraufnahme nach sich. Nach Fütterung von Erbsenschalen und Weizenkleie beobachteten JORGENSEN et al. (1996) bei Broilern einen Anstieg der Futteraufnahme. Dabei zeichneten sich sowohl Erbsenschalen als auch Weizenkleie durch hohe Gehalte an unlöslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide aus.

2.1.2 Eigenschaften der löslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide

Der Abbau der löslichen NSP ist ebenfalls von der chemischen Struktur (AULRICH und FLACHOWSKY, 1998) abhängig. Es handelt sich jedoch um nicht lignifizierte Faserstoffe, die zum Teil wasserlöslich sind (GRAHAM et al., 1986).

Durch ihre hohe Wasserbindungskapazität und gelbildenden Eigenschaften führen die löslichen NSP zu erhöhter Viskosität verbunden mit verlängerter Passagezeit der Darm-digesta (BACH KNUDSEN, 2001; POTKINS et al., 1991; ROBERFROID, 1993). Die Absorptionsrate von Nährstoffen aus dem Lumen kann durch die Viskositätssteigerung gesenkt werden. Dies scheint darauf zu beruhen, dass die Diffusion der Nährstoffe zu der Schleimhautoberfläche beeinträchtigt wird (DUDA, 2004). Die löslichen NSP können teilweise bereits im vorderen Verdauungstrakt gespalten werden (BACH KNUDSEN, 2001; GRAHAM et al., 1986), wobei die dabei entstandenen Spaltprodukte im Dickdarm der Fermentation unterliegen (DUDA, 2004; RERAT, 1981).

BACH KNUDSEN und CANIBE (1997) beobachteten eine Verdaulichkeit von löslichen NSP im Caecum und Colon bei Schweinen von mehr als 92%. Infolge des Anstieges der Viskosität und der langsameren Digestapassage kann die Fraktion der löslichen NSP zu vermin-

derden Futteraufnahmen führen (DÄNICKE, 1999). JORGENSEN et al. (1996) stellten dagegen nach der Fütterung von löslichen NSP in Form von Haferkleien einen signifikanten Anstieg der Futteraufnahme bei Broilerküken fest. Allerdings lässt sich die im Verhältnis zum Kontrollfutter erhöhte Futteraufnahme nicht nur mit den löslichen NSP erklären, da auch ein wesentlicher Anstieg unlöslicher NSP mit der Zulage von Haferkleie verbunden war.

2.1.3 Inulin als lösliches Nicht-Stärke-Polysaccharid

Die ernährungsphysiologischen Eigenschaften des Inulins entsprechen weitgehend denen der löslichen NSP (FLAMM et al., 2001; JEROCH et al., 2008; VERDONK et al., 2005). Der Grad der Polymerisation (GP) liegt bei Inulin aus der Zichorienpflanze zwischen 2-70 GP (Mittelwert 10-20 GP) (ROBERFROID und DELZENNE, 1998). Der Abbau von längerkettigem Inulin erfolgt vermutlich langsamer. Zur Fermentation von Inulin führten ROBERFROID et al. (1998) vergleichende Untersuchungen in einem anaeroben Kulturfermenter durch. Es wurden 7 g/l Inulin mit 100 g/l humaner Faecalausscheidung versetzt. Die Moleküle mit einem GP < 10 wurden doppelt so schnell wie die Oligomere mit einem GP > 10 abgebaut.

REHMANN et al. (2008) führten Untersuchungen an Broilern, deren Futterration 1% Inulin enthielt, durch. Die relative Länge und das Gewicht des Dünndarmes wurden durch die Inulinzulage nicht beeinflusst. Die relativen Gewichte der Leber und der Caecumdigesta waren jedoch bei den mit Inulin versorgten Gruppen erhöht.

2.1.4 Einfluss von NSP auf das Verdauungssystem des Geflügels

Zur Spaltung bestimmter Substratmolekülbindungen sind einige Enzyme befähigt, die entweder extrazellulär abgegeben werden oder an die Zelle gebunden sind. Diese Enzyme werden von diversen Bakterien des Magen-Darm-Traktes gebildet. Von Bedeutung sind Glycosidasen, Peptidasen, Proteasen und Polysaccharidasen (WARREN, 1996).

Nur bestimmte Bakterienarten können NSP als Substrat nutzen. Sie besiedeln bei entsprechendem Angebot einzelne Segmente des Darmes auf Kosten anderer Bakterienarten, so dass sich die Zusammensetzung der intestinalen Bakterienpopulation verändert (HUEBENER et al., 2002; VAHJEN et al., 1998). BECKMANN et al. (2000) isolierten aus dem

Darm von Hühnern, die mit Roggen und Weizen gefüttert worden waren, β -Glucan-spaltende Bakterienarten. Es handelte sich hierbei um *Streptococcus* spp., *Clostridium* spp., *Enterococcus* spp. und *Bacteroides* spp..

Wie zuvor erwähnt, werden den löslichen NSP bereits Wirkungen im vorderen Verdauungstrakt und den unlöslichen NSP vorwiegend Einflüsse im Dickdarm zugeschrieben (BACH KNUDSEN, 2001). Beim Geflügel bilden die Caecae den Hauptort der mikrobiellen Fermentation (FÖRSTER, 2003).

Die viskositätssteigernde Wirkung der löslichen NSP verlängert die Verweildauer der Digesta im Verdauungstrakt von Broilern, z.B. von 5 bis 7 Stunden (JEROCH et al., 2008) auf bis zu 9 Stunden (DÄNICKE et al., 1997). Dadurch steht den Mikroorganismen mehr Zeit zur Einwirkung und eigenen Vermehrung zur Verfügung (LOH, 2002).

Eine erhöhte Viskosität führt zu einer verminderten Diffusionsrate von Gallensäuren und körpereigenen Verdauungsenzymen in den Digesta und zu einem verminderten Kontakt des Nahrungsbreies mit der resorptiven Magen-Darm-Oberfläche. Deshalb kann sich die Nährstoffverdaulichkeit vermindern (BEDFORD, 1995; FÖRSTER, 2003; IKEGAMI et al., 1990). Am stärksten ausgeprägt ist infolge NSP-bedingt verminderter Gallensäurenfunktion der Rückgang der Verdaulichkeit von Fetten (WIESE, 2002). Dabei werden vor allem langkettige gesättigte Fettsäuren niedriger verdaut (DÄNICKE et al., 2000b; SMITS et al., 2000). Eine erhöhte Viskosität, die mit einer verlangsamten Digestapassage einhergeht (DÄNICKE, 1999), führt zu erhöhter Stickstoffsekretion und zu erhöhtem Proteinumsatz im Dünndarm von Broilern (DÄNICKE et al., 2000a; SIMON, 1998).

JAMROZ et al. (1998) fütterten Triticale an junge Masthähnchen und beobachteten bei steigendem Anteil an NSP in der Ration höhere scheinbare Verdaulichkeiten für neutrale und saure Detergenzienfaser und für Hemicellulose. Dies lässt sich mit verstärktem mikrobiellem Abbau der NSP erklären (LOH, 2002).

Den NSP werden über den sog. Käfigeffekt auch direkte und indirekte Einflüsse auf die Verdaulichkeit anderer Nährstoffe zugesprochen (THEANDER et al., 1989).

NSP wirken sich auf die Morphologie des Gastrointestinaltraktes aus. SIMON (1998) ermittelte in Versuchen an Broilern bei erhöhter Digestaviskosität Verlängerungen des Darmes und Steigerungen des relativen Darmgewichtes. Ein erhöhtes Darmgewicht kann auf erhöhten Proliferationen von Becherzellen und Enterozyten in der mukosalen Darmwand beruhen (BEST et al., 1999; LANGHOUT et al., 1999; VIVEROS et al., 1994). Des Wei-

teren führt eine erhöhte Viskosität der Digesta zu größeren Caecae und vergrößertem Pankreas (JARONI et al., 1999; JORGENSEN et al., 1996) sowie im jejunalen Segment zu verdickten und verkürzten Mikrovilli. Dadurch werden die Resorptionsoberfläche verringert und die Nährstoffresorption im Dünndarm verzögert (BEST et al., 1999; JARONI et al., 1999). Zur Abschwächung oder Eliminierung antinutritiver NSP-Wirkungen werden dem Futtermittel NSP-spaltende Enzyme als Futterzusatzstoffe hinzugefügt. Bei Mastgeflügel und Ferkeln kommen β -Glucanasen und Xylanasen zum Einsatz. Die β -Glucanasen werden vorwiegend bei gerste- und haferreichen Rationen zugefügt (GRAHAM et al., 1989). Bei Rationen, die überwiegend Weizen oder Roggen enthalten, finden eher Xylanasen sowie Multienzympräparate Verwendung, die beide Enzymaktivitäten aufweisen (OBWALD, 2006). Die Futterverwertung von Broilern wird durch den Zusatz von Enzymen zu Getreiderationen in Abhängigkeit vom NSP-Gehalt des Futters und dem Alter der Tiere um bis zu 8% verbessert (DÄNICKE, 1999; JEROCH et al., 1995).

Insgesamt ist es schwierig, die Einflüsse von NSP genau zu spezifizieren. Z.B. hängen die Wirkungen bei den Getreidearten von dem jeweiligen Verhältnis der unlöslichen zu den löslichen NSP und deren Gesamtkonzentrationen im Futter ab (DÄNICKE, 1999; JEROCH et al., 1995). Auch genetische Faktoren bei Pflanzen, das Ausreifestadium, die Stickstoffdüngung, Klimafaktoren und die Lagerungsdauer des Getreides wirken sich aus (JEROCH und DÄNICKE, 1995). Schließlich ist als weiterer Einflussfaktor das Alter der Tiere zu nennen (JEROCH et al., 1995).

2.2 Nematoden in der Geflügelhaltung

Mit einem Anstieg der alternativen Haltungsformen in der Legehennenhaltung geht eine Belastung bei Hennen mit Helminthen einher. Vor allen Dingen werden Freiland- und Bodenhaltungssysteme mit einer erhöhten Infektionsgefahr in Verbindung gebracht (KEUTGEN et al., 1999; PERMIN et al., 1999; ZELLER, 1990). Die Tiere infizieren sich über ihre eigenen Exkremente mit den Parasiten, da keine Abtrennung der Exkremente in diesen Haltungssystemen erfolgt. Nur selten sind Helminthosen Ursache klinischer Erkrankungen, sie können jedoch abhängig von ihrer Intensität und Häufigkeit eine leistungsmindernde Wirkung mit sich bringen (ECKERT, 2000).