



Den Wert des Grundfutters an den Gerüstsubstanzen erkennen

Kühe können wie alle Wiederkäuer das faserreiche Wiesenfutter durch die Symbiose mit ihren Pansenmikroben optimal verwerten. Je jünger das Futter ist, desto höher ist die Verdaulichkeit. Aber für geordnete Verdauungsabläufe braucht das Futter eine gewisse Struktur, die durch den Gehalt an physikalisch effektiver Faser und auch an Trockenmasse bestimmt wird.

Zusammensetzung und Analyse pflanzlicher Gerüstsubstanzen

Pflanzliche Gerüstsubstanzen sind besonders in der Ernährung der Wiederkäuer wichtig als Nährstofflieferanten für die Faser spaltenden Mikroorganismen des Pansens. Doch sie tragen auch entscheidend zur Strukturwirkung einer Wiederkäuer-Ration bei, die – über die Anregung zum Wiederkauen und den damit verbundenen Speichelfluss – erst die Voraussetzungen für ein optimales Pansenmilieu schafft. Bestimmte Mikroben verdauen Faserstoffe und dadurch ist der Wiederkäuer für die Menschen seit Anbeginn eine der wesentlichen Lebensgrundlagen.

Von Leonhard GRUBER

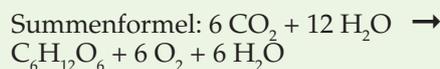
Untersuchungen von Van SOEST (USA) in den 1960er Jahren haben gezeigt, dass der tatsächliche Gehalt an Gerüstsubstanzen mit der „alten“ Rohfaser aus der Weender Analyse falsch eingeschätzt wird. Der folgende Beitrag berichtet über die chemische Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen, deren unterschiedliche Bestandteile sowie über deren Analyse als NDF, ADF und ADL.

Was sind Kohlenhydrate?

Kohlenhydrate, Eiweiß und Fett sowie Mineralstoffe sind die Hauptbestandteile der Nahrung von Menschen und Tieren. Bei den Kohlenhydraten ist zwischen Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydraten zu unterscheiden, was aus Sicht der Ernährung besonders wichtig ist, und zwar vor allem für Wiederkäuer.

Bei der Photosynthese wird in der Pflanze mit Hilfe der Energie des Sonnenlichtes aus Wasserstoff [H₂] (stammt aus dem Wasser

[H₂O]) und Kohlendioxid [CO₂] (kommt aus dem Abbau aller organischen Substanz) das Zuckermolekül Glukose [C₆H₁₂O₆] gebildet.



In weiterer Folge werden im Stoffwechsel der Pflanzen aus diesen Zuckermolekülen entweder Faser-Kohlenhydrate zum Aufbau des Pflanzenorganismus gebildet (Zellwände, Stängel usw.), daher auch der Name „Gerüstsubstanzen“; oder die Pflanze bildet Reserve-Kohlenhydrate zur ihrer eigenen oder zur Versorgung des Keimlings im Zuge der Fortpflanzung (Nichtfaser-Kohlenhydrate). Die Pflanzen schaffen und brauchen also diese beiden Kohlenhydrat-Fraktionen eigentlich für ihren eigenen Bedarf – und nicht in erster Linie für die Nutzer dieser Pflanzen (d.h. die Pflanzen-Fresser)!

Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate

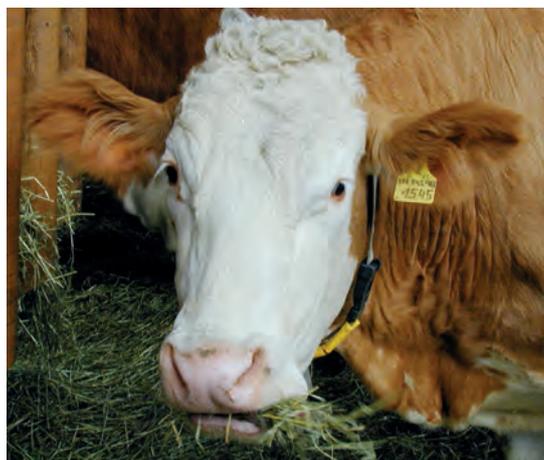
Obwohl die Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate eigentlich aus dem gleichen Grundstoff bestehen (nämlich Glukose), unterscheiden sie sich in ihrer chemischen Bindungsform und damit in ihrem chemischen Verhalten, ihrer Funktion in der Pflanze, aber auch in ihrer Verdaulichkeit grundsätzlich, was in der Tierernährung ganz besonders zu beachten ist.

Bei der Bildung von Faser-Kohlenhydraten (z.B. Zellulose) werden Glukose-Moleküle immer spiegelbildlich (d.h. seitenverkehrt) aneinander gereiht und bilden in der Folge lange Ketten, die sich weiter zu Fibrillen zusammenschlagen und schließlich stabile Gerüstsubstanzen ergeben. Es handelt sich um sehr komplexe und komplizierte Verbindungen aus Zellulose, Hemizellulose, Pektin und Lignin, die schwer abbaubar und somit auch schwer verdaulich sind, da – aus Sicht der Pflanze (!) – ihre Funktion primär in der Bildung des Pflanzenkörpers besteht. Die Wirbeltiere verfügen nicht über körpereigene Verdauungsenzyme, welche diese hochkomplexen und nur schwer abbaubaren Faser-Kohlenhydrate bzw. Gerüstsubstanzen verdauen können. Dazu sind nur evolutionsgeschichtlich sehr alte Mikroorganismen in der Lage. Die Pflanzenfresser (besonders die Wiederkäuer) sind also auf eine Symbiose mit Mikroorganismen im Verdauungstrakt angewiesen, die sich im Laufe der Evolution herausgebildet hat.

Dagegen werden bei der Bildung von Nichtfaser-Kohlenhydraten (d.h. vor allem Stärke) die Glukose-Moleküle nicht spiegelbildlich zusammengelagert, sondern immer in der gleichen Lage zueinander. Das Stärke-Molekül ist daher nicht langgestreckt, sondern schraubig gewunden. Eine Schraubenwindung besteht aus sechs Glukose-Molekülen. Auf Grund dieses Molekülbaues ist Stärke als Gerüstsubstanz nicht geeignet. Vielmehr wird die leicht lösliche Glukose auf diesem Weg in eine stabile Form überführt und dient daher als Reserve-

stoff, der bei Bedarf von den Pflanzen – aber auch von den Pflanzenfressern – leicht zu mobilisieren bzw. zu verdauen ist.

In Tabelle 1 ist der Gehalt wichtiger und typischer Futtermittel an Kohlenhydraten, Eiweiß und Fett sowie Mineralstoffen angeführt. Von den Grundfuttermitteln besteht Wiesenfutter je nach Vegetationsstadium zu 70–80 % der Trockenmasse aus Kohlenhydraten, Silomais sogar aus 86 %. Mit steigendem Vegetationsstadium erhöht sich der Anteil der Faser-Kohlenhydrate (in % der Gesamtkohlenhydrate) bei Wiesenfutter von 61 auf 72 %, nur bei Silomais ist er – wegen des Kolbens – mit 53 % deutlich geringer. Auch Kraftfutter bestehen zu 70–84 % aus Kohlenhydraten (mit Ausnahme der Eiweiß-Futtermittel), allerdings weisen sie einen deutlich höheren Anteil an Nichtfaser-Kohlenhydraten auf (besonders Stärke). Wenn den Rohstoffen Stärke (bei Getreide) und Zucker (bei Zuckerrüben) für die menschliche Ernährung entzogen wird, erhöht sich der Gehalt an Faser in den Nebenprodukten.



Durch strukturreiches Grundfutter bilden sich beim Fressen und Wiederkauen hohe Speichelmengen. Im Speichel sind Puffersubstanzen enthalten, welche eine starke Absenkung des pH-Wertes verhindern und damit den Pansenmikroben optimale Lebensbedingungen ermöglichen.

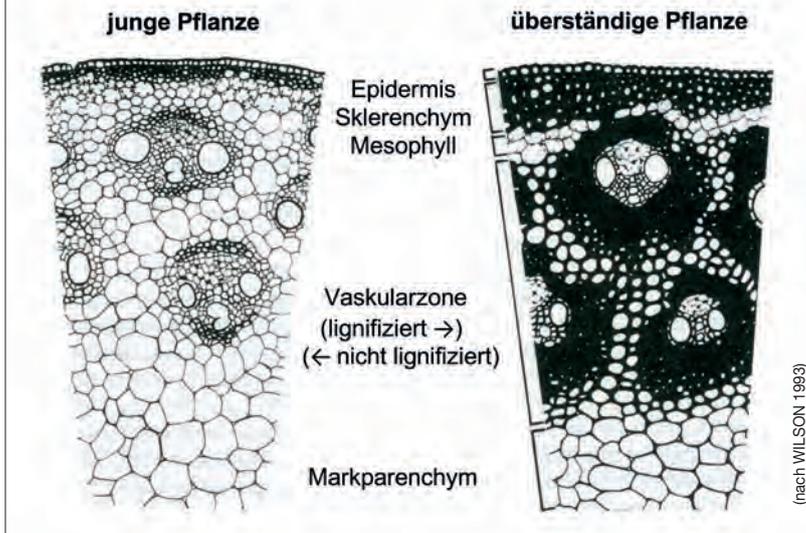
Tab. 1: Gehalt wichtiger Futtermittel an Kohlenhydraten, Eiweiß und Fett sowie Mineralstoffen

	Roh- asche	Roh- protein	Roh- fett	Kohlen- hydrate	Faser- Kohlenhydrate	Nichtfaser- Kohlenhydrate
	(g/kg TM)			(% der Kohlenhydrate)		
Grundfutter ¹⁾						
Grünfutter jung	108	161	25	706	60,6	39,4
Grassilage mittel	102	149	31	718	70,3	29,7
Heu überständig	81	101	21	797	71,6	28,4
Silomais	40	77	26	857	53,0	47,0
Kraftfutter ²⁾						
Gerste	27	124	27	822	26,3	73,7
Weizenkleie	65	160	43	732	62,2	37,8
Trockenschnitzel	54	99	9	838	54,3	45,7
Ackerbohne	34	251	15	700	19,9	80,1
Rapsextraktionsschrot	77	399	25	499	63,9	36,1

¹⁾ Quelle: ÖAG-Futtermitteltabellen (RESCH et al. 2006) und GRUBER (2009)

²⁾ Quelle: DLG-Futtermitteltabellen Wiederkäuer (1997) und INRA (2002)

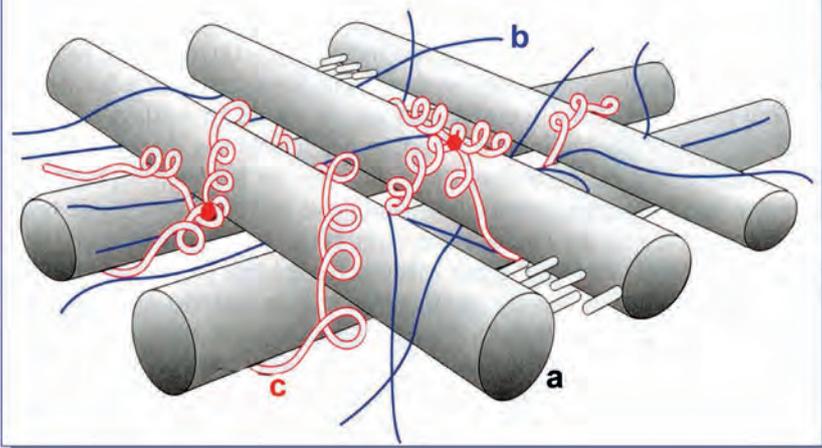
Abb. 1: Querschnitt durch den Stängel eines jungen bzw. überständigen Grasses. Die schwarzen Flächen zeigen die starke Lignifizierung des Stängels an.



Wiederkäuer und Nicht-Wiederkäuer brauchen Faser-Kohlenhydrate

Wiederkäuer können Faser-Kohlenhydrate mit Hilfe ihrer Pansenmikroben nicht nur hervorragend verdauen, zur optimalen Verdauung ist ein Mindestgehalt der Ration an diesen Faser-Kohlenhydraten sogar unbedingt erforderlich. Die Faser-Kohlenhydrate, die in strukturierter (d.h. wiederkäuergerechter) Form mit entsprechender Partikelgröße vorliegen müssen, sind die Voraussetzung für die Wiederkautätigkeit, die zu einem entsprechenden Speichelfluss führt, der wiederum die von den Pansenmikroben gebildeten flüchtigen Fettsäuren abpuffert und somit einer Pansenübersäuerung entgegenwirkt.

Abb. 2: Modell der Zellwand von ALBERSHEIM (nach NULTSCH 2001)



a = Zellulose

b = Hemizellulose

c = Zellwandprotein

Doch auch die Nicht-Wiederkäuer (daher auch die Menschen!) benötigen in ihrer Fütterung einen Mindestgehalt an Faser-Kohlenhydraten, die für einen geordneten Verdauungsablauf mit entsprechender Bewegung und Reinigung des Darmes und somit auch für die Darmgesundheit sorgen.

Aufbau und chemische Zusammensetzung der pflanzlichen Zellwand

Die Zellwand besteht aus mehreren Schichten, nämlich aus der Mittellamelle, der Primär-, Sekundär- und Tertiärwand. Sie setzt sich aus Pektin, Zellulose, Hemizellulose, Zellwandprotein und Lignin zusammen. Die Mittellamelle bildet die Grenze zwischen benachbarten Zellen und ist der Ausgangspunkt für das Zellwachstum. Sie besteht vorwiegend aus Pektinen. Die Primärzellwand wird angelegt, wenn sich die Zellen teilen; sie besteht vorwiegend aus Hemizellulose sowie Zellwandprotein und relativ wenig Zellulose. Hemizellulose und Zellwandprotein durchdringen sich gegenseitig und bilden somit ein starkes, jedoch elastisches Gewebe, in das Zellulose eingebettet ist. Nach dem Aufbau der Primärwand bildet sich die Sekundärwand in das Innere der Zelle hinein. Die Sekundärwand ist vorwiegend aus Zellulose aufgebaut. Der Abschluss zum Zellinneren erfolgt durch die sehr dünne Tertiärwand. Von der Hemizellulose ausgehend wird mit fortschreitendem Alter der Pflanze Lignin angelagert und dieses „wächst“ in die Hohlräume der Zellulose/Zellwandprotein-Strukturen hinein (Abbildung 1). Dadurch werden die Zellulose und Hemizellulose schwer bis unverdaulich, da der Zugang von Verdauungsenzymen der Pansenmikroben be- und sogar verhindert wird. Die Verdaulichkeit hängt daher nicht nur vom Anteil der chemischen Bestandteile der Gerüstsubstanzen ab (besonders Zellulose, Hemizellulose, Zellwandprotein und Lignin), sondern in welchem Ausmaß sie durch chemische Bindung miteinander verknüpft sind. Dies wird besonders stark von der Pflanzenart und deren Vegetationsstadium bestimmt. Die chemische Zusammensetzung der Hemizellulose und des Pektins unterscheidet sich zwischen den Gräsern und vielen anderen botanischen Arten (wie z.B. der Leguminosen und Doldenblütler). Wieder soll auf die unterschiedlichen Aspekte zwischen Pflanze und Tier (= Pflanzenfresser) hingewiesen werden. Aus Sicht der Pflanze haben die Gerüstsubstanzen eine wichtige, lebensnotwendige Funktion. Aus Sicht der Tiere schränken sie die Verdaulichkeit mehr oder weniger stark ein und dienen bisweilen sogar als Schutz vor dem Gefressenwerden.

Von den pflanzlichen Gerüstsubstanzen bestehen nur Modellvorstellungen, da sie bei der chemischen Analyse zerstört werden. Ein einfaches Modell ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Vergleich mit Stahlbeton ist durchaus an-

gebracht. Zellulose, Hemizellulose und Zellwandprotein bilden das Grundgerüst, in das Lignin als „Beton eingegossen wird“.

Wie werden bzw. wurden pflanzliche Gerüstsubstanzen analysiert?

Über 150 Jahre wurden – im Wege der sogenannten Weender Analyse – die Futtermittel in die Nährstoff-Gruppen Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und stickstoff-freie Extraktstoffe sowie Rohasche aufgetrennt. Der Begriff „Roh“-Nährstoff sagt bereits, dass es sich hierbei nicht um reine Nährstoffe, sondern um Stoffgruppen handelt. Nach dem Weender Verfahren (von HENNEBERG und STOHMANN 1864 entwickelt) wurden die Kohlenhydrate in „Rohfaser“ und „stickstoff-freie Extraktstoffe“ unterschieden, wobei die Rohfaser die Faser-Kohlenhydrate und die stickstoff-freien Extraktstoffe die Nichtfaser-Kohlenhydrate darstellen sollten. Dabei werden die Futtermittel mit Säure und Lauge unter definierten Bedingungen gekocht. Der Rückstand nach diesem Säure- und Laugen-Kochprozess (was also dabei nicht gelöst wird) wird als Rohfaser bezeichnet und sollte die Faser-Kohlenhydrate erfassen. Allerdings werden durch die Laugenbehandlung Hemizellulose fast vollständig und Lignin zum Teil sowie auch gewisse Anteile der Zellulose gelöst, also – wie oben ausführlich beschrieben – drei entscheidende Komponenten der Faser zum Teil irrtümlich der „Nichtfaser“ zugeordnet! Daher wurden für die stickstoff-freien Extraktstoffe häufig nur ähnliche Verdaulichkeiten ermittelt wie für die Rohfaser, obwohl die Stärke zu fast 100 % verdaulich ist. Mit der „Rohfaser“ wird folglich der tatsächliche Fasergehalt eines Futtermittels falsch (d.h. zu niedrig) eingeschätzt. Im Gegenzug wird der Anteil der Nichtfaser-Kohlenhydrate überschätzt. Der bei der Rohfaser-Analyse fälschlich gelöste Anteil an Hemizellulose, Zellulose und Lignin ist nicht bei allen Futtermitteln gleich hoch. Besonders das Lignin der Gräser wird stark gelöst (82 %), weniger bei den Leguminosen (30 %) sowie den Korb- und Doldenblütlern (52 %). Auch der Anteil der bei der Rohfaser-Analyse gelösten Hemizellulose ist bei den Gräsern am höchsten, während die Zellulose besonders bei den Leguminosen stark gelöst wird. Bei gemischten Wiesenbeständen ist daher eine Umrechnung von Rohfaser in NDF (siehe unten) auch aus theoretischer Sicht nicht möglich. In Tabelle 2 sind die Anteile von Lignin, Hemizellulose und Zellulose angeführt, die bei der Rohfaser-Bestimmung in Lösung gehen.

Aus diesem Grund musste ein Analyse-Verfahren entwickelt werden, bei dem alle Komponenten der Faser (also die Zellwandbestandteile Zellulose, Hemizellulose und Lignin sowie Zellwandprotein) tatsächlich erfasst und die hochverdaulichen Zellinhaltsstoffe (Nicht-

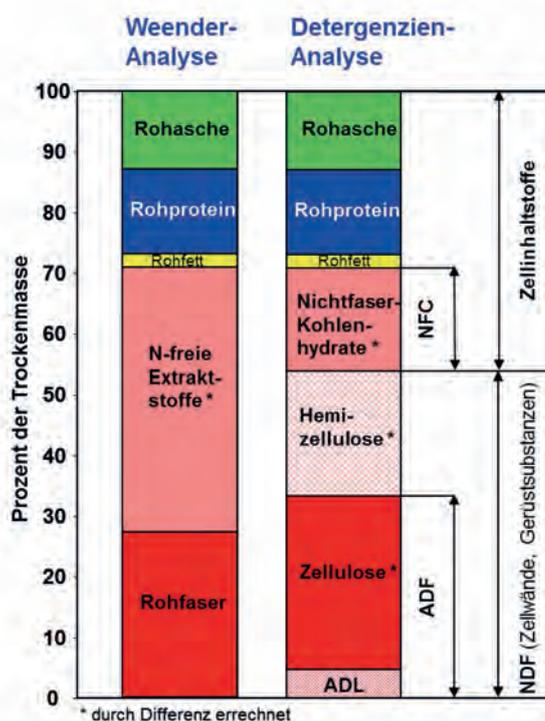
Tabelle 2: Anteile (%) von Lignin, Hemizellulose und Zellulose, die bei der Rohfaser-Bestimmung in Lösung gehen (nach Van SOEST 1977)

Botanische Gruppe	Lignin	Hemizellulose	Zellulose
Leguminosen	30 (8–62)	63 (21–86)	28 (12–30)
Gräser	82 (53–90)	76 (64–89)	21 (5–29)
Korb- und Doldenblütler	52 (10–84)	64 (43–84)	22 (7–32)

faser-Kohlenhydrate, Eiweiß und Fett) in Lösung gebracht werden. Die Entwicklung der entsprechenden Analysen-Methoden erfolgte durch den amerikanischen Tierernährungswissenschaftler Van SOEST in den 1960er Jahren. Er verwendete unterschiedlich starke Lösungsmittel (sogenannte Detergenzien, wie auch in der Waschmittelindustrie), durch welche die einzelnen Komponenten der Gerüstsubstanzen aufgetrennt werden konnten.

In einem ersten Schritt werden die Futterproben mit neutraler Detergenzien-Lösung ebenfalls unter definierten Bedingungen gekocht. Dabei gehen alle Zellinhaltsstoffe in Lösung und die Gerüstsubstanzen können auf diese Weise als Rückstand festgestellt werden. Sie werden als Neutral-Detergenzien-Faser (NDF) bezeichnet und beinhalten die tatsächliche Faser, also alle Substanzen, die von den Wirbeltieren nicht verdaut werden können (und folglich eine Symbiose mit Mikroorganismen zur Verdauung erfordern).

Abb. 3: Auftrennung der Nährstoffe eines Futtermittels in Zellinhaltsstoffe und in Gerüstsubstanzen





Die Grund- und Kraftfutter bestehen zu 70–85 % aus Kohlenhydraten (Ausnahme Eiweißfutter). Allerdings mit einem großen Unterschied: Bei Grundfutter überwiegen die Gerüstsubstanzen (z.B. Zellulose), bei Kraftfutter die sog. Nichtfaser-Kohlenhydrate (bes. Stärke). Für diese Stoffe gibt es jeweils spezialisierte Mikroben-Gruppen mit unterschiedlichen pH-Ansprüchen, die aus Zellulose vor allem Essigsäure bzw. aus Stärke vor allem Propionsäure produzieren.

In einem zweiten Schritt werden die Futtermittel mit einer sauren Detergenzien-Lösung behandelt. Dabei wird die Hemizellulose in Lösung gebracht. Der Rückstand beinhaltet daher nur noch Zellulose und Lignin und wird Säure-Detergenzien-Faser (ADF) genannt. NDF minus ADF ist daher Hemizellulose.

Als dritter Analysenschritt wird das Lignin bestimmt. Dabei wird die Probe mit hochkonzentrierter Schwefelsäure gekocht und damit Zellulose und Hemizellulose gelöst, sodass Lignin, (bezeichnet als Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) als unlöslicher Teil zurückbleibt. ADF minus ADL ist daher Zellulose. Bei einer anderen Methode wird Lignin direkt mit Kalium-Permanganat bestimmt, was höhere Werte ergibt. Es ist sehr schwierig, den tatsächlichen Lignin-Gehalt zu analysieren. Die Auftrennung der Nährstoffe eines Futtermittels in Zellinhaltsstoffe und in Zellwände (Gerüstsubstanzen) sowie deren Unterteilung in NDF, ADF und ADL (bzw. in Zellulose, Hemizellulose und Lignin) ist in Abbildung 3 am Beispiel einer Grassilage dargestellt. Hervorstechend ist, dass die tatsächlichen Gerüstsubstanzen wesentlich höher sind als die Rohfaser und die Nichtfaser-Kohlenhydrate dementsprechend niedriger. Rohfaser ist in etwa gleich hoch wie Zellulose, aber chemisch (je nach botanischer Art, wie oben gezeigt) anders zusammengesetzt. Rohfaser enthält neben Teilen der Zellu-

lose auch Anteile des Lignins und der Hemizellulose.

Analog zu Tabelle 1 wird abschließend der Gehalt wichtiger und typischer Futtermittel an Gerüstsubstanzen in Tabelle 3 angeführt. In Grundfuttermitteln ist der Gehalt an Zellulose ähnlich dem der Rohfaser, welche chemisch allerdings anders zusammengesetzt ist (siehe oben). ADF (Zellulose und Lignin) ist durchwegs höher als Rohfaser. Je nach Vegetationsstadium macht der Gehalt an Gerüstsubstanzen in Wiesenfutter etwa 43 bis 57 % aus, also einen beträchtlichen Anteil des Futtermittels. Silomais besteht aus einer Restpflanze und dem Kolben, nimmt also auch bei den Gerüstsubstanzen eine Zwischenstellung zwischen Grund- und Kraftfutter ein. Bei Wiesenfutter nimmt der Anteil der Zellulose an den Gerüstsubstanzen mit steigendem Vegetationsstadium etwas ab und Hemizellulose sowie Lignin dementsprechend zu. Dadurch erklärt sich auch der Rückgang der Verdaulichkeit.

Die Gehalte des Kraftfutters an Gerüstsubstanzen hängen von der botanischen Art und dem Grad bzw. der Art der Verarbeitung ab. Unverarbeitete Kraftfutter weisen wenige Zellwände auf, ihre Verdaulichkeit unterscheidet sich allerdings stark (z.B. Getreideschalen sind gering verdaulich, die Schalen von Leguminosen wie Acker- und Sojabohnen sowie Erbsen

sind hoch verdaulich). Der Gehalt der Kraftfutter an Gerüstsubstanzen nimmt zu, wenn im Zuge der Verarbeitung die Stärke entnommen wird (Mühlennachprodukte wie Futtermehl und Kleien, Nachprodukte des Gärungsgewebes wie Biertreber oder Schlempen). Auf Grund dieser unterschiedlichen Verarbeitungsvorgänge ist die Rohfaser bei Kraftfutter am wenigsten aussagekräftig.

Aufgrund der dargelegten Zusammenhänge soll die Anwendung der Gerüstsubstanzen nach Van SOEST in der Tierernährung Standard werden. Sie beschreiben den tatsächlichen Fasergehalt der Futtermittel wesentlich zutreffender als Rohfaser und sind damit eine essentielle Grundlage besonders für die Ernährung der Wiederkäuer. Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate entscheiden über die Zusammensetzung der Mikrobenpopulation im Pansen. Es ist im Wesentlichen zwischen Mikroorganismen zu unterscheiden, die entweder Faser-Kohlenhydrate (z.B. Zellulose) fermentieren und daraus Essigsäure erzeugen. Diese stellt die Ausgangssubstanz für die Synthese des Milchfettes dar. Als zweite Gruppe existieren Mikroorganismen, die Nichtfaser-Kohlenhydrate (z.B. Stärke, Zucker) zu Propionsäure abbauen. Diese ist das Ausgangsprodukt für den Glukose- sowie den Laktosehaushalt und damit für den Energiestoffwechsel der Wiederkäuer und deren Milcherzeugung. Weiters ist der tatsächliche Fasergehalt entscheidend für die Beurteilung, ob eine Fütteration wiederkäuergerecht und ausreichend strukturwirksam ist. Daher ist die sogenannte physikalisch effektive Faser (peNDF) die allgemein gültige Kenngröße für die Einschätzung der Strukturwirksamkeit und damit Wiederkäuergerechtigkeit einer Ration. Und schließlich ist die Analyse der Gerüstsubstanzen und damit die Aufteilung der Kohlenhydrate in Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate auch eine der Kernele-

mente des Cornell Net Carbohydrate und Protein-Systems, eines Fütterungsmodells, das zum Vorbild ähnlicher Fütterungssysteme auf der ganzen Welt wurde und das den tatsächlichen Verhältnissen bei der Verdauung und dem Stoffwechsel der Tiere möglichst nahe kommt und somit eine ökonomisch und ökologisch optimale Fütterung ermöglicht.



Bei der Analyse der Faser werden die Zellinhaltsstoffe durch Kochen in Lösungsmitteln gelöst, sodass die Faserbestandteile ungelöst übrig bleiben. Bei der (veralteten) Rohfaser-Analyse wurden durch ungeeignete Lösungsmittel nicht nur die Zellinhaltsstoffe sondern auch Teile der Faser gelöst, wodurch sich zu niedrige Faserwerte ergaben. Mit der neueren Analysenmethode nach van Soest werden die Gehalte an Gerüstsubstanzen durch die Verwendung geeigneter Lösungsmittel (sog. Detergenzien) richtig bestimmt und als Neutral-Detergenzien-Faser (NDF) bezeichnet.

Tab. 3: Gehalt wichtiger Futtermittel an Gerüstsubstanzen

	Rohfaser	NDF	ADF	ADL	Zellulose	Hemi- zellulose	(% der Gerüstsubstanzen [NDF])		
							Zellulose	Hemi- zellulose	Lignin
(g/kg TM)									
Grundfutter ¹⁾									
Grünfutter jung	227	428	266	28,5	237	162	55,5	37,8	6,7
Grassilage mittel	274	505	308	37,6	271	197	53,6	39,0	7,4
Heu überständig	314	571	344	45,4	299	226	52,4	39,6	8,0
Silomais	214	454	246	30,9	215	209	47,3	45,9	6,8
Kraftfutter ²⁾									
Gerste	57	216	63	11,5	52	153	23,9	70,8	5,3
Weizenkleie	134	455	137	39,0	98	318	21,5	69,9	8,6
Trockenschnitzel	205	455	231	21,3	210	224	46,1	49,2	4,7
Ackerbohne	67	139	69	3,5	66	70	47,1	50,4	2,5
Rapsextraktions- schrot	131	319	221	10,7	210	98	65,9	30,7	3,4

¹⁾ Quelle: ÖAG-Futterwerttabellen (RESCH et al. 2006) und GRUBER (2009), ²⁾ Quelle: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (1997) und INRA (2002)



Gerüstsubstanzengehalte von Grünlandfutter und Silomais

Die Artengruppen wie Gräser, Klee und Kräuter unterscheiden sich deutlich in den Gerüstsubstanzengehalten.

Pflanzliche Zellwandbestandteile spielen in der Ernährung von Wiederkäuern eine bedeutende Rolle. Daher wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Futterprobenuntersuchungen von Wiesenfutter und bedeutender Arten des Wirtschaftsgrünlandes und Feldfutterbaus hinsichtlich der Gerüstsubstanzen (NDF, ADF und ADL) angestellt, um für Beratung, Lehre und vor allem für die Praxis das Feingefühl in der Anwendung dieser zukunftsweisenden Parameter zu schärfen.

Von Reinhard RESCH und Gerald STÖGMÜLLER

Bestandteile im Dauerwiesenfutter

In der Entwicklung von Pflanzenbeständen steigen die Gehalte der Zellwandbestandteile mit zunehmender Reife der Pflanzen von etwa 250 bis auf 750 g NDF/kg TM an. Dieser Umstand führt gleichzeitig zu einer Reduktion der wertvollen Zellinhalte (Protein, Zucker, Fett, Mineralstoffe) und der Verdaulichkeit. Bei wöchentlicher Beprobung konnten in zwei mehrjährigen Feldversuchen (Standort Gumpenstein und Piber) bei Dauerwiesenfutter deutliche Unterschiede zwischen den Zunahmen an Zellwandbestandteilen im Vegetationsverlauf des 1. Aufwuchses und in den Folgeaufwüchsen festgestellt werden (Abbildung 4).

NDF (Neutral-Detergenzien-Faser) stieg im 1. Aufwuchs wöchentlich um durchschnittlich 23 g/kg TM an, während die NDF-Veränderungen in den Folgeaufwüchsen rund 7 g/kg TM pro Woche betragen. In Abbildung 4 ist

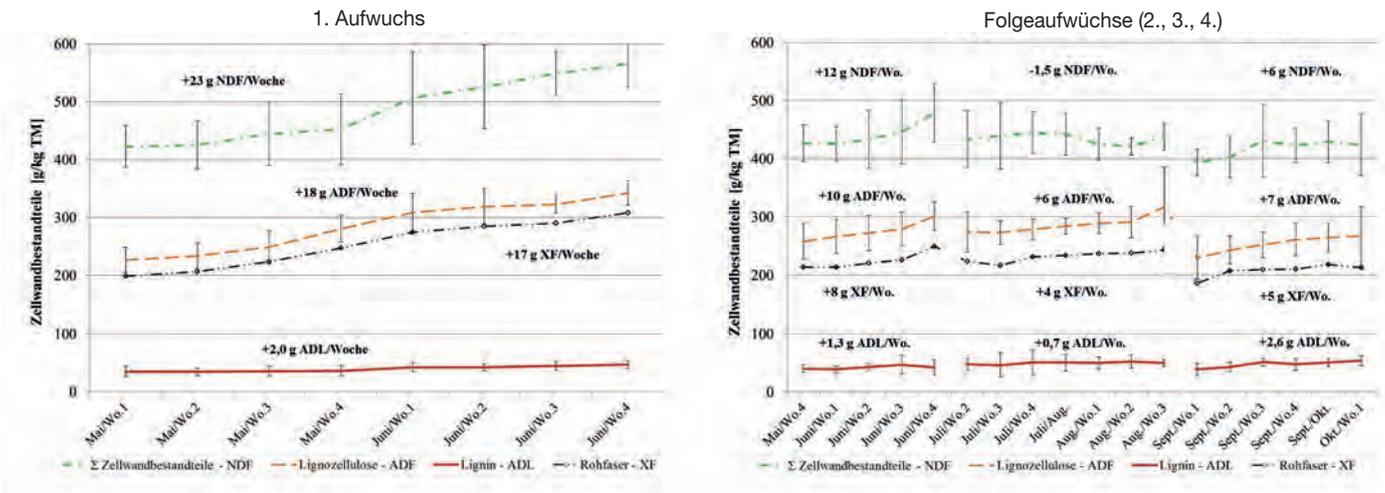
der Schwankungsbereich der Gehaltswerte, bedingt durch Standort- und Jahreseinflüsse, an den vertikalen Balkenspannen erkennbar.

Für die Praxis ist bedeutsam:

- der junge 1. Aufwuchs enthält relativ wenig Zellwandbestandteile, die wöchentlichen Zunahmen sind hoch.
- junge Folgeaufwüchse enthalten relativ viel ADF bzw. ADL, die wöchentliche Zunahme ist geringer.

Lignin (ADL = Säure-Detergenzien-Lignin) ist der Hauptfaktor, der die Verfügbarkeit der pflanzlichen Zellwand für Pflanzenfresser und damit die Verdaulichkeit des Futters begrenzt. Grund der Unverfügbarkeit der ADL-Fraktion für Pansenmikroben sind die starken Verkettingsungen zwischen Lignin und Hemizellulose (NDF minus ADF) in der Zellwand. ADL war im Dauerwiesenfutter des 1. Aufwuchses mit durchschnittlich 40 g/kg TM deutlich weniger

Abb. 4: Entwicklung der Gehalte von Zellwandbestandteilen im Dauerwiesenfutter



enthalten als in den Folgeaufwüchsen mit Gehaltswerten zwischen 45 und 62 g/kg TM. Die schlechtere Verdaulichkeit der organischen Masse von Dauerwiesenfutter in den Folgeaufwüchsen gegenüber dem 1. Aufwuchs lässt sich daher über die höheren Gehalte an Lignin und Hemizellulose wesentlich besser erklären als mit dem Rohfasergehalt (XF). Der ADL-Anteil an der NDF betrug bei Dauerwiesenfutter im 1. Aufwuchs konstant 8 %, in den Folgeaufwüchsen zwischen 10 bis 12 %.

menge in den meisten Fällen ein Optimum bildet. Beim Erscheinen der Gräserblütenstände bzw. der Blütenknospen von Leguminosen enthielt das untersuchte Wiesenfutter laut den „Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum“ (www.gruenland-viehwirtschaft.at) in der Regel Rohfasergehalte von 220 bis 260 g/kg TM. Die dem jeweiligen Entwicklungsstadium entsprechenden Wertebereiche für NDF, ADF und ADL sind in der Abbildung 2 dargestellt.

Einfluss Entwicklungsstadium auf Zellwandbestandteile

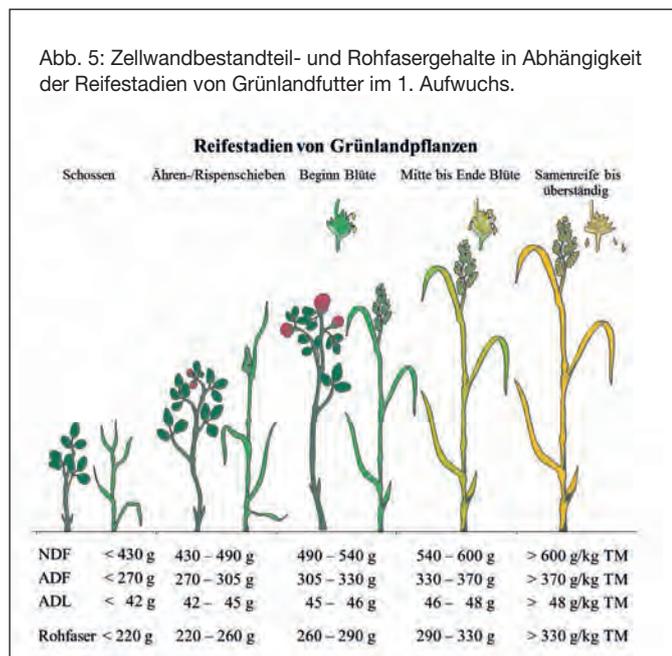
Die Entwicklung von Pflanzen wird in der Praxis durch die Erhebung unterschiedlicher phänologischer Stadien charakterisiert (Abbildung 5). Aus qualitativer Sicht hat das Vegetationsstadium Ähren-/Rispschieben eine große Bedeutung, weil in diesem Stadium die Kombination aus Futterqualität und Futter-

Zellwandbestandteile ausgesuchter Pflanzenarten

Wiesenbestände sind aufgrund von Standort, Klima, Bewirtschaftungsintensität etc. mit sehr unterschiedlichen Pflanzenarten ausgestattet. Einzelne Grünlandarten, aber auch Artengruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) üben einen starken Einfluss auf verschiedene Parameter der Futterqualität aus. Daher werden hier Schweizer Ergebnisse von neun ausgewählten Arten des Wirtschaftsgrünlandes, geprüft auf sechs Standorten, und deren Veränderungen im Vegetationsverlauf (vertikale Balkenspannen in den Abbildungen 6 bis 8) hinsichtlich der Zellwandbestandteile vorgestellt.

Die NDF-Gehalte unterschieden sich sehr stark zwischen den untersuchten Pflanzenarten, aber auch zwischen den Artengruppen sowie zwischen 1. Aufwuchs und Folgeaufwüchsen. Gräser enthielten von Beginn bis Ende der Entwicklung im Durchschnitt deutlich mehr NDF als Leguminosen und Kräuter, wobei Knaulgras und Wiesenfuchsschwanz im Niveau höher lagen als die beiden Raygrasarten. Bei den Kräutern veränderte sich der NDF-Anteil nur geringfügig, insbesondere beim Bärenklau.

Abb. 5: Zellwandbestandteil- und Rohfasergehalte in Abhängigkeit der Reifestadien von Grünlandfutter im 1. Aufwuchs.



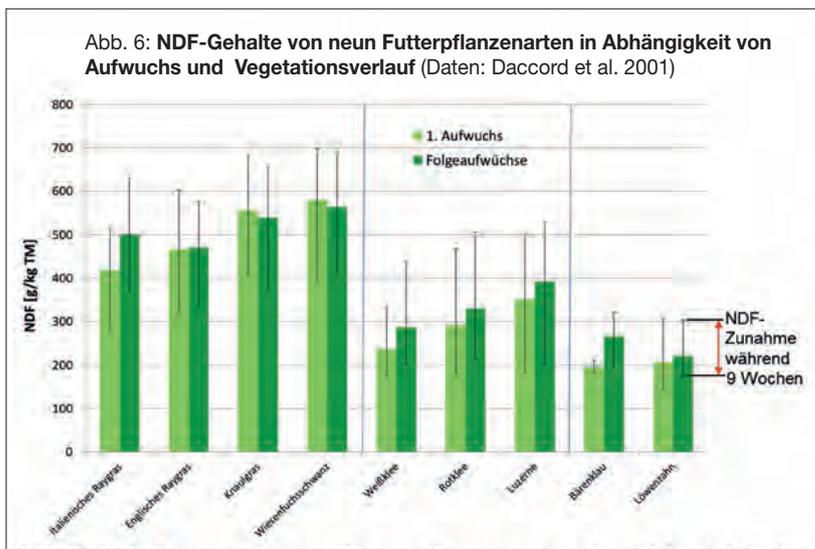
Weißklee bildete deutlich weniger NDF in dessen Entwicklung als Luzerne.

Die höchste NDF-Zunahme während der neunwöchigen Beobachtung trat bei Luzerne mit etwa +320 g NDF/kg TM auf. Weidebestände auf der Basis von Englisch Raygras und Weißklee wiesen wesentlich geringere NDF-Gehalte und höhere Nutzungselastizität auf als obergrasbetonte Dauerwiesen. Die NDF-Gehalte waren ausgenommen von Knautgras und Wiesenfuchsschwanz in den Folgeaufwüchsen höher als im 1. Aufwuchs.

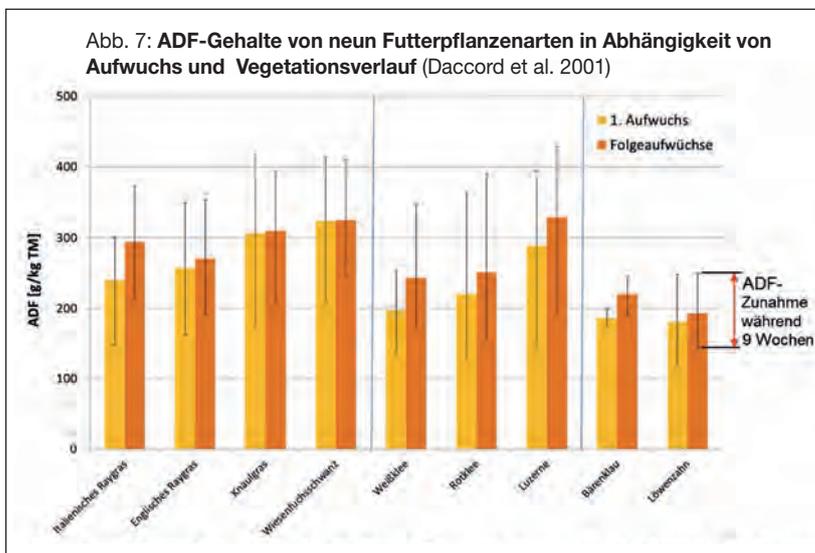
Im ADF-Gehalt (Säure-Detergenzien-Faser) ergaben sich ebenfalls große Differenzen zwischen Arten, Artengruppen und Aufwüchsen (Abb. 7). In der Gräsergruppe war der ADF-Gehalt im Durchschnitt höher als bei Leguminosen und Kräutern, wobei Knautgras und Wiesenfuchsschwanz im 1. Aufwuchs die höchsten ADF-Differenzen zwischen Minimum und Maximum verzeichneten. Luzerne war in der ADF-Zunahme (~250 g/kg TM) mit diesen beiden Grasarten durchaus vergleichbar, während Weißklee speziell im 1. Auf-



Der durchschnittliche Anteil von Lignin an der NDF beträgt bei Leguminosen und Kräutern 20 bis 25 %.



wuchs nur ~120 g ADF/kg TM zulegte. Bärenklau hatte wenig ADF im Minimum und legte bis zum Maximalwert nur sehr wenig zu. Unterschiede zwischen den Aufwüchsen traten bei den Gräsern nur im Fall des Italienischen Raygrases auf, wo die Folgeaufwüchse deutlich mehr ADF enthielten als im 1. Aufwuchs. Offensichtlich ist das Verhältnis von Stängeln und Blättern beim Italienischen Raygras in den Folgeaufwüchsen ungünstiger.



Die Ligningehalte der untersuchten Grünlandpflanzenarten zeigen in Abbildung 8, dass Gräser allgemein niedrigere ADL-Werte aufwiesen als Leguminosen und Kräuter. Die ADL-Zunahme betrug bei den Gräsern zwischen 30 und 60 g/kg TM, bei den Leguminosen zwischen 50 und 100 g ADL/kg TM. Bärenklau hatte mit 39 bzw. 47 g ADL/kg TM relativ hohe Minimalwerte, die Spannweite zum ADL-Höchstwerte waren mit max. 27 g von allen Pflanzenarten am geringsten. Bei den Gräsern fiel auf, dass die ADL-Zunahmen in den Folgeaufwüchsen geringer waren als beim 1. Aufwuchs und bei Leguminosen und Kräutern waren die ADL-Gehalte in den Folgeaufwüchsen fast in jedem Fall höher als beim 1. Aufwuchs.

Die prozentuellen Anteile von Hemizellulose, Zellulose und Lignin an der NDF sind

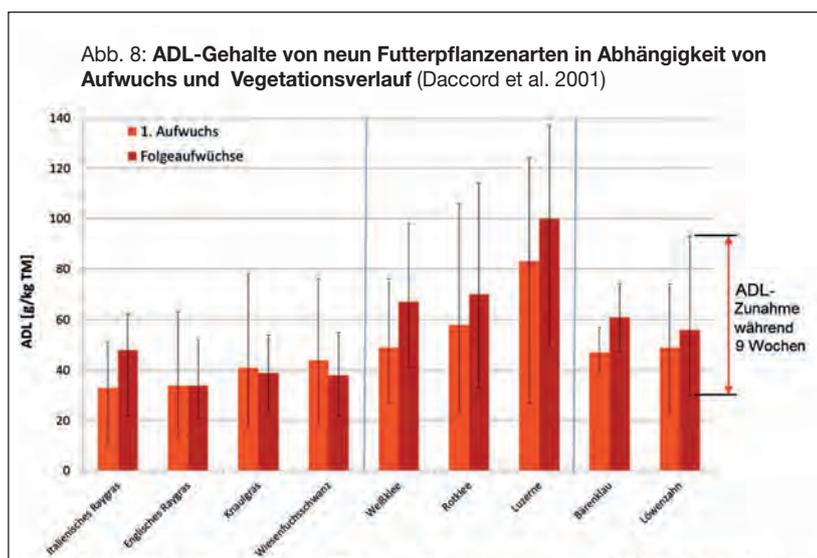
ebenfalls beachtenswert. Der durchschnittliche Anteil von Lignin an der NDF betrug bei Leguminosen und Kräutern 20 bis 25 %, bei den Gräsern nur 6 bis 10 %. Der Zelluloseanteil lag bei den Kleearten und Kräutern zwischen 55 und 70 %, bei den Gräsern nur 41 bis 50 %. Ein sehr großer Unterschied ergab sich im Anteil an Hemizellulose, der bei den Gräsern hoch war (41 bis 52 %) und sehr viel niedriger bei den Leguminosen und Kräutern (5 bis 25 %).

Faserstoffe in Futterkonserven

Das österreichische Wiesenfutter wird zu einem hohen Anteil als Grassilage oder Heu an die Wiederkäuer verfüttert, daher ist die Betrachtung der realen Praxisverhältnisse für die Einstufung der eigenen Konserven der Landwirte in punkto Gerüstsubstanzen von Bedeutung.

Die Zusammenstellung von über 1.000 Gerüstsubstanz-Untersuchungen aus dem Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich) ergab sehr deutliche Unterschiede zwischen den Konservierungsverfahren, aber auch zwischen den einzelnen Aufwüchsen (Tabelle 4). Im Durchschnitt wiesen Grassilagen niedrigere Gesamtgehalte an Faserstoffen (NDF) auf als Heu. Bodenheu des 1. Aufwuchses enthielt aufgrund der späteren Ernte und der Abbröckelung wertvoller Blattmasse im Durchschnitt um 87 Gramm mehr NDF in der TM als warmbelüftetes Heu.

In Österreich liegen im 1. Aufwuchs etwa 50 % der untersuchten Futterkonserven über 500 g NDF/kg TM, in den Folgeaufwüchsen verringert sich der NDF-Gehalt. Der durchschnittliche ADF-Gehalt der Futterkonserven liegt in Österreich deutlich über den Empfehlungen, d.h. dass nur das bessere Viertel der



Futterproben gute bis sehr gute Futterqualitäten aufwies. Hinsichtlich der Lignifizierung ist auffällig, dass im österreichischen Grundfutter im Durchschnitt hohe ADL-Gehalte zu beobachten sind, die kaum das wünschenswerte Niveau von weniger als 40 g/kg TM erreichten.

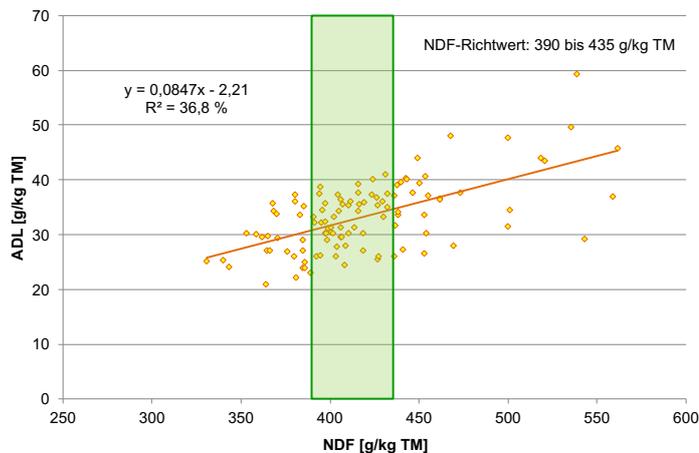
Faserstoffe im Silomais

Silomais ist in vielen Regionen ein wichtiger Bestandteil von Wiederkäuerrationen. Daher sollten die Landwirte ebenfalls über dessen Gehalt an Gerüstsubstanzen Bescheid wissen. In der Praxis können bei Maissilagen NDF-Gehalte zwischen 330 und 560 g/kg TM beobachtet werden. Die Faserstoffe werden mit zunehmender Kolbenreife reduziert. Erntezeitpunkt, Abreifeverhalten der Maissorte, aber auch die Witterung im Vegetationsverlauf beeinflussen den Gehalt an Zellwandbestandteilen. Im

Tab. 4: Gerüstsubstanzgehalte in österreichischen Grundfutterkonserven verschiedener Grünlandaufwüchse; Werte in g/kg TM (Futtermittellabor Rosenau 2003 bis 2016)

Parameter	Aufwuchs	Grassilage		Heu warmbelüftet (Ofentrocknung, Entfeuchtung, Dachabsaugung)		Heu kaltbelüftet		Heu ohne Belüftung	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
NDF	1.	483	52	510	61	531	73	597	51
	2.	446	55	484	48	489	45	513	69
	3.	432	47	451	48	471	37	501	49
	4.	395	50	428	40	440	33	-	-
ADF	1.	336	35	324	35	343	38	370	57
	2.	333	37	316	34	312	38	332	44
	3.	325	35	297	36	305	26	304	19
	4.	292	36	253	40	300	17	-	-
ADL	1.	53	13	54	14	64	11	68	20
	2.	60	12	54	13	56	13	56	12
	3.	64	11	50	13	56	12	47	5
	4.	55	10	49	17	49	6	-	-

Abb. 9: **Beziehung zwischen Zellwandbestandteilen und Lignin in Maissilagen** (Daten: Futtermittellabor Rosenau 2010 bis 2015)



Durchschnitt lagen die NDF-Gehalte der untersuchten Maissilageproben bei 420 g, die ADF-Gehalte bei 240 g und die Ligningehalte bei 33 g/kg TM. Der Grad der Lignifizierung steigt mit Zunahme der NDF-Gehalte (Abbildung 9), wobei die Streuung innerhalb des gleichen NDF-Gehaltes bis zu 30 g Lignin betragen kann.

Fazit für das Grundfutter

Die Bewertung der Zellwandbestandteile mit Hilfe der Gerüstsubstanzen (NDF, ADF und ADL) ist in der Lage, den realen Verhältnissen der Faserstoffe von Grünlandfutter wesentlich näher zu kommen als die klassische Rohfaseranalyse. Sowohl Pflanzenarten, Artengruppen, das Vegetationsstadium als auch der Aufwuchs haben einen großen Einfluss auf die Bildung von Zellwandbestandteilen. Aufgrund dieser Erkenntnisse sollten Landwirte in der Lage sein ihre qualitativen Ziele durch bewusste Lenkung der Arten des Pflanzenbe-

Wiesenfutter wird meist in Form von Heu oder Grassilage an Wiederkäuer verfüttert. Von der Zusammensetzung der Zellwandbestandteile hängt die Verdaulichkeit ab.

standes und der Auswahl des geeigneten Erntezeitpunktes sowie optimaler Futterkonservierung zu erreichen. Die nasschemische Laboranalyse von Lignin muss stärker in den Vordergrund gerückt werden, weil der Grad der Lignifizierung im Grundfutter in der Praxis hoch sein kann und dadurch die Verdaulichkeit und Energie stark beeinträchtigt werden.

Qualitativ hochwertiges Grünlandfutter aus Österreich sollte weniger als 500 g NDF bzw. 300 g ADF und weniger als 40 g ADL je kg TM aufweisen. Liegen die Gehaltswerte der Gerüstsubstanzen über diesen Empfehlungen, muss mit deutlich verringerten Verdaulichkeiten gerechnet werden. Gute Silomaisqualität sollte 380 bis 430 g NDF, 205 bis 235 g ADF und weniger als 30 g ADL/kg TM enthalten. ■



Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal, Telefon: ++43/(0)3682/22 451-346
E-Mail: office@gruenland-viehwirtschaft.at, www.gruenland-viehwirtschaft.at

ÖAG-Info:
1/2018

Impressum: Für den Inhalt verantwortlich: **Autoren:** Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, Institut für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Ing. Reinhard Resch, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, DI Gerald Stögmüller, Futtermittellabor Rosenau der LK-Niederösterreich **Fachgruppe:** Futterbau und Futterkonservierung **Vorsitzender:** Ing. Reinhard Resch; **Geschäftsführer:** Dr. Wilhelm Graiss, HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

Fotos: Von den Autoren zur Verfügung gestellt. **Zitiervorschlag:** Gruber, L., Resch, R., Stögmüller, G. (2018): Den Wert des Grundfutters an den Gerüstsubstanzen erkennen ÖAG-Info 1/2018. Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft (ÖAG) Irdning-Donnersbachtal, 12 Seiten.