

15. Formeln und Regressionsgleichungen

Roger Daccord, Yves Arrigo und Claude Chaubert

Inhaltsverzeichnis

15.	Formeln und Regressionsgleichungen.....	2
15.1	Raufutter	2
15.1.1	Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Raufutter (Wiesenmischbestände und Reinbestände)	2
15.1.2	Berechnung des Energiegehaltes.....	10
15.1.3	Berechnung des APD-Gehaltes.....	11
15.2	Grundlegende Beziehungen für Einzelfutter (ohne Raufutter)	13
15.2.1	Energiegehalt.....	13
15.2.2	APD-Gehalt.....	13
15.3	Regressionsgleichungen zur Schätzung des Nährwertes im Kraftfutter (Mischfutter).....	14
15.3.1	Energiegehalt.....	14
15.3.2	APD-Gehalt.....	14
15.4	Umrechnungsfaktoren und Vergleichbarkeit	15
15.5	Literatur.....	16



15. Formeln und Regressionsgleichungen

15.1 Raufutter

Die Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Raufutter basieren nun auf der Rohfaser oder der Lignozellulose (ADF).

15.1.1 Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Raufutter (Wiesenmischbestände und Reinbestände)

Wiesenmischbestände

vOS : Verdaulichkeit der organischen Substanz, %
 RP_{OS} : Rohprotein, g/kg organische Substanz
 RF_{OS} : Rohfaser, g/kg organische Substanz
 ADF_{OS} : Lignocellulose (ADF), g/kg organische Substanz

Anwendungsbereich: minimaler und maximaler Wertbereich

RP, g/kg TS : 50 – 280
 RF, g/kg TS : 130 – 400
 ADF, g/kg TS : 170 – 420
 vOS, % : 55 – 84

Genauigkeit: Das gewählte mathematische Modell liefert keine Angaben zur wahren Genauigkeit der Regressionsgleichungen. Die Schätzgenauigkeit bewegt sich in der gleichen Grössenordnung wie im Grünen Buch (RAP 1999), das heisst, eine Standardabweichung von 2 bei einem Bestimmtheitsmass (R^2) zwischen 0.70 (Typ G) und 0.50 (Typen K_F und K_G).

Achtung: Die Regressionsgleichungen ausgehend von einer unbekanntem botanischen Zusammensetzung überschätzen die vOS von Futter, das von leguminosenreichen (Typ L) und kräuterreichen (Typ K_F und K_G) Beständen stammt.

Korrektur der vOS nach Aufwuchs und Entwicklungsstadium: Wenn der Aufwuchs (1. Aufwuchs oder 2. und folgende Aufwüchse) und das Entwicklungsstadium der vorliegenden Futterprobe bekannt sind, dann können die vOS-Werte gemäss den Angaben in der Tabelle 15.1 korrigiert werden. Für spätere Stadien nimmt man die Korrektur vom Stadium 5.

Tabelle 15.1. Korrektur der vOS nach Aufwuchs und Entwicklungsstadium

Typ	Stadium:	Korrektureinheiten *									
		1. Aufwuchs					2. und folgende Aufwüchse				
		Stad. 1	Stad. 2	Stad. 3	Stad. 4	Stad. 5	Stad. 1	Stad. 2	Stad. 3	Stad. 4	Stad. 5
G	gräserreiche Mischbestände	5	5	4	3	0	-2	-2	-2	-2	-3
GR	gräserreiche Mischbestände, hauptsächlich Raigras	6	6	5	5	3	-1	-1	-2	-4	-4
A	Ausgewogene Mischbestände	4	4	4	3	0	-2	-2	-3	-3	-3
AR	Ausgewogene Mischbestände, hauptsächlich Raigras	5	5	5	5	2	-1	-1	-2	-3	-3
L	leguminosenreiche Mischbestände	3	4	5	5	3	2	1	0	0	-1
KF	kräuterreiche Mischbestände, feinblättrige Kräuter	3	3	3	3	2	-2	-2	-2	-2	-4
KG	kräuterreiche Mischbestände, grobstängelige Kräuter	2	2	2	-1	-5	1	-1	-4	-6	-11
Unb.	Bestände unbekannter botanischer Zusammensetzung	5	5	5	4	4	-3	-3	-4	-3	-3

* Einheiten zu der vOS hinzuzählen oder abziehen

Wenn das Stadium nicht bekannt ist, wird ein Korrekturfaktor in Abhängigkeit des Grünfutters und dessen Konserven geschätzt. Für Grünfutter, Silage und künstlich getrocknetes Grünfutter wird die durchschnittliche Korrektur für die Stadien

2 und 3 verwendet, für Dürrfutter die durchschnittliche Korrektur für die Stadien 3 und 4. Die Korrekturen gelten sowohl für Grünfutter als auch für dessen Konserven.

Grünfutter

1.1 G : gräserreiche Mischbestände

$$vOS = 34.0 + 0.1654 RP_{OS} + 0.1776 RF_{OS} - 0.000257 RP_{OS}^2 - 0.000391 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 25.7 + 0.1654 RP_{OS} + 0.2169 ADF_{OS} - 0.000256 RP_{OS}^2 - 0.000413 ADF_{OS}^2$$

1.2 GR : gräserreiche Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 21.9 + 0.1209 RP_{OS} + 0.3580 RF_{OS} - 0.000186 RP_{OS}^2 - 0.000794 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 13.3 + 0.1209 RP_{OS} + 0.3823 ADF_{OS} - 0.000186 RP_{OS}^2 - 0.000746 ADF_{OS}^2$$

1.3 A : ausgewogene Mischbestände

$$vOS = 40.6 + 0.1599 RP_{OS} + 0.1431 RF_{OS} - 0.000248 RP_{OS}^2 - 0.000351 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 32.3 + 0.1599 RP_{OS} + 0.1866 ADF_{OS} - 0.000248 RP_{OS}^2 - 0.000382 ADF_{OS}^2$$

1.4 AR : ausgewogene Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 43.2 + 0.0859 RP_{OS} + 0.2559 RF_{OS} - 0.000132 RP_{OS}^2 - 0.000678 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 34.4 + 0.0863 RP_{OS} + 0.2914 ADF_{OS} - 0.000133 RP_{OS}^2 - 0.000647 ADF_{OS}^2$$

1.5 L : leguminosenreiche Mischbestände

$$vOS = 86.0 - 0.000231 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 87.4 - 0.000179 ADF_{OS}^2$$

1.6 KF : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Löwenzahn

$$vOS = 58.9 + 0.0792 RP_{OS} + 0.1320 RF_{OS} - 0.000121 RP_{OS}^2 - 0.000428 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 48.6 + 0.0779 RP_{OS} + 0.2008 ADF_{OS} - 0.000118 RP_{OS}^2 - 0.000487 ADF_{OS}^2$$

1.7 KG : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Doldengewächse

$$vOS = 43.6 + 0.1806 RP_{OS} + 0.1384 RF_{OS} - 0.000298 RP_{OS}^2 - 0.000475 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 35.2 + 0.1813 RP_{OS} + 0.1512 ADF_{OS} - 0.000299 RP_{OS}^2 - 0.000311 ADF_{OS}^2$$

1.8 Unb : Bestände unbekannter botanischer Zusammensetzung

$$vOS = 56.7 + 0.1262 RP_{OS} + 0.0939 RF_{OS} - 0.000231 RP_{OS}^2 - 0.000312 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 54.8 + 0.1121 RP_{OS} + 0.1221 ADF_{OS} - 0.000207 RP_{OS}^2 - 0.000335 ADF_{OS}^2$$

Silagen

2.1 G : gräserreiche Mischbestände

$$vOS = 26.3 + 0.1653 RP_{OS} + 0.2041 RF_{OS} - 0.000241 RP_{OS}^2 - 0.000419 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 10.8 + 0.1652 RP_{OS} + 0.2793 ADF_{OS} - 0.000240 RP_{OS}^2 - 0.000484 ADF_{OS}^2$$

2.2 GR : gräserreiche Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 10.4 + 0.1206 RP_{OS} + 0.4102 RF_{OS} - 0.000174 RP_{OS}^2 - 0.000849 RF_{OS}^2$$

$$vOS = -9.4 + 0.1206 RP_{OS} + 0.4916 ADF_{OS} - 0.000174 RP_{OS}^2 - 0.000872 ADF_{OS}^2$$

2.3 A : ausgewogene Mischbestände

$$vOS = 34.1 + 0.1596 RP_{OS} + 0.1653 RF_{OS} - 0.000233 RP_{OS}^2 - 0.000376 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 19.4 + 0.1596 RP_{OS} + 0.2424 ADF_{OS} - 0.000232 RP_{OS}^2 - 0.000447 ADF_{OS}^2$$

2.4 AR : ausgewogene Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 34.9 + 0.0857 RP_{OS} + 0.2967 RF_{OS} - 0.000124 RP_{OS}^2 - 0.000724 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 16.9 + 0.0864 RP_{OS} + 0.3815 ADF_{OS} - 0.000125 RP_{OS}^2 - 0.000755 ADF_{OS}^2$$

2.5 L : leguminosenreiche Mischbestände

$$vOS = 85.8 - 0.000229 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 88.3 - 0.000181 ADF_{OS}^2$$

2.6 KF : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Löwenzahn

$$vOS = 54.0 + 0.0780 RP_{OS} + 0.1557 RF_{OS} - 0.000111 RP_{OS}^2 - 0.000457 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 36.1 + 0.0759 RP_{OS} + 0.2680 ADF_{OS} - 0.000107 RP_{OS}^2 - 0.000572 ADF_{OS}^2$$

2.7 KG : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Doldengewächse

$$vOS = 37.4 + 0.1809 RP_{OS} + 0.1622 RF_{OS} - 0.000280 RP_{OS}^2 - 0.000500 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 24.2 + 0.1819 RP_{OS} + 0.1929 ADF_{OS} - 0.000282 RP_{OS}^2 - 0.000355 ADF_{OS}^2$$

2.8 Unb : Bestände unbekannter botanischer Zusammensetzung

$$vOS = 51.8 + 0.1275 RP_{OS} + 0.1116 RF_{OS} - 0.000219 RP_{OS}^2 - 0.000333 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 45.7 + 0.1145 RP_{OS} + 0.1661 ADF_{OS} - 0.000199 RP_{OS}^2 - 0.000390 ADF_{OS}^2$$

Dürrfutter (Heu und Emd)

3.1 G : gräserreiche Mischbestände

$$vOS = 28.5 + 0.1769 RP_{OS} + 0.1730 RF_{OS} - 0.000313 RP_{OS}^2 - 0.000351 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 20.4 + 0.1769 RP_{OS} + 0.2090 ADF_{OS} - 0.000312 RP_{OS}^2 - 0.000371 ADF_{OS}^2$$

3.2 GR : gräserreiche Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 14.8 + 0.1292 RP_{OS} + 0.3494 RF_{OS} - 0.000226 RP_{OS}^2 - 0.000713 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 6.6 + 0.1292 RP_{OS} + 0.3694 ADF_{OS} - 0.000226 RP_{OS}^2 - 0.000670 ADF_{OS}^2$$

3.3 A : ausgewogene Mischbestände

$$vOS = 35.1 + 0.1710 RP_{OS} + 0.1408 RF_{OS} - 0.000302 RP_{OS}^2 - 0.000315 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 26.9 + 0.1711 RP_{OS} + 0.1809 ADF_{OS} - 0.000302 RP_{OS}^2 - 0.000343 ADF_{OS}^2$$

3.4 AR : ausgewogene Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 35.8 + 0.0920 RP_{OS} + 0.2539 RF_{OS} - 0.000162 RP_{OS}^2 - 0.000609 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 27.3 + 0.0924 RP_{OS} + 0.2846 ADF_{OS} - 0.000162 RP_{OS}^2 - 0.000581 ADF_{OS}^2$$

3.5 L : leguminosenreiche Mischbestände

$$vOS = 80.4 - 0.000189 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 81.6 - 0.000149 ADF_{OS}^2$$

3.6 KF : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Löwenzahn

$$vOS = 52.2 + 0.0845 RP_{OS} + 0.1341 RF_{OS} - 0.000147 RP_{OS}^2 - 0.000385 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 41.7 + 0.0829 RP_{OS} + 0.1981 ADF_{OS} - 0.000143 RP_{OS}^2 - 0.000439 ADF_{OS}^2$$

3.7 KG : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Doldengewächse

$$vOS = 37.6 + 0.1940 RP_{OS} + 0.1411 RF_{OS} - 0.000363 RP_{OS}^2 - 0.000425 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 29.9 + 0.1947 RP_{OS} + 0.1464 ADF_{OS} - 0.000365 RP_{OS}^2 - 0.000278 ADF_{OS}^2$$

3.8 Unb : Bestände unbekannter botanischer Zusammensetzung

$$vOS = 50.6 + 0.1360 RP_{OS} + 0.0952 RF_{OS} - 0.000282 RP_{OS}^2 - 0.000280 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 48.5 + 0.1210 RP_{OS} + 0.1214 ADF_{OS} - 0.000254 RP_{OS}^2 - 0.000300 ADF_{OS}^2$$

Raufutter künstlich getrocknet**4.1 G : gräserreiche Mischbestände**

$$vOS = 65.3 + 0.0869 RP_{OS} + 0.0692 RF_{OS} - 0.000175 RP_{OS}^2 - 0.000299 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 57.4 + 0.1132 RP_{OS} + 0.1171 ADF_{OS} - 0.000271 RP_{OS}^2 - 0.000336 ADF_{OS}^2$$

4.2 GR : gräserreiche Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 63.8 + 0.1905 RF_{OS} - 0.000602 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 41.4 + 0.3186 ADF_{OS} - 0.000707 ADF_{OS}^2$$

4.3 A : ausgewogene Mischbestände

$$vOS = 80.8 + 0.0383 RF_{OS} - 0.000285 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 66.4 + 0.1432 ADF_{OS} - 0.000404 ADF_{OS}^2$$

4.4 AR : ausgewogene Mischbestände, hauptsächlich Raigras

$$vOS = 63.2 + 0.1888 RF_{OS} - 0.000610 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 42.7 + 0.3090 ADF_{OS} - 0.000697 ADF_{OS}^2$$

4.5 L : leguminosenreiche Mischbestände

$$vOS = 74.8 + 0.0693 RF_{OS} - 0.000363 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 68.3 + 0.1159 ADF_{OS} - 0.000360 ADF_{OS}^2$$

4.6 KF : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Löwenzahn

$$vOS = 70.2 + 0.1057 RF_{OS} - 0.000414 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 50.21 + 0.2478 ADF_{OS} - 0.000582 ADF_{OS}^2$$

4.7 KG : kräuterreiche Mischbestände, hauptsächlich Doldengewächse

$$vOS = 56.6 + 0.1229 RP_{OS} + 0.1021 RF_{OS} - 0.000237 RP_{OS}^2 - 0.000459 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 48.4 + 0.2396 RP_{OS} + 0.0452 ADF_{OS} - 0.000507 RP_{OS}^2 - 0.000200 ADF_{OS}^2$$

4.8 Unb : Bestände unbekannter botanischer Zusammensetzung

$$vOS = 48.6 + 0.1603 RP_{OS} + 0.0710 RF_{OS} - 0.000344 RP_{OS}^2 - 0.000250 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 42.8 + 0.1450 RP_{OS} + 0.1241 ADF_{OS} - 0.000320 RP_{OS}^2 - 0.000305 ADF_{OS}^2$$

Reinbestände

Anwendungsbereich: minimaler und maximaler Wertbereich

RP, g/kg TS: 50 – 320

RF, g/kg TS: 130 – 410

ADF, g/kg TS: 150 – 450

vOS, %: 45 – 87

Genauigkeit: Wie bei den Mischbeständen kann man aufgrund des gewählten mathematischen Modells keine Angaben zur wahren Genauigkeit der Regressionsgleichungen geben. Die Grössenordnung der Standardabweichung liegt zwischen 2 und 4 und das Bestimmtheitsmass (R^2) variiert je nach Futterpflanze und Aufwuchs zwischen 0.80 und 0.60.

Achtung: Die Regressionsgleichungen reagieren empfindlich auf das Verhältnis RP zu RF oder ADF. Wenn eine Futterprobe zu stark von diesen Beziehungen gemäss Tabellenwerten abweicht, kann ein nicht korrekter Schätzwert für die vOS resultieren.

Korrektur der vOS nach Aufwuchs und Entwicklungsstadium: Wenn der Aufwuchs (1. Aufwuchs oder 2. und folgende Aufwüchse) und das Entwicklungsstadium der vorliegenden Futterprobe bekannt sind, können die vOS-Werte gemäss den Angaben in der Tabelle 15.2 korrigiert werden. Für alle Bestände, bei denen das Stadium nicht bekannt ist, wird ein Korrekturfaktor in Abhängigkeit des Grünfutters und dessen Konserven geschätzt. Für Grünfutter, Silage und künstlich getrocknetes Grünfutter wird die durchschnittliche Korrektur für die Stadien 2 und 3 verwendet, für Dürrfutter die durchschnittliche Korrektur für die Stadien 3 und 4. Die Korrekturen gelten sowohl für Grünfutter als auch für dessen Konserven.

Tabelle 15.2. Korrektur der vOS nach Aufwuchs und Entwicklungsstadium

Typ		Korrektureinheiten *									
		1. Aufwuchs					2. und folgende Aufwüchse				
		Stad. 1	Stad. 2	Stad. 3	Stad. 4	Stad. 5	Stad. 1	Stad. 2	Stad. 3	Stad. 4	Stad. 5
DG	Knautgras	-2	0	3	5	4	1	0	0	-3	-2
LP	Englisches Raigras	-2	0	3	5	5	-1	-2	-4	-4	-4
LM	Italienisches Raigras	-3	-1	3	4	-2	0	3	4	2	-3
AP	Wiesenfuchsschwanz	0	5	3	2	0	-2	-3	-3	-3	-3
TP	Weissklee	2	3	3	2	1	1	1	1	0	-3
TR	Rotklee	0	3	3	2	0	-2	-1	-1	-1	-3
MS	Luzerne	1	1	1	1	1	-3	-2	-1	-2	-1

* Einheiten zu der vOS hinzuzählen oder abziehen

Grünfutter in Reinbeständen

1.9 Knautgras

$$vOS = 93.6 - 0.000221 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 96.3 - 0.000212 ADF_{OS}^2$$

1.10 Englisches Raigras

$$vOS = 95.5 + 0.0122 RP_{OS} - 0.000316 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 98.3 + 0.0013 RP_{OS} - 0.000279 ADF_{OS}^2$$

1.11 Italienisches Raigras

$$vOS = 101.7 - 0.000446 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 101.1 - 0.000339 ADF_{OS}^2$$

1.12 Wiesenfuchsschwanz

$$vOS = 90.1 + 0.0414 RP_{OS} - 0.000309 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 98.6 + 0.0144 RP_{OS} - 0.000282 ADF_{OS}^2$$

1.13 Weissklee

$$vOS = 58.2 + 0.0732 RP_{OS} - 0.000022 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 61.7 + 0.0642 RP_{OS} - 0.000030 ADF_{OS}^2$$

1.14 Rotklee

$$vOS = 78.8 + 0.000047 RP_{OS}^2 - 0.000154 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 80.2 + 0.000041 RP_{OS}^2 - 0.000118 ADF_{OS}^2$$

1.15 Luzerne

$$vOS = 52.4 + 0.0898 RP_{OS} - 0.000062 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 56.7 + 0.0796 RP_{OS} - 0.000060 ADF_{OS}^2$$

Silagen in Reinbeständen**2.9 Knaulgras**

$$vOS = 94.5 - 0.000225 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 99.2 - 0.000224 ADF_{OS}^2$$

2.10 Englisches Raigras

$$vOS = 101.5 - 0.000352 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 102.2 - 0.000293 ADF_{OS}^2$$

2.11 Italienisches Raigras

$$vOS = 103.8 - 0.000449 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 104.1 - 0.000341 ADF_{OS}^2$$

2.12 Wiesenfuchsschwanz

$$vOS = 86.1 + 0.0573 RP_{OS} - 0.000291 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 101.8 + 0.0173 RP_{OS} - 0.000293 ADF_{OS}^2$$

2.13 Weissklee

$$vOS = 86.5 - 0.000261 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 87.1 - 0.000152 ADF_{OS}^2$$

2.14 Rotklee

$$vOS = 82.5 - 0.000189 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 84.1 - 0.000141 ADF_{OS}^2$$

2.15 Luzerne

$$vOS = 72.3 + 0.0249 RP_{OS} - 0.000128 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 65.3 + 0.0517 RP_{OS} - 0.000088 ADF_{OS}^2$$

Dürrfutter in Reinbeständen**3.9 Knaulgras**

$$vOS = 87.6 - 0.000187 RF_{OS}^2$$

$$vOS = 90.1 - 0.000180 ADF_{OS}^2$$

3.10 Englisches Raigras

$$vOS = 93.5 - 0.000291 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 92.3 - 0.000236 ADF^2_{OS}$$

3.11 Italienisches Raigras

$$vOS = 95.5 - 0.000370 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 93.9 - 0.000277 ADF^2_{OS}$$

3.12 Wiesenfuchsschwanz

$$vOS = 98.0 - 0.000322 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 95.8 - 0.000249 ADF^2_{OS}$$

3.13 Weissklee

$$vOS = 81.0 - 0.000216 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 80.9 - 0.000129 ADF^2_{OS}$$

3.14 Rotklee

$$vOS = 77.6 - 0.000156 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 78.3 - 0.000116 ADF^2_{OS}$$

3.15 Luzerne

$$vOS = 76.8 - 0.000131 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 78.1 - 0.000107 ADF^2_{OS}$$

Raufutter künstlich getrocknet in Reinbeständen

4.9 Luzerne

$$vOS = 78.7 - 0.000149 RF^2_{OS}$$

$$vOS = 80.8 - 0.000118 ADF^2_{OS}$$

Maispflanzen

Obwohl der Maisanbau eine grosse Ausdehnung erfahren hat, bleibt die korrekte Einschätzung des Futterwertes der Ganzpflanze (Nährwert und Verzehrbareit) problematisch. Oft begnügt man sich mit einem Standardenergiegehalt (6.5 MJ NEL oder 6.8 MJ NEV pro kg TS für Maissilage), obwohl die Zusammensetzung der Maispflanze (Sorte und Reifestadium) und die Standort- und Witterungsbedingungen sehr variabel sind.

Der Energiewert der Maispflanze hängt stark von der vOS ab. Die wichtigsten Variationsursachen sind der Stärkegehalt, dessen vOS hoch und praktisch konstant bleibt (>90 %), und der Gehalt an Zellwandfraktionen (RF oder NDF und ADF), deren vOS in einem weiten Bereich variieren können (45 bis 75 %; Andrieu und Baumont, 2000; Barrière und Emile, 2000; Daccord et al., 1996; Herter et al., 1995). Da die Zellwände (NDF) fast die Hälfte der Pflanzen-TS ausmachen, ist der Gehalt an unverdaulicher Zellwand der Hauptvariationsfaktor der vOS. Leider ist die Laborbestimmung der Verdaulichkeit dieser Fraktion schwierig und teuer, wenn man über keine Nahinfrarotspektroskopie-Methode (NIRS) verfügt. Es bleiben die chemisch leicht zu bestimmenden Parameter übrig. Man muss sich aber bewusst sein, dass diese keine genaue Schätzung der vOS der Maisganzpflanzen zulassen.

Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Maisganzpflanzen oder von Maispflanzen, die in anderer Form vorliegen

Regressionsgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Maisganzpflanzen

Für Mais (ganze Pflanze) sind zahlreiche Schätzgleichungen publiziert worden. Zu den aktuellsten gehören die von Andrieu und Baumont (2000) sowie Baumont (2006, persönliche Mitteilung):

(Formel 1) $vOS = 79.4 + 0.0652 RP_{os} - 0.0591 RF_{os}$
 $R^2 = 0.40$; Reststandardabweichung = 2

(Formel 2) $vOS = 75.7 + 0.0701 RP_{os} + 0.0156 NDF_{os} - 0.0720 ADF_{os}$
 $R^2 = 0.41$; Reststandardabweichung = 2

Da die Schätzgenauigkeit relativ ungenau ist, können diese Regressionsgleichungen sowohl für Grünmais als auch für silierten und künstlich getrockneten Mais verwendet werden. Die mit Hilfe von diesen Regressionsgleichungen geschätzten Werte liegen im ähnlichen Bereich wie die Werte von Daccord et al. (1995).

2012 wurde eine Synthesearbeit an Agroscope durchgeführt, um die Schätzgleichungen zur Bestimmung der verdaulichen organischen Substanz ($VOS = OS \times vOS/100$) zu verbessern. Dabei wurden die in vivo bestimmten vOS-Werte von insgesamt 124 untersuchten Maisproben mit 534 Einzelwerten berücksichtigt. Folgende Schätzgleichungen wurden aufgestellt:

- entweder erfolgt dies über eine Korrektur der berechneten VOS über eine Schätzgleichung mit RF der Formel 1

$$VOS_{korrigiert} = 1.2812 \times (vOS/100 \text{ (Formel 1)} \times OS) - 180.35 \quad (R^2 \text{ 0.69})$$

$$vOS = VOS_{korrigiert}/OS$$

- oder über eine Korrektur der berechneten VOS über eine Schätzgleichung mit ADF und NDF der Formel 2

$$VOS_{korrigiert} = 1.2653 \times (vOS/100 \text{ (Formel 2)} \times OS) - 156.12 \quad (R^2 \text{ 0.69})$$

$$vOS = VOS_{korrigiert}/OS$$

- Oder sie erfolgt über eine neue Gleichung (ALP12, R^2 0.77), die auf den in vivo bestimmten Daten basiert und die Van Soest bestimmten Faserstoffe (ADF, NDF) und Rohfaser berücksichtigt. Die Werte werden als g/kg TS eingegeben.

$$VOS_{ALP12} = -1016.7 + (OS \times 1.8) + [(RP \times NfE)/1000 \times 1.106] + [(RP_{os} \times HEM_{os})/1000 \times -3.01] + [(RF_{os} \times NDF_{os})/1000 \times -0.0013] + 10.3$$

$$vOS = VOS_{ALP12}/OS$$

$$HEM = NDF - ADF; NfE = OS - RP - RF - RL \text{ (wenn RL nicht vorhanden, } RL = 35 \text{ g/kg TS)}$$

Regressionsgleichung zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz von Maispflanzen, die in anderer Form vorliegen (nur Stängel und Blätter, oder Hochschnittmais, oder Pflanzen mit zusätzlichen Kolben)

$$VOS_{ALP12} = -1016.7 + (OS \times 1.8) + [(RP \times NfE)/1000 \times 1.106] + [(RP_{os} \times HEM_{os})/1000 \times -3.01] + [(RF_{os} \times NDF_{os})/1000 \times -0.0013] - 10.3$$

$$vOS = VOS_{ALP12}/OS$$

$$HEM = NDF - ADF; NfE = OS - RP - RF - RL \text{ (wenn RL nicht vorhanden, } RL = 35 \text{ g/kg TS)}$$

15.1.2 Berechnung des Energiegehaltes

In den nachstehenden Regressionsgleichungen zur Berechnung des Energiegehaltes werden folgende Abkürzungen verwendet:

BE	=	Bruttoenergie, MJ/kg
UE	=	umsetzbare Energie, MJ/kg
q	=	Umsetzbarkeit der Bruttoenergie
NEL	=	Nettoenergie Milch, MJ/kg
NEV	=	Nettoenergie Mast, MJ/kg
k _L	=	Teilwirkungsgrad der UE für die Milchleistung
k _V	=	Teilwirkungsgrad der UE für Wachstum
k _{En}	=	Teilwirkungsgrad der UE für Erhaltung
OS	=	organische Substanz, g/kg
VOS	=	verdauliche organische Substanz, g/kg
RP	=	Rohprotein, g/kg
RP _{OS}	=	Rohprotein, g/kg OS
VP	=	verdauliches Rohprotein, g/kg

Bruttoenergie

Raufutter (ausser Mais): **BE** = 0.0188 OS + 0.0078 RP

Mais ganze Pflanze: **BE** = 0.0196 OS

Umsetzbare Energie

Raufutter (ausser Mais):

UE = 0.0142 VOS + 0.0059 VP, wenn VOS/VP < 7

UE = 0.0151 VOS, wenn VOS/VP ≥ 7

Mais ganze Pflanze:

UE = 0.0155 VOS

VP für Grünfutter und Silagen:

$$\mathbf{VP} = \mathbf{RP} (0.33 + 0.0033 \mathbf{RP}_{OS} - 0.0000061 \mathbf{RP}_{OS}^2)$$

VP für Dürrfutter und künstlich getrocknetes Raufutter:

$$\mathbf{VP} = \mathbf{RP} (0.29 + 0.0033 \mathbf{RP}_{OS} - 0.0000064 \mathbf{RP}_{OS}^2)$$

Nettoenergie

$$\mathbf{NEL} = \mathbf{k}_L \times \mathbf{UE} \times 0.9752$$

$$\mathbf{NEV} = \mathbf{k}_{EnV} \times \mathbf{UE}$$

$$\mathbf{k}_L = 0.463 + 0.24 \mathbf{q}$$

$$\mathbf{q} = \mathbf{UE} / \mathbf{BE}$$

$$\mathbf{k}_{En} = 0.554 + 0.287 \mathbf{q}$$

$$\mathbf{k}_V = 0.006 + 0.78 \mathbf{q}$$

$$\mathbf{k}_{EnV} = (1.5 \times \mathbf{k}_{En} \times \mathbf{k}_V) / ([0.5 \times \mathbf{k}_{En}] + \mathbf{k}_V)$$

15.1.3 Berechnung des APD-Gehaltes

In den nachstehenden Regressionsgleichungen werden die folgenden Abkürzungen verwendet:

APDE	= absorbierbares Protein im Darm, das auf Grund der verfügbaren Energiemenge aufgebaut werden kann, g/kg
APDN	= absorbierbares Protein im Darm, das auf Grund des abgebauten Rohproteins aufgebaut werden kann, g/kg
OS	= organische Substanz, g/kg
vOS	= Verdaulichkeit der OS, %
FOS	= fermentierbare OS, g/kg
RP	= Rohprotein, g/kg
RP _{OS}	= Rohprotein in OS, g/kg OS
aRP	= Abbaubarkeit des RP, %
RL	= Rohlipide, g/kg
FP	= Fermentationsprodukte von Silagen, g/kg
vASF	= Verdaulichkeit der aus dem Futter stammenden Aminosäuren, %
St	= Stärke, g/kg
aST	= Abbaubarkeit der Stärke, %

Der Anwendungsbereich zur Schätzung der Abbaubarkeit des Rohproteins und der Verdaulichkeit der aus dem Futter stammenden Aminosäuren ist beschränkt auf Futter, welches ähnliche Nährwerte wie das in den Tabellen angegebene Futter der Standardmischbestände aufweist.

Absorbierbares Protein im Darm

$$\text{APDE} = 0.093 \times \text{FOS} + \text{RP} \times (1.11 \times (1 - \text{aRP}/100)) \times \text{vASF}/100$$

$$\text{APDN} = \text{RP} \times (\text{aRP}/100 - 0.10) \times 0.64 + \text{RP} \times (1.11 \times [1 - \text{aRP}/100]) \times \text{vASF}/100$$

FOS, Fermentierbare organische Substanz

$$\text{FOS} = \text{OS} \times \text{vOS}/100 - \text{RP} \times (1 - \text{aRP}/100) - \text{RL} - \text{FP} - (\text{St} \times (1 - \text{aST}/100)) \text{ a)}$$

a) ist nur bei stärkereichen Futtermitteln einzusetzen (siehe Tabelle 15.4: ST und aST für Mais ganze Pflanze)

Abbaubarkeit des Rohproteins (aRP)

Grünfutter:		$\text{aRP} = 51.2 + 0.126 \text{ RP}_{\text{OS}} - 0.00014 \text{ RP}_{\text{OS}}^2$
Grassilage:	TS < 50%	$\text{aRP} = 59.5 + 0.153 \text{ RP}_{\text{OS}} - 0.00020 \text{ RP}_{\text{OS}}^2$
	TS > 50%	$\text{aRP} = 54.5 + 0.153 \text{ RP}_{\text{OS}} - 0.00020 \text{ RP}_{\text{OS}}^2$
Dürrfutter:		$\text{aRP} = 48.9 + 0.144 \text{ RP}_{\text{OS}} - 0.00020 \text{ RP}_{\text{OS}}^2$
Raufutter künstl. getrocknet:		$\text{aRP} = 51.9 + 0.092 \text{ RP}_{\text{OS}} - 0.00015 \text{ RP}_{\text{OS}}^2$
Mais ganze Pflanze:		Die aRP kann nicht anhand des Rohproteingehaltes geschätzt werden. Die Angaben zur Abbaubarkeit des Rohproteins wurden auf der Grundlage der Arbeiten von De Boever et al. (2002) aktualisiert (Tab. 15.3).
Übrige Raufutter:		aRP-Werte aus den entsprechenden Tabellen einsetzen.

Tabelle 15.3. Durchschnittliche Abbaubarkeit des Rohproteins (aRP) bei Mais ganze Pflanze

Zustand	Stadium	aRP
grün	Blüte	70
	Milchreife	70
	Beginn Teigreife	65
	Teigreife	65
siliert	Milchreife	72
	Beginn Teigreife	72
	Teigreife	72
künstlich getrocknet	Beginn Teigreife	60
	Teigreife	60

Rohlipide (RL): Falls keine Analysenwerte vorhanden sind, dann ist für Raufutter der Wert von 35 g/kg TS einzusetzen.

Fermentationsprodukte der Silagen (FP)

Bei der Berechnung der FOS ist **nur die Hälfte** der Fermentationsprodukte abzuziehen:

$$FP = FP \text{ (analysiert oder geschätzt)} \times 0.5$$

Wenn der Gehalt an FP nicht bekannt ist:

für Grassilagen mit 35 % TS-Gehalt $FP_{\text{(geschätzt)}} = 100 \text{ g/kg TS}$

für Maissilagen mit 30 % TS-Gehalt $FP_{\text{(geschätzt)}} = 75 \text{ g/kg TS}$

Für abweichende TS-Gehalte sind folgende Korrekturen vorzunehmen (Ausnahme: TS > 60 %, FP = 0):

für Silagen (ausser Mais ganze Pflanze): $FP_{\text{(geschätzt)}} = 205 - (3.0 \times \text{TS-Gehalt in \%})$

für Maissilage (ganze Pflanze): $FP_{\text{(geschätzt)}} = 150 - (2.5 \times \text{TS-Gehalt in \%})$

Verdaulichkeit der aus dem Futter stammenden Aminosäuren (vASF)

Grünfutter: $vASF = 65.0 + 0.132 RP_{OS} - 0.00014 RP_{OS}^2$

Grassilage: TS < 50% $vASF = 62.8 + 0.138 RP_{OS} - 0.00016 RP_{OS}^2$

TS > 50% $vASF = 60.5 + 0.127 RP_{OS} - 0.00018 RP_{OS}^2$

Dürrfutter: $vASF = 58.5 + 0.127 RP_{OS} - 0.00018 RP_{OS}^2$

Raufutter künstl. getrocknet: $vASF = 56.4 + 0.141 RP_{OS} - 0.00023 RP_{OS}^2$

Mais ganze Pflanze: Es wird mit einem Durchschnittswert von 72 % gerechnet (De Boever et al. 2002).

Übrige Raufutter: $vASF = 70 \%$

Ausnahme: Silagen von Ackerzwischenfrüchten $vASF = 60 \%$

Abbaubarkeit der Stärke (aST)

Die Daten zur Abbaubarkeit der Stärke, die für die Berechnung der fermentierbaren organischen Substanz benötigt werden, stammen von Philippeau und Michalet-Doreau (1997). (Tab. 15.4)

Tabelle 15.4. Durchschnittlicher Stärkegehalt und Abbaubarkeit der Stärke (aST) für Mais ganze Pflanze

Zustand	Stadium	durchschnittlicher Stärkegehalt g/kg TS	aST %
grün	Teigreife	315	60
siliert			70
künstlich getrocknet			50

15.2 Grundlegende Beziehungen für Einzelfutter (ohne Raufutter)

15.2.1 Energiegehalt

Gilt nicht für Einzelfutter wie Fett und Dextrose.

Bruttoenergie

$$BE = 0.0242 RP + 0.0366 RL + 0.0209 RF + 0.0170 NfE - 0.00063 MDS^a)$$

Umsetzbare Energie

$$UE = 0.0159 VRP + 0.0377 VRL + 0.0138 VRF + 0.0147 VNfE - 0.00063 MDS^a)$$

a) Nur bei Milchprodukten zu berücksichtigen, falls $MDS \geq 80$ g/kg TS.

VRP	=	Verdauliches Rohprotein
VRL	=	Verdauliche Rohlipide (Fett)
VRF	=	Verdauliche Rohfaser
VNfE	=	Verdauliche stickstofffreie Extraktstoffe
MDS	=	Mono- und Disaccharide (Lactose)

Nettoenergie

$$Q = UE / BE$$

$$kL = 0.463 + 0.24 q \quad \rightarrow \text{NEL} = 0.9752 \times kL \times UE$$

$$kEn = 0.554 + 0.287 q$$

$$kV = 0.006 + 0.78 q$$

$$kEnV = (1.5 \times kEn \times kV) / [(0.5 \times kEn] + kV) \quad \rightarrow \text{NEV} = kEnV \times UE$$

Die Gehaltswerte sind in g/kg Frisch- oder Trockensubstanz anzugeben.

Die Nährwerte sind in MJ/kg Frisch- oder Trockensubstanz anzugeben.

15.2.2 APD-Gehalt

Das absorbierbare Protein im Darm APDE und APDN wird wie folgt berechnet:

$$\text{APDE} = 0.093 \times \text{FOS} + \text{RP} \times (1.11 \times (1 - \text{aRP}/100)) \times \text{vASF}/100$$

$$\text{APDN} = \text{RP} \times (\text{aRP}/100 - 0.10) \times 0.64 + \text{RP} \times (1.11 \times [1 - \text{aRP}/100]) \times \text{vASF}/100$$

$$\text{FOS} = \text{OS} \times \text{vOS}/100 - \text{RP} \times (1 - \text{aRP}/100) - \text{RL}^a) - \text{St}^b) \times (1 - \text{aST}/100) - (\text{FP}^c) \times 0.5)$$

Die Gehaltswerte FOS, RP, VOS, RL, ST, FP und die Nährwerte APDE und APDN sind in g/kg TS angegeben.

Die Werte aRP, aST und aASF sind in % angegeben.

- a) RL analysierte Werte einsetzen; wenn keine vorhanden, Werte aus der Feedbase.ch verwenden.
- b) ST ist nur bei stärkereichen Futtermitteln zu berücksichtigen, wenn die Abbaubarkeit ≤ 85 % beträgt
- c) FP Die Fermentationsprodukte der Silagen setzen sich zusammen aus: Milchsäure, flüchtigen Fettsäuren (Essig, Propion- und Buttersäure), Alkoholen.

Sind die FP nicht bekannt, so gilt:

FP = 95 g/kg TS für Zuckerrübenschnitzel siliert

FP = 50 g/kg TS für Maiskörnersilage, Maiskolbensilage oder Malztreber siliert.

15.3 Regressionsgleichungen zur Schätzung des Nährwertes im Kraftfutter (Mischfutter)

15.3.1 Energiegehalt

$$\mathbf{NEL}_{\text{OS}} = - 13.67 + 0.0226 \text{ RP}_{\text{OS}} + 0.0358 \text{ RL}_{\text{OS}} + 0.0074 \text{ RF}_{\text{OS}} + 0.0222 \text{ NfE}_{\text{OS}}$$

Schätzgenauigkeit: $s=0.3$; $R^2= 0.88$

$$\mathbf{NEV}_{\text{OS}} = - 279.43 + 0.2888 \text{ RP}_{\text{OS}} + 0.3058 \text{ RL}_{\text{OS}} + 0.2689 \text{ RF}_{\text{OS}} + 0.2891 \text{ NfE}_{\text{OS}}$$

Schätzgenauigkeit: $s=0.4$; $R^2= 0.88$

Die Gehaltswerte von RP, RL, RF und NfE sind in g/kg OS, NEL und NEV in MJ/kg OS angegeben.

Gültigkeitsbereich der Regressionen: Rohfaser Maximum 180 g/kg OS
Rohlipide Maximum 100 g/kg OS

15.3.2 APD-Gehalt

Für Kraftfutter (Mischfutter) mit einem Rohproteingehalt zwischen 100 und 180 g/kg FS beziehungsweise 110 und 200 g/kg TS:

$$\mathbf{APDE}_{\text{OS}} = 151 + 0.00229 \text{ RP}_{\text{OS}}^2 - 0.00656 \text{ aRP}^2 + 0.2766 \text{ RL}_{\text{OS}} - 0.00066 \text{ RL}_{\text{OS}}^2 - 0.5054 \text{ NfE}_{\text{OS}} + 0.00054 \text{ NfE}_{\text{OS}}^2$$

Schätzgenauigkeit: $s = 4$; $R^2 = 0.97$

Für Kraftfutter (Mischfutter) mit einem Rohproteingehalt über 180 und unter 450 g/kg FS beziehungsweise über 200 und unter 500 g/kg TS:

$$\mathbf{APDE}_{\text{OS}} = 560 + 0.00033 \text{ RP}_{\text{OS}}^2 - 5.8230 \text{ aRP} - 0.00384 \text{ RL}_{\text{OS}}^2 - 0.4886 \text{ RF}_{\text{OS}}$$

Schätzgenauigkeit: $s = 13$; $R^2 = 0.94$

Die Werte von RP, RL, NfE und APD sind in g/kg OS, der Wert aRP in % angegeben.

15.4 Umrechnungsfaktoren und Vergleichbarkeit

Das französische, holländische und schweizerische System zur Bewertung der Futtermittel hat die gleiche Ausgangsbasis, aber jedes System hat seine spezifischen Schätzgleichungen. Die genaueste Methode zur Umrechnung der Energie- und Proteingehalte von einem in ein anderes System ist diejenige, bei der die Werte der Futtermittel jeweils auf Grund der Grunddaten in dem entsprechenden System berechnet werden. Wenn diese Informationen fehlen, ist eine Umwandlung der Werte von einem in ein anderes Energiebewertungssystem mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren möglich (Tab. 15.5). Die so erhaltenen Ergebnisse haben jedoch nur einen informativen Wert, da die Umrechnungsfaktoren je nach Futtermittel variieren.

Tabelle 15.5. Durchschnittliche Umrechnungsfaktoren für verschiedene Energiebewertungssysteme

Systeme	Faktoren
schweizerisch → französisch	UFL = NEL / 6.7* UFV = NEV / 7.3*
schweizerisch → holländisch	VEM = NEL / 0.0069 VEVI = NEV / 0.0069
französisch → schweizerisch	NEL = UFL x 6.7 NEV = UFV x 7.3
holländisch → schweizerisch	NEL = VEM x 0.0069 NEV = VEVI x 0.0069

*Die Umrechnungsfaktoren 6.7 und 7.3 sind nur für Grünfütter und dessen Konserven gültig. Für Mais ganze Pflanze lauten die Faktoren 6.8 und 7.5.

Bei den Einzelfuttermitteln variieren die Werte so stark, dass deren Anwendung nicht empfohlen werden kann.

Um die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Proteinbewertungssystemen zu ermöglichen, sind Hinweise in Tabelle 15.6 angegeben.

Tabelle 15.6. Vergleichbarkeit zwischen den Proteinbewertungssystemen

Systeme	Einheiten
Schweizerisch ⇔ französisch	APDE ⇔ PDIE
	APDN ⇔ PDIN
	APDF ⇔ PDIA
	APDM ⇔ PDIME
	APDMN ⇔ PDIMN
Schweizerisch ⇔ holländisch	APDE ⇔ DVE
	APDF ⇔ DVBE
	APDM ⇔ DVME
	PME ⇔ MREE
	PMN ⇔ MREN

15.5 Literatur

Andrieu J. et Baumont R., 2000. Digestibilité et ingestibilité du maïs fourrage : facteurs de variation et prévision. Fourrage, 163, 239-252.

Barrière Y. & Emile J.-C., 2000. Le maïs fourrage: Evaluation et perspectives de progrès génétiques sur les caractères de valeur alimentaire. Fourrage 163, 221–238.

♥ Daccord R., Arrigo Y, Vogel R., 1995. Nährwert von Maissilagen, Agrarforschung 2 (9), 397-400.

De Boever J.L, Vanacker J.M., De Brabander D.L., 2002. Rumen degradation characteristics of nutrients in maize silages and evaluation of laboratory measurements and NIRS as predictors. Animal Feed Science and Technology, 101, 73-86.

♥ Herter U., Arnold A., Schubiger F., Menzi M., 1996. Verdaulichkeit, das wichtigste Qualitätsmerkmal bei Silomais. Agrarforschung, 535-538.

Philippeau C., Michalet-Doreau B., 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. Animal Feed Science and Technology, 68, 25-35.

Version: Oktober 2017

Herausgeber: Agroscope

Redaktion: R. Daccord, Y. Arrigo, C. Chaubert

Copyright: Agroscope

Bitte bei Reproduktion Quelle angeben