

## **BEWERTUNG DES ENERGIE-NÄHRWERTS VON SONNENBLUMENKONZENTRAT K2 FÜR SCHWEINE MITTELS VERSCHIEDENER ANSÄTZE**

In der modernen Schweinehaltung ist der Energiegehalt des Futters einer der Schlüsselfaktoren für eine effiziente Schweineproduktion. Energie ist der wichtigste limitierende Faktor für Wachstum, Entwicklung und Produktivität der Tiere und gewährleistet alle physiologischen und metabolischen Prozesse im Körper. Ein zu niedriger oder zu hoher Energiegehalt in einer ausgewogenen Ration führt zu vermindertem Wachstum, schlechterer Futtermittelverwertung, ineffizienter Nährstoffnutzung und somit zu wirtschaftlichen Verlusten.

Die genaue Bestimmung des Energiegehalts im Futter ist besonders relevant, da die Futterkosten den größten Anteil der Produktionskosten in der Schweinehaltung ausmachen – absolut gesehen 60 bis 75 %. Unter diesen Umständen können selbst geringfügige Fehler bei der Energiebewertung zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Futtermitteln oder zu Minderleistung der Tiere führen. Eine ausgewogene Rationierung und die optimale Zusammensetzung von Mischfutter hinsichtlich des Energiegehalts ermöglichen es, das genetische Potenzial der Schweine maximal auszuschöpfen, die Nährstoffverwertung zu optimieren und die Futterkosten pro Produktionseinheit zu senken. Deshalb sind präzise und wissenschaftlich fundierte Methoden zur Bestimmung des Energiegehalts von Futtermitteln eine notwendige Voraussetzung für die Optimierung der Fütterung in der modernen intensiven Schweinehaltung. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bewertung des Energiegehalts neuer Futterkomponenten und unkonventioneller Protein- und Energiequellen, die zunehmend in der Herstellung von Mischfuttermitteln eingesetzt werden. Um diese Komponenten korrekt in die entsprechenden Rationen zu integrieren, müssen ihr Energiegehalt und ihre Verwertung im Tierkörper objektiv erfasst werden. In der modernen wissenschaftlichen Praxis lassen sich Methoden zur Bestimmung des Energiegehalts von Futtermitteln für Schweine unter bestimmten Voraussetzungen in verschiedene Hauptgruppen einteilen.

### **1. Physikalisch-kalorimetrische Methoden zur Energiebestimmung.**

Diese Methodengruppe basiert auf der direkten Messung der im Futter enthaltenen oder bei dessen Verstoffwechslung freigesetzten Wärmeenergie. Am häufigsten wird der Bruttoenergiegehalt des Futters durch vollständige Verbrennung der Probe in einem Bombenkalorimeter bestimmt. Das Ergebnis ist die bei der Oxidation der organischen Substanz im Futter freigesetzte Wärmemenge. Zur selben Gruppe gehören auch die Methoden der direkten und indirekten Kalorimetrie, die in Tierversuchen Anwendung finden. Bei der direkten Kalorimetrie wird die vom Tierkörper abgegebene Wärme in speziellen Kalorimeterkammern gemessen, während die indirekte Kalorimetrie auf der Bestimmung des Gasaustauschs (Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidabgabe) und der anschließenden Berechnung der Wärmeabgabe beruht. Mit diesen Methoden lässt sich die

Verwertung der Futterenergie auf metabolischer Ebene beurteilen und Nettoenergiekennzahlen bestimmen.

Somit können mit dieser Methodengruppe verschiedene Energiekennwerte ermittelt werden – vom Bruttoenergiegehalt des Futters bis hin zu den Wärmeverlusten des Körpers bei der Nährstoffassimilation.

## **2. Bilanz- und Indikatormethoden der Tierforschung.**

Diese Methodengruppe basiert auf der direkten Bewertung der Futterenergieverwertung im Tierkörper durch spezielle physiologische Experimente. Der klassische Ansatz ist die Bilanzmethode, die die Futterraufnahme und die Energieverluste über Kot, Urin und Gase berücksichtigt. Auf Grundlage solcher Untersuchungen werden Indikatoren für die verdauliche und metabolisierbare Energie des Futters ermittelt.

Innerhalb dieser Gruppe finden auch Versuche zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit breite Anwendung. Sie ermöglichen die Ermittlung der Assimilationskoeffizienten und damit die Berechnung des Energiewerts des Futters.

Eine weitere Variante sind die Indikatormethoden (Markermethoden), bei denen dem Futter inerte Substanzen wie beispielsweise Chromoxid oder Titandioxid zugesetzt werden. Das Verhältnis der Markerkonzentrationen in Futter und Exkrementen ermöglicht die Bestimmung der Energieverdaulichkeitskoeffizienten, ohne dass eine vollständige Kotsammlung erforderlich ist. Dies vereinfacht die Durchführung der Versuche erheblich. Somit gibt es innerhalb dieser Gruppe verschiedene Ansätze – klassische Bilanzversuche, Untersuchungen zur Nährstoffverdaulichkeit und Indikatormethoden –, die sich hinsichtlich ihrer Durchführung, Genauigkeit und des Umfangs der gewonnenen Informationen unterscheiden.

## **3. Berechnungsmethoden zur Bestimmung des Energiegehalts von Futtermitteln.**

Diese Methoden basieren auf der Auswertung chemischer Analysen von Futtermitteln. Ausgehend vom Gehalt an Grundnährstoffen (Rohprotein, Fett, Rohfaser, stickstofffreie Extraktstoffe usw.) wird der Energiegehalt des Futtermittels mithilfe spezieller empirischer Gleichungen berechnet.

In der Praxis werden hierfür verschiedene Systeme und Modelle verwendet, insbesondere NRC, Noblet oder INRA. Je nach verwendetem Modell lassen sich Indikatoren für verdauliche, metabolisierbare oder Nettoenergie bestimmen.

Der Vorteil dieser Berechnungsmethoden liegt in ihrer Effizienz und der Möglichkeit, eine große Anzahl von Futtermittelbestandteilen schnell zu bewerten. Die Genauigkeit der Berechnungen hängt jedoch maßgeblich von der Qualität der Ausgangsdaten und der Korrektheit der verwendeten Modelle ab.

Um die Nutzung heimischer Futtermittelressourcen effizienter zu gestalten, ist die Untersuchung neuer proteinreicher Futtermittel, insbesondere des Sonnenblumenkonzentrats K2, von Bedeutung. Ziel dieser Arbeit ist es, dessen Energiegehalt zu bestimmen und die Einsatzmöglichkeiten in der Schweinefütterung zu bewerten.

Sonnenblumenkonzentrat K2 zeichnet sich durch einen hohen Nährstoffgehalt aus: Der Trockenmassegehalt beträgt 91,1 %, der Rohproteingehalt 44,4 %, der Rohfettgehalt 1,4 %, der Aschegehalt 6,9 % und der Rohfasergehalt lediglich 9,8 %.

Im Vergleich zu herkömmlichem Sonnenblumenmehl, das üblicherweise 30–36 % Rohprotein und 16–22 % Rohfaser enthält, weist Konzentrat K2 einen deutlich reduzierten Fasergehalt und eine signifikant höhere Proteinkonzentration auf. Dieses Nährstoffverhältnis wird durch die Entfernung der Samenschalen, der Hauptquelle struktureller Kohlenhydrate, erreicht.

Die Reduzierung des Rohfasergehalts von ca. 18–20 % auf 9,8 % bei gleichzeitiger Erhöhung des Proteingehalts auf 44,4 % schafft die Voraussetzungen für eine verbesserte Nährstoffverdaulichkeit. Ein geringerer Faseranteil erleichtert den Enzymen den Zugang zu den Nährstoffen, was wahrscheinlich zu einer effizienteren Futtermittelfermentation und einer Steigerung des Gehalts an umsetzbarer und Nettoenergie beiträgt.

Darüber hinaus zeichnet sich das Konzentrat durch einen ausreichend hohen Gehalt an Aminosäuren aus, insbesondere Lysin (1,82 % [SID: 1,53 %]), Methionin (1,0 %) und Threonin (1,81 %), was seinen Futterwert weiter erhöht.

Aufgrund der verbesserten chemischen Zusammensetzung, des reduzierten Gehalts an Strukturkohlenhydraten und der erhöhten Nährstoffkonzentration kann daher angenommen werden, dass Sonnenblumenkonzentrat K2 einen höheren Energiewert als herkömmliches Sonnenblumenmehl aufweist. Dies rechtfertigt die Notwendigkeit einer experimentellen Bestimmung seines Energiewerts und seiner Verwertungseffizienz in der Schweinefütterung.

Angesichts der verfügbaren Daten zur chemischen Zusammensetzung von Sonnenblumenkonzentrat K2 sowie der Komplexität und der faktischen Unmöglichkeit, umfassende Bilanzstudien speziell an Schweinen unter den heutigen Bedingungen durchzuführen, empfiehlt es

sich, zur Lösung des Problems Berechnungsmethoden zur Bewertung des Energiegehalts anzuwenden.

Solche Ansätze basieren auf der Verwendung von Indikatoren für die chemische Zusammensetzung des Futters (Gehalt an Rohprotein, Fett, Rohfaser und anderen Komponenten) und ermöglichen es, mithilfe validierter Gleichungen (insbesondere der Systeme NRC, Noblet und INRA) die Gehalte an verdaulicher (DE), umsetzbarer (ME) und Nettoenergie (NE) speziell für Schweine zu bestimmen.

Angesichts der Eigenschaften des untersuchten Produkts und des gesteckten Ziels empfiehlt sich in dieser Arbeit die Anwendung des Noblet-Ansatzes. Dieses System wurde speziell für Schweine entwickelt und ermöglicht eine genauere Bewertung der Energieversorgung durch die Bestimmung der Nettoenergie (NE) unter Berücksichtigung der Nährstoffverwertung.

Ein wichtiger Vorteil der Noblet-Methode ist ihre hohe Sensitivität gegenüber dem Gehalt an Rohfaser und Strukturkohlenhydraten, was bei der Bewertung von Sonnenblumenkonzentrat K2 mit reduziertem Rohfasergehalt von grundlegender Bedeutung ist. Dies ermöglicht eine objektivere Bewertung der Auswirkungen von Änderungen der chemischen Zusammensetzung auf den Energiewert des Futters. Die Noblet-Methode basiert auf den Ergebnissen groß angelegter Versuchsstudien, in denen der Energiewert von Futtermitteln an Schweinen mithilfe von Respirationsskammern bestimmt wurde. Konkret wurden in der Studie 61 Futterrationen an Schweinen mit einem Lebendgewicht von etwa 45 kg untersucht, für die die Verdaulichkeit (DE), der Stoffwechsel (ME) und die Nettoenergie (NE) ermittelt wurden. Die gewonnenen Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Gleichungen zur Vorhersage der Nettoenergie von Futtermitteln für Schweine auf Basis ihrer chemischen Zusammensetzung. Diese Gleichungen bilden die Basis des modernen Noblet-Systems.

#### Bestimmung der verdaulichen Energie (DE)

Die verdauliche Energie wurde nach der Gleichung von Noblet & Perez (1993) berechnet:

$$DE = 4151 - 122 \times \text{Asche} - 52 \times \text{Rohfaser} + 23 \times \text{Rohprotein} + 38 \times \text{Rohfett}$$

Durch Einsetzen der Werte der chemischen Zusammensetzung ergab sich:

$$DE = 4151 - 122 \times 6,9 - 52 \times 9,8 + 23 \times 44,4 + 38 \times 1,4$$

$$DE = 3874 \text{ kcal/kg}$$

#### Bestimmung der umsetzbaren Energie (ME)

Die umsetzbare Energie wurde als 96 % der verdaulichen Energie definiert:

$$ME = 0,96 \times DE = 0,96 \times 3874 = 3719 \text{ kcal/kg}$$

#### Bestimmung der Nettoenergie (NE)

Die Nettoenergie wurde nach der von Noblet et al. vorgeschlagenen Regressionsgleichung berechnet. (1994), das die unterschiedliche Effizienz der Nährstoffenergieverwertung berücksichtigt:

$$NE = 0,700 \times DE + 1,61 \times EE - 0,91 \times CP - 0,87 \times ADF$$

wobei ADF = 14,8 %.

$$NE = 0,700 \times 3874 + 1,61 \times 1,4 - 0,91 \times 44,4 - 0,87 \times 14,8$$

$$NE = 2661 \text{ kcal/kg}$$

Zusammenfassung der Ergebnisse: Die Berechnungen ergaben für Sonnenblumenkonzentrat K2 folgende Energiewerte:

verdauliche Energie (DE) – 3874 kcal/kg,

umsetzbare Energie (ME) – 3719 kcal/kg,

Nettoenergie (NE) – 2661 kcal/kg.

Die Ergebnisse weisen auf einen hohen Energiegehalt des untersuchten Produkts hin. Der im Vergleich zu herkömmlichem Sonnenblumenmehl erhöhte Nettoenergiegehalt (NE) ist möglicherweise auf den reduzierten Rohfasergehalt und die höhere Nährstoffkonzentration zurückzuführen, was zu einer effizienteren Energieverwertung im Schweinekörper beiträgt.

Die berechneten Werte können jedoch aufgrund der Verwendung verallgemeinerter Gleichungen und fehlender experimenteller Daten zur tatsächlichen Nährstoffverdaulichkeit in diesem Produkt geringfügig von den tatsächlichen Werten abweichen.

Die Berechnung des Energie-Nährwerts von Futtermitteln allein auf Basis ihrer chemischen Zusammensetzung ist nur bedingt genau, da die tatsächliche Verfügbarkeit der Nährstoffe für den Tierkörper nicht berücksichtigt wird. Daher wurden experimentelle Daten des Bangkok Animal Research Center (Thailand) herangezogen, um den Energiewert des Sonnenblumenkonzentrats K2 zu ermitteln. In diesem Konzentrat wurden die Nährstoffverdaulichkeitskoeffizienten für ein ähnliches, proteinreiches Sonnenblumenkonzentrat bestimmt.

Die Studie ergab folgende Verdaulichkeitskoeffizienten: Rohprotein 95,72 %, Rohfett 94,59 %, Rohfaser 63,40 % und Stärke 95,72 %.

Für eine korrekte Berechnung wurde der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen (BER) bestimmt, der 37,5 % betrug. Unter Berücksichtigung der Verdaulichkeitskoeffizienten ergaben sich

folgende Werte: 42,49 % verdauliches Protein, 1,32 % verdauliches Fett, 6,21 % verdauliche Ballaststoffe und 35,90 % verdauliche BER.

Basierend auf den Energieäquivalenten der Nährstoffe (Protein: 5,65 kcal/g, Fett: 9,40 kcal/g, Kohlenhydrate: 4,10 kcal/g) wurde die verdauliche Energie (VE) des Sonnenblumenkonzentrats K2 mit 4251 kcal/kg ermittelt.

Die metabolische Energie (ME) wurde nach dem im Noblet-System angewandten Ansatz als 96 % der VE bestimmt:

$$\text{ME} = 0,96 \times \text{VE} = 0,96 \times 4251 = 4081 \text{ kcal/kg}$$

Die Nettoenergie (NE) wurde nach dem Noblet-Konzept unter Berücksichtigung des durchschnittlichen metabolischen Energienutzungsfaktors berechnet:

$$\text{NE} = 0,74 \times \text{ME} = 0,74 \times 4081 = 3020 \text{ kcal/kg}$$

Das Ergebnis ist, dass die Energiequelle einen stabilen K2-Konzentrator benötigt:

- **DE — 4251 ккал/kg,**
- **ICH – 4081 kcal/kg,**
- **NE — 3020 kcal/kg.**

Die ermittelten Werte deuten auf eine signifikant höhere Schätzung des Energiegehalts im Vergleich zu Berechnungen mit den Noblet-Gleichungen auf Basis der chemischen Zusammensetzung hin. Dies erklärt sich durch die Berücksichtigung hoher Verdaulichkeitskoeffizienten der Nährstoffe, insbesondere von Protein und Kohlenhydraten. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Verwendung verallgemeinerter Verdaulichkeitskoeffizienten zu einer gewissen Überschätzung der Nettoenergiewerte führen kann, da individuelle Stoffwechseleigenschaften und Energieverluste durch Wärmeproduktion nicht berücksichtigt werden.

Zur weiteren Bewertung des Energiegehalts von Sonnenblumenkonzentrat K2 wurde ein inländisches Regressionsverfahren angewendet, um die metabolische Energie auf Basis des Gehalts an verdaulichen Nährstoffen zu bestimmen. Die Berechnung erfolgte mithilfe einer Gleichung, die den Beitrag von verdaulichem Protein, Fett, Ballaststoffen und stickstofffreien Extraktstoffen zur Bildung des Energiegehalts des Futters berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Werte für verdauliche Nährstoffe (verdauliches Protein – 424,9 g/kg, Fett – 13,2 g/kg, Rohfaser – 62,1 g/kg, Rohfett – 359,0 g/kg) wurde die umsetzbare Energie mit 16313 kJ/kg bzw. 3897 kcal/kg bestimmt.

Die Nettoenergie wurde anschließend nach dem Noblet-Verfahren unter Verwendung des durchschnittlichen Verwertungskoeffizienten (0,74) berechnet. Daraus ergab sich eine Nettoenergie von 2884 kcal/kg für Sonnenblumenkonzentrat K2.

### **Vergleichende Bewertung des Energie- und Nährwerts von Sonnenblumenkonzentrat K2 unter Verwendung verschiedener Methoden**

<b>Bewertungsmethode</b>	<b>ENERGETISCHE ANGEBOT</b>			<b>Features of the method</b>
	DE, kcal/kg	ME, kcal/kg	NE, kcal/kg	
Berechnung durch Gleichungen <b>Noblet &amp; Perez (1993) und Noblet et al. (1994)</b>	3874	3719	2661	Bewertung auf Grundlage der chemischen Zusammensetzung des Futters
Berechnung auf Basis der Verdaulichkeitskoeffizienten aus dem Experiment <b>(Thailand)</b>	4251	4081	3020	Es wurden experimentelle Nährstoffverdaulichkeitskoeffizienten verwendet.
Berechnung gemäß der inländischen Regressionsgleichung des Energieaustauschs mit weiterer <b>Definition NE 3a Noblet</b>	—	3897	2884	Bewertung der verdaulichen Nährstoffe

Die durchgeführten Studien ergaben, dass der Energiegehalt des Sonnenblumenkonzentrats K2 maßgeblich von der gewählten Bewertungsmethode abhängt.

Fazit: Der mit den Noblet-Gleichungen ermittelte Energiegehalt des Sonnenblumenkonzentrats K2 ( $\approx 2660$  kcal/kg NE) liegt am nächsten am tatsächlichen Wert. Unter Berücksichtigung der verbesserten chemischen Zusammensetzung des Produkts ergibt sich ein etwas höherer Wert ( $\approx 2700$ – $2850$  kcal/kg). Dies lässt sich dadurch erklären, dass das Noblet-System auf zahlreichen direkten Versuchen an Schweinen basiert und physiologische Energieverluste, insbesondere den thermischen Effekt der Nährstoffe, berücksichtigt. Dieser ist für proteinreiche Futtermittel von grundlegender Bedeutung.

Die Methode, die auf der Verwendung von Verdaulichkeitskoeffizienten (3020 kcal/kg) beruht, überschätzt den Energiegehalt wahrscheinlich, da sie verallgemeinerte und zu hohe Verdaulichkeitskoeffizienten verwendet und die Energieverluste im Stoffwechsel nicht ausreichend berücksichtigt. Gleichzeitig liefert der Regressionsansatz einen Zwischenwert, der sich den tatsächlichen Werten teilweise annähert, aber auch von der Genauigkeit der Bestimmung der verdaulichen Nährstoffe abhängt.

Daher liegt der wahrscheinlichste Bereich für die Nettoenergie von Sonnenblumenkonzentrat K2 bei etwa 2700–2850 kcal/kg, wobei die Werte vermutlich eher im unteren Bereich liegen. Werte über 3000 kcal/kg sind ohne Bestätigung durch direkte experimentelle Studien an Schweinen unwahrscheinlich.

#### Perspektiven für weitere Forschung

Ein vielversprechender Ansatzpunkt für weitere Forschung ist die experimentelle Bestimmung des Energiegehalts von Sonnenblumenkonzentrat K2 direkt an Schweinen mittels Bilanz- oder Indikatormethoden. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf Folgendes gelegt werden:

- Bestimmung der verdaulichen und umsetzbaren Energie in physiologischen Versuchen;
- Schätzung der Nettoenergie mittels indirekter Kalorimetrie;
- Ermittlung von Aminosäureverdaulichkeitskoeffizienten (SID);
- Untersuchung der Auswirkungen des Produkts auf Produktivität und Futtermittelverwertung.

Die erzielten Ergebnisse ermöglichen die Verfeinerung bestehender Modelle zur Energiegehaltsbewertung und eine präzisere Rationsgestaltung.

#### Sources:

Noblet, J., & Perez, J. M. (1993). Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *Journal of Animal Science*, 71(12), 3389–3398.

Noblet, J., Fortune, H., Shi, X. S., & Dubois, S. (1994). Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 72(2), 344–354.

#### **Mykhailo Sychov**

Doktor der Agrarwissenschaften, Professor,

Leiter des Lehrstuhls für Tierernährung und Futtermitteltechnologie an der Nationalen Universität für Lebensressourcen und Umweltmanagement „P.D. Pshenichny“ der Ukraine