



Das Lebensministerium



Tierhaltung und Tierfütterung

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 7 - 8. Jahrgang 2003

Berichte aus der Tierhaltung und Tierfütterung

Inhaltsverzeichnis	Seite
<p>Novellierung der Umweltgesetzgebung und Folgen für die Neugenehmigung und den Betrieb von Tierhaltungsanlagen</p> <p>Dr. Ute Wanka, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch</p>	1
<p>Ermittlung des Mindestabstandes bei ausgewählten Tierhaltungsanlagen auf der Grundlage von Ammoniak- und Feinstaubemissionen in Sachsen</p> <p>Dr.-Ing. Johannes Jacob, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz</p>	15
<p>Auswirkungen der geänderten Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung auf das Emissionspotenzial von Legehennenbeständen sowie verfahrenstechnische Konsequenzen bei Umstellung des Haltungssystems</p> <p>Dr. Ute Wanka, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch Thomas Heidenreich und Dr. Roland Klemm, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum</p>	19
<p>Erprobung einer Ozon-UV-Behandlungsanlage zur Minderung von Gerüchen und Ammoniak in der Abluft von Tierhaltungsanlagen</p> <p>Dr. G. Schmidt, K. Reichelt, IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen Lichtenau</p>	37
<p>Quantifizierung von Geruchs-, Spurengas- und Staubemissionen und deren Emissionsquellen im Stall als Grundlage für den Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen</p> <p>Enrico Sieber, Dr. W. Frosch, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Agrartechnik und Landeskultur Prof. Wolfgang Büscher, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Landtechnik R. Wehlitz, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch</p>	49
<p>Rapssaat und Nebenprodukte aus der Rapsverarbeitung</p> <p>Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch</p>	73

Einfluss von Rapsprodukten auf Futterverzehr, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei Kühen	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	84
Einfluss von Rapsöl auf die Milchfettqualität	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	
Dr. Dr. Ernst Boldt, Dr. Jose Ross Dayves, Prof. Dr. Jürgen Gropp, Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig	93
Einsatz von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen bei Milchkühen unter besonderer Berücksichtigung des peripartalen Zeitraumes sowie Beurteilung der Kolostrumqualität und Kälberentwicklung	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	99
Einfluss von Rapsprodukten auf Verdaulichkeit und Parameter der Tiergesundheit	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	
Dr. Dr. Ernst Boldt, Dr. Jose Ross Dayves, Prof. Dr. Jürgen Gropp, Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig	110
Einsatz von Rapssaat in der Milchkuhfütterung	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	116
Rapsextraktionsschrot, Rapskuchen und Rapssaat in der Bullenmast	
Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch	120

Abkürzungsverzeichnis

T	Trockenmasse
GSL	Glucosinolate
RES	Rapsextraktionsschrot
RK	Rapskuchen
LKS	Lieschkolbenschrotsilage
TMR	Totale-Misch-Ration
OM	Organische Masse
XA	Rohasche
XP	Rohprotein
XL	Rohfett
XF	Rohfaser
UDP	Unabbaubares Rohprotein
NEL	Netto-Energie-Laktation
nXP	Nutzbares Rohprotein
RNB	Ruminale Stickstoffbilanz
NFE	Stickstofffreie Extraktstoffe
ADL	acid detergent Lignin
ADF	acid-detergent-fiber
NDF	neutral detergent fiber
RN	Rohnährstoffaufnahme
Ca	Calcium
P	Phosphor
Na	Natrium
N	Stickstoff
ASAT	Aspartataminotransferase
GLDH	Glutamatdehydrogenase
γ -GT	Gammaglutamyltransferase
T ₃	Trijodthyronin
T ₄	Thyroxin
s	Standardabweichung
Ø	Mittelwert
LDL-Cholesterin	Low Density Lipoproteins
HDL-Cholesterin	High Density Lipoproteins
LKV - Sachsen	Landeskontrollverband Sachsen
a.p.	arte partum
p.p.	post partum
GR	Grundration
MLF	Milchleistungsfutter
FCM	fettkorrigierte Milchmenge
NaOH	Natriumhydroxid
LMZ	Lebendmassezunahme

Novellierung der Umweltgesetzgebung und Folgen für die Neugenehmigung und den Betrieb von Tierhaltungsanlagen

Dr. Ute Wanka, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung
Köllitsch

1 Einleitung

Der Immissionsschutz spielt bei der ökologischen Bewertung von Tierhaltungsanlagen eine wesentliche Rolle. In der Vergangenheit mussten die Anlagen sicherstellen, dass keine bzw. nur erlaubte Geruchsbelastungen in der Nachbarschaft auftreten. Mit der Neufassung der Umweltgesetzgebung müssen künftig auch Ammoniak- und Staubemissionen begrenzt werden. Die Festlegung eines Mindestabstandes soll den Schutz empfindlicher Pflanzen und Ökosysteme gewährleisten.

2 Europäisches Recht

Seit 1996 bzw. 1997 gelten die Richtlinie 96/61 des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung sowie die Richtlinie 97/11 EG des Rates zur Änderung der RL 85/33/EWG über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten.

Die Richtlinie 96/61 sieht Maßnahmen zur Vermeidung und, sofern dies nicht möglich ist, zur Verminderung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft vor. Die Vorsorge gegen Umweltverschmutzung soll durch den Einsatz der „besten verfügbaren Technik“ (BVT) erreicht werden. Unter „beste verfügbare Techniken“ sind dabei die Techniken zu verstehen, die am wirksamsten für die Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt geeignet sind, und deren Anwendung wirtschaftlich und technisch vertretbar ist (Kosten-Nutzen-Verhältnis). Der BVT-Standard wird europaweit einheitlich definiert und regelmäßig erneuert. In die Bewertung der BVT fließen neben den möglichen Emissionen an Gerüchen, Ammoniak und Staub, auch die Emissionen in Wasser und Boden, der effiziente Einsatz an Energie und Rohstoffen sowie die Art und Menge der Abfälle ein.

Es wird eingeschätzt, dass erhöhte Gefahren für die Umwelt auch von Tierhaltungsanlagen ausgehen können. Die Richtlinie erstreckt sich auf die in Tabelle 1 genannten Anlagen.

Tabelle 1: Schwellenwerte für die Prüfung von Tierhaltungsanlagen nach EU-Recht

	IVU	UVP
Hennenplätze		60.000
Mastgeflügelplätze	40.000	85.000
Mastschweineplätze (> 30 kg)	2.000	3.000
Sauenplätze	750	900

Der Zweck der Richtlinie 97/11/EG des Rates besteht darin, den zuständigen Behörden die zur Bewertung der Umweltwirkungen eines Vorhabens relevanten Informationen zur Verfügung zu stellen. Die wichtigsten Grundsätze für die Prüfung von Umweltauswirkungen sollen innerhalb der EU harmonisiert werden, die Mitgliedstaaten können jedoch strengere Umweltschutzvorschriften festlegen. Die Umweltverträglichkeitsprüfung soll die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Projektes auf folgende Faktoren beschreiben und bewerten:

- Mensch, Fauna und Flora
- Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft
- Sachgüter und kulturelles Erbe

Auf Grund ihrer Art, ihrer Größe oder ihres Standortes sind die in Tabelle 1 erfassten Projekte einer Prüfung zu unterziehen. Des Weiteren können Einzelfalluntersuchungen für Anlagen geringerer Größe angeordnet werden.

3 Deutsches Recht

Die oben genannten Richtlinien der EU wurden mit dem Gesetz zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz (Artikelgesetz) in nationales Recht umgesetzt. Daraus resultieren Änderungen in der 4. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz bzw. im Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung. Auch die TA-Luft wurde als Verwaltungsvorschrift des BImSchG novelliert.

Im Vergleich zum EU-Recht wurden die Schwellenwerte für die Prüfung von Tierhaltungsanlagen nach BImSchG und UVPG herabgesetzt sowie Tierarten neu aufgenommen (Tabellen 2 und 3).

Tabelle 2: Schwellenwerte für die Genehmigungsbedürftigkeit nach BImSchG

	4. BImSchV alt		4. BImSchV neu	
	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 1	Spalte 2
Hennenplätze	20.000	-	20.000	15.000
Junghennenplätze	40.000	-	40.000	30.000
Mastgeflügelplätze	40.000	-	40.000	30.000
Truthühnermastplätze	20.000	-	20.000	15.000
Rinderplätze	-	-	350	250
Kälberplätze	-	-	1.000	300
Mastschweineplätze	2.000	-	2.000	1.500
Sauenplätze (einschl. dazugehöriger Ferkel)	750	-	750	560
Ferkelplätze	6.000	-	6.000	4.500
Pelztierplätze	-	-	1.000	750
Nutztierplätze	-	-	-	50 GV und 2 GV/ha
Anlagen zur Lagerung von Gülle	-	2.500 m ³	-	2.500 m ³

3.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz

In der 4. BImSchV wird zwischen Spalte 1- und Spalte 2-Anlagen unterschieden. Spalte 1-Anlagen unterliegen einem förmlichen immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung, Spalte 2-Anlagen einem vereinfachten Genehmigungsverfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung. Im Vergleich zur „alten“ BImSchV wurden die Schwellenwerte für die Genehmigungsbedürftigkeit von Tierhaltungsanlagen, wenn auch ohne Öffentlichkeitsbeteiligung, herabgesetzt. Anlagen zur Haltung und Aufzucht von Rindern und Kälbern sowie von Pelztieren wurden neu aufgenommen und sind ab den in Tabelle 2 genannten Schwellenwerten genehmigungsbedürftig.

3.2 Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung

Die UVP ist entsprechend der 9. BImSchV als unselbständiger Teil des Genehmigungsverfahrens nach BImSchG zu berücksichtigen. Die Größenwerte, die die Pflicht zur UVP festlegen, orientieren sich deshalb sehr stark an den Schwellenwerten zur Genehmigungsbedürftigkeit nach BImSchG (Tabelle 2).

Die generelle Pflicht zur Durchführung einer UVP besteht für Anlagen, die den in Tabelle 3 benannten Größenwert überschreiten (Spalte 1, X). Für Vorhaben, für die eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalles (Spalte 2, A) oder eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalles (Spalte 2,5) vorgesehen ist, kann eine UVP angeordnet werden, wenn das Vorhaben erhebliche nachteilige Umweltwirkungen hat. Wird von einer UVP abgesehen, unterliegt das Vorhaben nur dann einem förmlichen und öffentlichen Genehmigungsverfahren nach BImSchG, wenn die Schwellenwerte der Spalte 1 der 4. BImSchV überschritten werden.

Tabelle 3: Schwellenwerte für die UVP-Pflicht

	UVPG alt	UVPG neu		
		Spalte 1 X	Spalte 2 A	S
Hennenplätze	42.000	42.000	-	15.000
Junghennenplätze	84.000	84.000	-	30.000
Mastgeflügelplätze	84.000	84.000	-	30.000
Truthühnermastplätze	-	42.000	-	15.000
Rinderplätze	-	350		250
Kälberplätze		1.000	-	300
Mastschweineplätze	1.400	2.000	-	1.500
Sauenplätze (einschl. dazugehöriger Ferkel)	500	750	-	560
Ferkelplätze	-	6.000	-	4.500
Pelztierplätze	-	1.000	-	750
Nutztierplätze	-	-	50 GV und 2 GV / ha	-

Kriterien für eine Vorprüfung im Einzelfall

Anhand der nachfolgend genannten Kriterien soll im Rahmen der Vorprüfung im Einzelfall geprüft werden, ob die ökologische Empfindlichkeit eines Gebietes möglicherweise beeinträchtigt wird:

1. Merkmale der Vorhaben (Größe, Nutzung und Gestaltung von Wasser, Boden, Natur und Landschaft, Abfallerzeugung, Umweltverschmutzung und Belästigung, Unfallrisiko)
2. Standort der Vorhaben (bestehende Nutzung des Gebietes, Reichtum, Qualität und Regenerationsfähigkeit von Wasser, Boden, Natur und Landschaft des Gebietes, Belastbarkeit der Schutzgüter)
3. Merkmale der möglichen Auswirkungen (Ausmaß der Auswirkungen, etwaiger grenzüberschreitender Charakter der Auswirkungen, Schwere und Komplexität der Auswirkungen, Wahrscheinlichkeit von Auswirkungen, Dauer, Häufigkeit und Reversibilität der Auswirkungen)

Da die Kriterien sehr allgemein gehalten sind, liegt es im Ermessungsspielraum der Behörde, eine UVP anzuordnen. Hat die Behörde entschieden, dass eine UVP durchzuführen ist, ist diese Entscheidung vom Antragsteller nicht anfechtbar (SCHOMAKER, 2001).

3.3 TA-Luft

Die Anforderungen für die Errichtung und den Betrieb von Tierhaltungsanlagen sind in der ERSTEN ALLGEMEINEN VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (TA-Luft) verankert. Der Geltungsbereich, der seit 1. Oktober in Kraft getretenen Verwaltungsvorschrift wurde auch auf nicht genehmigungsbedürftige Anlagen ausgeweitet (Abbildung 1). Genehmigungsbedürftige Anlagen unterliegen nach § 5 BImSchG dem Schutz- und Vorsorgeprinzip, nicht genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 22 BImSchG dem Schutzprinzip.

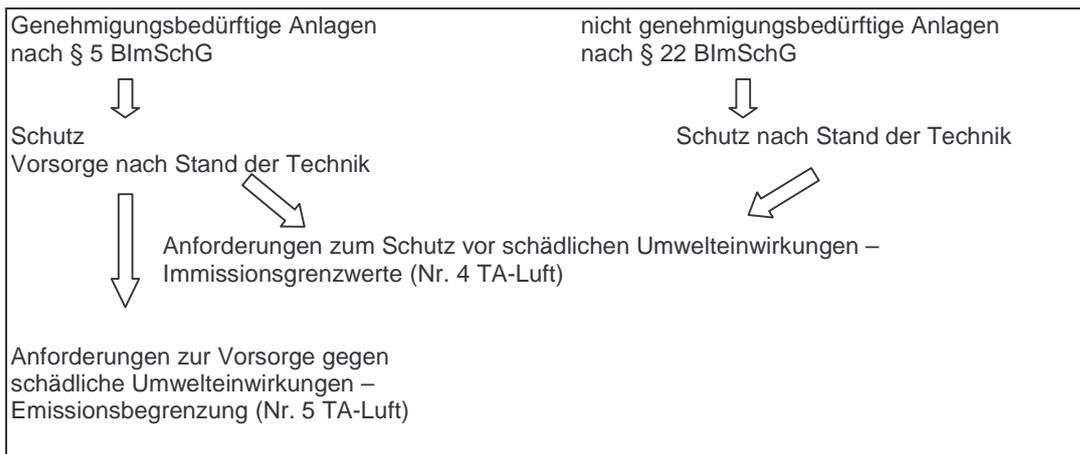


Abbildung 1: Anforderungen an genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen

Anforderungen nach Nr. 4 der TA-Luft

Nach Nr. 4 der TA-Luft ist zu prüfen, ob der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch luftverunreinigende Stoffe durch den Betrieb einer Anlage sichergestellt ist u. a. durch Festlegungen:

- zu Immissionswerten
- zur Ermittlung von Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung
- zur Bewertung von Immissionen durch Vergleich mit den Immissionswerten
- zur Durchführung von Sonderfallprüfungen

Für die Tierhaltung relevante Stoffe sind Schwebstaub sowie Ammoniak. Die TA-Luft beinhaltet für Schwebstaub einen Immissionswert (Tabelle 4), für Ammoniak eine Mindestabstandskurve (Abbildung 2) und einen Immissionswert. Der Staubniederschlag kann unberücksichtigt bleiben, da im ländlichen Raum die mittleren Jahresdepositionen bei 0,04 bis 0,06 g/(m²*d) liegen (ERLASS DES SMUL, 2002), der zulässige Immissionswert in der TA-Luft jedoch bei 0,35 g/(m²*d).

Hinsichtlich der Stickstoffdeposition ist zu prüfen, ob eine Tierhaltungsanlage maßgeblich zur Stickstoffdeposition beiträgt. Ein Anhaltspunkt dafür ist gegeben, wenn die Besatzdichte 2 GV/ha Landkreisfläche überschreitet. Aus diesem Grund unterliegen Anlagen mit mehr als 50 GV und einer Besatzdichte von mehr als 2 GV/ha der Genehmigung nach Spalte 2.

Tabelle 4: Immissionswerte für Schwebstaub und Staubniederschlag

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration (µg/m ³) Deposition (g/(m ² *d))	Mittelungszeitraum	Zulässige Überschreitungshäufigkeit im Jahr
Schwebstaub (PM-10)	40 50	Jahr 24 Stunden	- 35
Staubniederschlag (nicht gefährdender Staub)	0,35	Jahr	

Die Bestimmung von Immissionskenngrößen kann entfallen, wegen:

- a) geringer Emissionsmassenströme (Bagatellgrenze),
- b) geringer Vorbelastung,
- c) irrelevanter Zusatzbelastung.

Die Höhe der als gering eingestuften Emissionsmassenströme wird in der TA-Luft für Anlagen in Abhängigkeit von den Ableitbedingungen angegeben. Abgase sind nach TA-Luft so abzuleiten,

dass ein ungestörter Abtransport mit der freien Luftströmung ermöglicht wird. Der „Schornstein“ soll mindestens eine Höhe von 10 m über der Flur und einen den Dachfirst um 3 m überragende Höhe haben. Anlagen, die nicht nach diesen Kriterien ihre Abluft ableiten, werden als diffuse Quellen eingestuft. Das betrifft im Regelfall alle Tierhaltungsanlagen. Dadurch reduziert sich die Bagatellgrenze auf 10 vom Hundert des festgelegten Wertes von 1 kg/h, d. h. auf 0,1 kg/h.

Die Berechnung von Staubmassenströmen ist mit großer Unsicherheit behaftet, da für die verschiedenen Tierarten und Haltungssysteme nur wenige und vor allem stark differierende Emissionsfaktoren in der Literatur vorliegen. Oftmals ist eine Zuordnung des Haltungssystems nicht möglich. Von Interesse sind sowohl Feinstaubemissionen (PM 10) als auch Gesamtstaubemissionen. In Tabelle 5 sind Emissionsfaktoren für Feinstaub zusammengestellt.

Tabelle 5: Emissionsfaktoren für PM 10-Staub (TAKAI, 1998)

Konventionelle Haltung von	Emissionsfaktoren in mg / h * GV Inhalierbarer Staub (PM 10)
Mastschweinen	
Einstreu	561 – 890
Spaltenboden	418 – 895
Sauen	
Einstreu	144 – 753
Spaltenboden	121 – 949
Legehennen	
Käfighaltung	398 – 872
Bodenhaltung / Auslauf	1771 – 4340
Masthähnchen	
Einstreu	1856 – 6218
Milchvieh	
Boxenlaufstall	21 – 338
Einstreu	60 – 142
Kälber	
Einstreu	64 – 142
Spaltenboden	63 – 192

Die Prüfung, ob eine Anlage genehmigungsfähig ist, erfolgt bei der Beurteilung von Staubbelastungen in drei Stufen:

1. Ermittlung der Emissionsmassenströme
2. Prüfung der Überschreitung des Bagatellmassenstromes, wenn ja, dann
3. Ermittlung von Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung sowie Vergleich der Gesamtbelastung mit dem zulässigen Immissionswert

Überschreitet die Gesamtbelastung den vorgegebenen Immissionswert, darf die Genehmigung nicht versagt werden, wenn

- a) die Zusatzbelastung durch die Emissionen der Anlage an einem Beurteilungspunkt 3,0 vom Hundert des Immissions-Jahreswertes nicht überschreitet und Maßnahmen zur Luftreinhaltung, die über den Stand der Technik hinausgehen, ergriffen werden
- b) Sanierungsmaßnahmen innerhalb von 12 Monaten die Einhaltung des Immissionswertes sicherstellen.

Eine Verbesserung der Ableitbedingungen ist nur dann zu berücksichtigen, wenn die Maßnahmen zur Begrenzung von Emissionen dem Stand der Technik entsprechen.

Durch Ammoniak können Schädigungen empfindlicher Pflanzen und Ökosysteme erfolgen. Es sind Mindestabstände entsprechend Abbildung 2 einzuhalten.

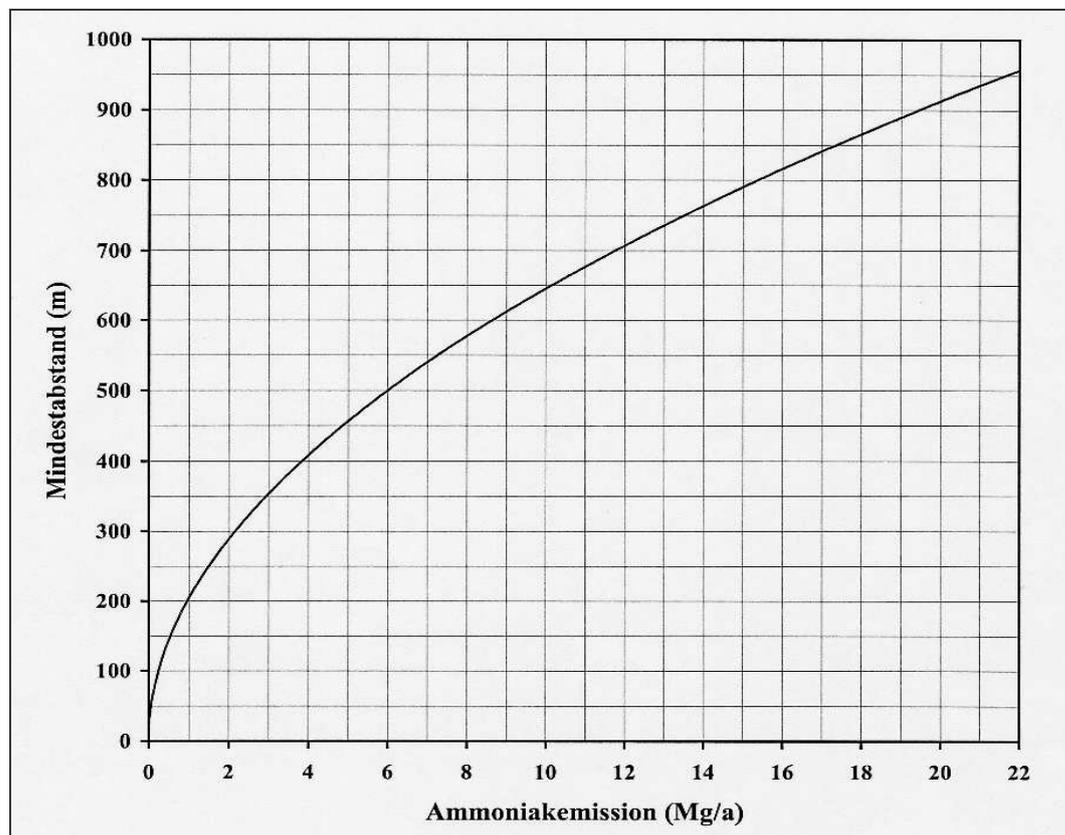


Abbildung 2: Mindestabstand von Anlagen zu empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen (TA-Luft, 2002)

Bei Errichtung von Anlagen soll gegenüber stickstoffempfindlichen Pflanzen und Ökosystemen in der Regel ein Mindestabstand von 150 m nicht überschritten werden.

Für die Berechnung des Mindestabstandes gilt die Gleichung:

$$X_{\min} = \sqrt{F \cdot Q}$$

wobei

$$F = 41.668 \text{ m}^2 \cdot \text{a/Mg}$$

Q = jährliche Ammoniakemission in Mg/a

Die Abstandskurve in der TA-Luft wurde für eine Zusatzkonzentration von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft unter ungünstigen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen berechnet (RATSCHOW, 2003). Diese mit der Kurve ermittelten Abstände stellen damit sicher, dass zwar unter ungünstigsten Standortbedingungen keine schädlichen Umweltwirkungen auftreten, die Abstände für Standorte mit günstigeren Vorbedingungen bzw. meteorologischen Voraussetzungen werden jedoch überschätzt. Daher gibt es länderspezifische Regelungen für die Ermittlung von Mindestabständen für Ammoniak.

In Sachsen werden Mindestabstände in Abhängigkeit von der Schadstoffemission und der relativen zulässigen Zusatzbelastung ermittelt. Detaillierte Informationen dazu liefert der Beitrag „Ermittlung des Mindestabstandes bei ausgewählten Tierhaltungsanlagen in Sachsen auf der Grundlage von Ammoniak- und Feinstaubemissionen“.

In Nordrhein-Westfalen finden die „Handlungsempfehlungen zur Beurteilung von Ammoniakimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Tierhaltungsanlagen“ Anwendung. Die Schutzabstände wurden durch Simulation der Ammoniakausbreitung mit dem Modell AUSTAL2000 ermittelt. Durch Berücksichtigung der für das Münsterland repräsentativen meteorologischen Bedingungen, wird der in der TA-Luft in der Gleichung für die Berechnung des Mindestabstandes verankerte Faktor F verändert. In Abhängigkeit von der Art der Vegetation ergeben sich dadurch im Vergleich zur TA-Luft veränderte Mindestabstände. Am Beispiel eines Rinderstalles mit 200 Milchkühen sollen die Diskrepanzen dargestellt werden.

200 Milchkühe im Liegeboxenlaufstall emittieren im Jahr 2914 kg NH_3/a

erforderlicher Abstand nach TA-Luft:	348 m
nach NRW - normale Vegetation:	125 m
- sensible Vegetation:	198 m

Die in der TA-Luft vorgegebenen Mindestabstände können unterschritten werden, wenn mittels Ausbreitungsrechnung nachgewiesen wird, dass an keinem maßgeblichen Beurteilungspunkt die Zusatzbelastung von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten wird. Erhebliche Nachteile sind dann nicht gegeben, wenn die Gesamtbelastung an Ammoniak an keinem Beurteilungspunkt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreitet.

Für die Ausbreitungsberechnung notwendige Emissionsfaktoren sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

Anforderungen nach Nr. 5 der TA-Luft

Unter dem Aspekt der Vorsorge werden in Nr. 5 der TA-Luft Festlegungen getroffen zu:

- Emissionswerten, deren Überschreiten nach dem Stand der Technik vermeidbar ist
- emissionsbegrenzenden Anforderungen, die dem Stand der Technik entsprechen
- Verfahren zur Ermittlung der Emissionen
- Anforderungen zur Ableitung von Abgasen

Für die Ermittlung des Standes der Technik können im Einzelfall BVT-Merkblätter oder Richtlinien oder Normen des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft als Erkenntnisschwelle herangezogen werden.

Bedeutsame Emissionsgrenzwerte für Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Nutztieren betreffen staubförmige Emissionen sowie Ammoniak (Tabelle 6).

Tabelle 6: Emissionswerte für Gesamtstaub und Ammoniak

Stoff/Stoffgruppe	Massenstrom	Massenkonzentration
Gesamtstaub	0,2 kg/h	20 mg/m ³
Ammoniak	0,15 kg/h	30 mg/m ³

Für die Festlegung der Höhe des Emissionsmassenstromes ist entscheidend, welche Quellen in die Berechnung einbezogen werden. So können die Emissionen der gesamten Anlage, eines Stalles oder jedes einzelnen Abluftschachtes als Massenstrom gewertet werden. Wird die gesamte Anlage als eine Quelle betrachtet, überschreitet ein Großteil der genehmigungsbedürftigen Tierhaltungsanlagen den vorgegebenen Massenstrom von 0,2 kg/h für Gesamtstaub bzw. 0,15 kg/h für Ammoniak, wenn die in Tabelle 6 zusammengestellten Emissionsfaktoren für die Ermittlung des Emissionsmassenstromes genutzt werden. Daher ist die Massenkonzentration ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung von Tierhaltungsanlagen. Entsprechende mittlere Massenkonzentrationen im Stall bzw. der Abluft liegen bei 0,03 bis 10,4 mg/m³ für Staub (HINZ, 1994; HARTUNG, 1998; PEDERSEN, 1998; TAKAI, 1999; KEULEN, 2001). Die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2002) legt maximale Ammoniakkonzentration im Tierbereich von 20 ppm bzw. 14 mg/m³ fest. Damit werden die vorgeschriebenen Emissionswerte deutlich unterschritten.

Um Geruchsbelästigungen zu vermeiden, werden Mindestabstände zur nächsten vorhandenen oder im Bebauungsplan festgesetzten Wohnbebauung vorgeschrieben. Bei der Errichtung von Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Nutztieren sollten diese Mindestabstände eingehalten

werden (Abbildung 3). Der Mindestabstand wird in Abhängigkeit von der Tierlebensmasse in Großvieheinheiten angegeben.

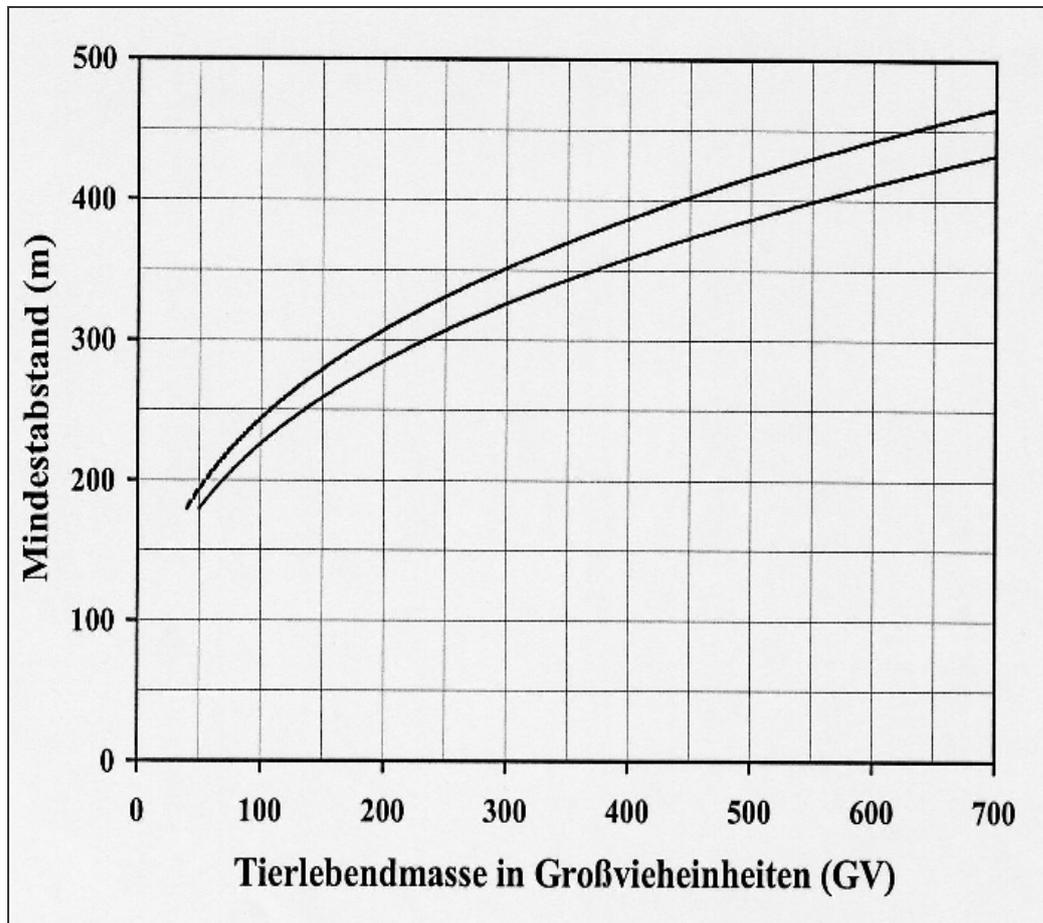


Abbildung 3: Mindestabstandskurven für Geflügel (obere Kurve) und Schweine (untere Kurve)

Der Mindestabstand kann unterschritten werden, wenn die Emissionen an Geruchsstoffen durch primärseitige Maßnahmen gemindert werden oder das geruchsbeladene Abgas einer Abgasreinigungseinrichtung zugeführt wird. Die daraus resultierende Verminderung des Mindestabstandes ist mit Hilfe eines geeigneten Modells zur Geruchsausbreitungsrechnung festzustellen. Das trifft gegenwärtig auch für Rinderanlagen zu, für die in der TA-Luft keine Abstandskurve erstellt wurde. In Sachsen wird daran gearbeitet, eine entsprechende Abstandsregelung zu erarbeiten.

Die zulässigen Modelle werden in Sachsen vom Landesamt für Umwelt und Geologie festgelegt. Für Geruchsausbreitungsrechnungen sind TA-Luft Faktor 10-Modelle, Modelle, die in der VDI 3782 Bl. 4 verankert sind, sowie das Modell „LASAT Faktor 4“ anzuwenden. Entsprechende Emissionsfaktoren sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Emissionsfaktoren für Ammoniak und Geruch

konventionelle Haltung von	Emissionsfaktor	
	Ammoniak * kg/TP * a	Geruch GE/s * GV
Mastschweine		
Zwangslüftung, Flüssigmistverfahren		32 – 272
Zwangslüftung, Festmistverfahren	4,86	20 – 58
Außenklimastall, Kistenstall	2,43	3 – 20
Außenklimastall, Tiefstreu- oder Kompostverfahren	4,86	
Ferkelerzeugung		
alle Bereiche und Aufstallungsformen (Zuchtsauen inkl. Ferkel bis 25 kg)	7,29	19 – 69
Legehennen		
Käfighaltung mit belüftetem Kotband	0,0389	17 – 23
Volierenhaltung mit belüftetem Kotband	0,0911	
Bodenhaltung / Auslauf (Entmistung 1 x / Durchgang)	0,3157	46 (Sommer)
Mastgeflügel		
Masthähnchen, Bodenhaltung	0,0486	25 – 630
Enten	0,1457	47 – 184
Puten	0,7286	34 – 52
Milchvieh		
Anbindehaltung, Fest- oder Flüssigmist	4,86	12
Liegeboxenlaufstall, Fest- oder Flüssigmist	14,57	12 – 17
Laufstall, Tiefstreuverfahren	14,57	
Laufstall, Tretmistverfahren	15,79	
Mastbullen, Jungvieh (0,5 bis 2 Jahre)		
Anbindehaltung, Fest- oder Flüssigmist	2,43	
Laufstall, Flüssigmistverfahren	3,04	
Laufstall, Tretmistverfahren	3,64	

Die TA-Luft schreibt folgende bauliche und betriebliche Maßnahmen zur Begrenzung der Emissionen vor:

- a) größtmögliche Sauberkeit und Trockenheit im Stall,
- b) Futtermenge so bemessen, dass wenig Futterreste entstehen; Futterreste regelmäßig aus dem Stall entfernen,
- c) Nährstoff angepasste Fütterung,
- d) optimales Stallklima (zwangsgelüftete Ställe nach DIN 18910, frei gelüftete Ställe quer zur Hauptwindrichtung stellen),

- e) ausreichende Einstreumenge bei Festmistverfahren,
- f) Kot und Harn bei Flüssigmistsystemen kontinuierlich und in kurzen Zeitabständen aus dem Stall fördern,
- g) der maximale Füllstand der Güllezwischenlager im Stall soll bei Unterflurabsaugung höchstens bis 50 cm unterhalb der Betonroste ansteigen,
- h) Güllelagerung außerhalb des Stalles in geschlossenen Behältern oder Anwendung gleichwertiger emissionsmindernder Maßnahmen (Minderung an Geruchs- und Ammoniakemissionen von mindestens 80 %),
- i) Lagerkapazität für Flüssigmist von mindestens sechs Monaten

Bei Anlagen zur Haltung oder zur Aufzucht von Geflügel sind darüber hinaus anzuwenden:

- j) in der Käfighaltung Kotbandtrocknung oder –belüftung, getrockneter Geflügelkot darf nicht wiederbefeuchtet werden

Bei Anlagen zur Haltung oder zur Aufzucht von Pelztieren sind darüber hinaus anzuwenden:

- k) Anlieferung von Frischfutter im Sommer täglich, im Winter dreimal wöchentlich oder Futterlagerung tiefgekühlt
- l) unter den Käfigen ausreichend einstreuen
- m) Dung unter den Käfigen mindestens einmal wöchentlich entfernen
- n) Lagerung der Exkremete in geschlossenen Räumen oder Behältern

Auch bestehende Anlagen sind betroffen

Die TA-Luft legt fest, dass bestehende genehmigungsbedürftige Anlagen, die nicht den in den Nummern 4 und 5 festgelegten Anforderungen entsprechen, nachträgliche Anordnungen erhalten. Der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen ist nicht ausreichend gewährleistet, wenn

- a) Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit an einem für Menschen dauerhaft zugänglichen Ort im Einwirkungsbereich der Anlage überschritten sind
- b) Immissionswerte zum Schutz vor erheblichen Belästigungen im Einwirkungsbereich der Anlage überschritten sind und nicht ausgeschlossen ist, dass unzumutbare Belästigungen in dem betroffenen Bereich tatsächlich auftreten
- c) Immissionswerte zum Schutz vor erheblichen Nachteilen, insbesondere zum Schutz der Vegetation und von Ökosystemen im Einwirkungsbereich der Anlage überschritten sind und in dem betroffenen Bereich schutzbedürftige Ökosysteme bestehen
- d) Eine Sonderfallprüfung ergeben hat, dass luftverunreinigende Immissionen zu Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft führen.

Als Maßnahmen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind aufgeführt:

1. Einhaltung des Standes der Technik
2. weitergehende Maßnahmen zur Emissionsminderung
3. Verbesserung der Ableitbedingungen
4. Vollständiger oder teilweiser Widerruf der Genehmigung

Die nachträglichen Anordnungen sind unverzüglich zu treffen. Für die Durchführung der geforderten Maßnahmen kann unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes eine Frist eingeräumt werden.

Nachträgliche Anordnungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen haben zum Ziel, die Anlagen dem Stand der Technik anzupassen. Werden Emissionswerte geringfügig überschritten, kann die Anordnung aufwendiger Abhilfemaßnahmen unverhältnismäßig sein. Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit kann auch durch Einräumung von Sanierungsfristen gewahrt werden. Für Maßnahmen, deren Erfüllung lediglich organisatorische Änderungen oder einen geringen technischen Aufwand erfordern, kann eine Sanierungsfrist von drei Jahren eingeräumt werden. Genehmigungsbedürftige Tierhaltungsanlagen sollen die Anforderungen bis zum 30.10.07 umsetzen.

4 Literatur

ERLASS DES SMUL (2002): Abstandsregelungen bei Tierhaltungsanlagen

ERSTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft–TA-Luft) vom 30. Juli 2002: GMBI. 2002, Heft S. 25-29, S. 511-605

GESETZ ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVP) vom 21. Februar 1990, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 27. Juli 2001: BGBl. I 1950

HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; TRICKL, TH.; GRONAUER, H. (1998): Freisetzung partikelförmiger Stoffe aus einem Schweinestall mit zentraler Ablufführung in die Stallumgebung. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 105, S. 244-245

HINZ, T.; WIEMANN H.-D. (1994): Emissions luftfremder Stoffe aus einer Schweinemastgroßanlage. Landbauforschung Völkenrode 44, Heft 4, S. 345-352

KEULEN, A. (2001): Öl-Verneblung – wirksam aber teuer. DGS MAGAZIN 44, S. 33-34

PEDERSEN, S. (1998): Staubreduzierung in Schweineställen. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 105, S. 247-252

RATSCHEW, J.-P. (2003): Auswirkungen der TA-Luft 2002 auf zukünftige Genehmigungsverfahren. 6. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2003“ 25.-27.03.03 in Vechta

SCHOMAKER, B. (2001): DGS MAGAZIN 9 2001, S. 18-20

TAKAI, H.; PEDERSEN, S.; JOHNSON, J. O. ET AL. (1998): Concentrations and Emissions of Airborn Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. Journal of Agric. Engineering Research 70, S. 59-77

TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG (2001): Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung

Ermittlung des Mindestabstandes bei ausgewählten Tierhaltungsanlagen auf der Grundlage von Ammoniak- und Feinstaubemissionen in Sachsen

Dr.-Ing. Johannes Jacob, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz

1 Anforderungen aus der TA-Luft

Beim Betreiben von Tierhaltungsanlagen entstehen infolge der Stoffwechselprozesse im Tierkörper und durch den Abbau der Tierexkrememente neben Geruchs- auch Ammoniak- und Staubemissionen.

Mit dem Erscheinen der TA Luft 2002 (ERSTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ) wurde vom Gesetzgeber im Anhang dieser Verwaltungsvorschrift eine Mindestabstandskurve für Ammoniak unter Zugrundelegung einer zulässigen Zusatzbelastung von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgelegt (Abbildung 1).

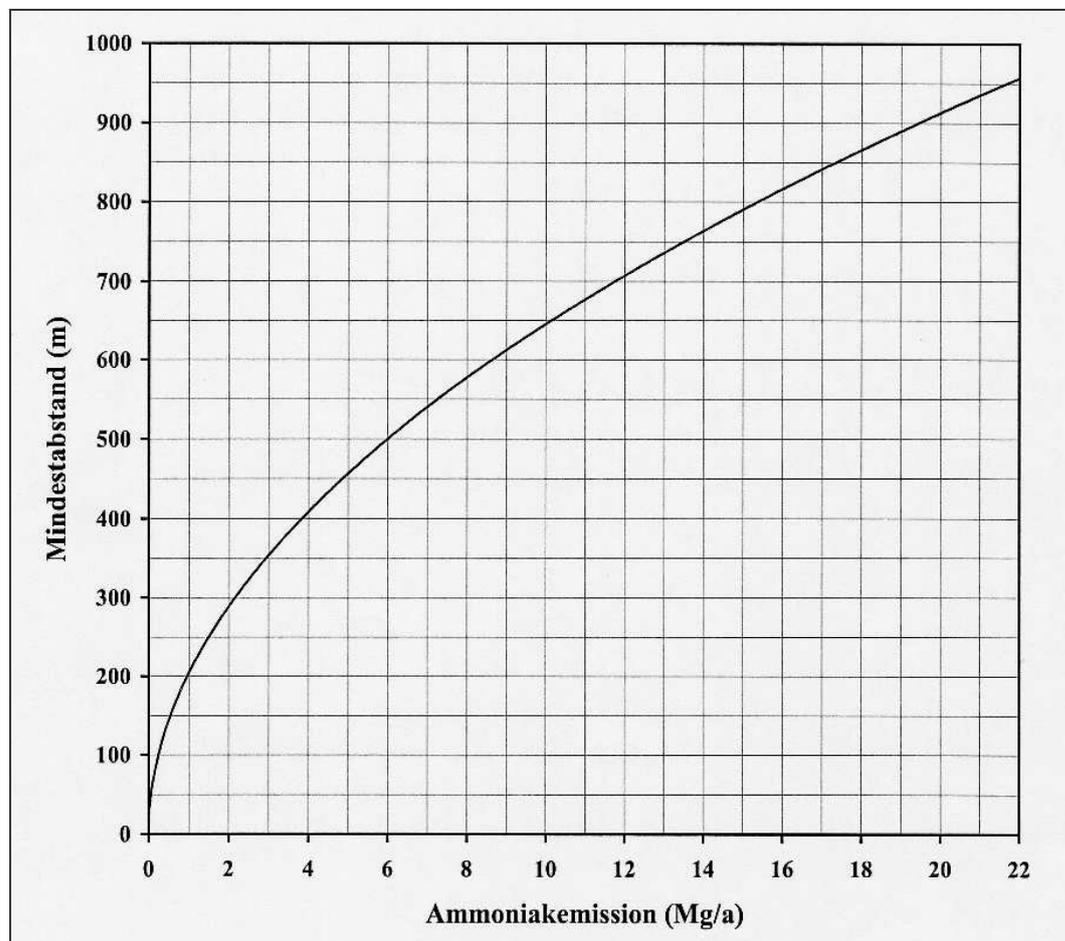


Abbildung 1: Mindestabstand von Anlagen zu empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen (TA-Luft, 2002)

Für die Berechnung des Mindestabstandes gilt die Gleichung:

$$X_{\min} = \sqrt{F \cdot Q}$$

wobei

$$F = 41.668 \text{ m}^2 \cdot \text{a/Mg}$$

Q = jährliche Ammoniakemission in Mg/a

Eine entsprechende Kurve für Staub ist derzeit nicht bekannt. Vom Autor wurde auf der Basis dieser Ammoniakabstandskurve eine Arbeitsgrundlage für die Bewertung sowohl von Feinstaubemission als auch von Ammoniakemissionen erarbeitet.

2 Sächsische Regelung zur Ermittlung der Mindestabstände

Die Sächsische Regelung zur Ermittlung von Mindestabständen für Ammoniak und Feinstaub berücksichtigt die bereits vorhandene in einzelnen Gebieten differierende Vorbelastung.

Die Vorbelastungswerte schwanken beispielsweise für Feinstaub (PM 10) in den ländlichen Regionen zwischen 15 und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sie sind den Berichten der jeweils zuständigen Landesämter /-anstalten zu entnehmen.

Die Stäube können in Abhängigkeit vom Teilchendurchmesser in Feinstaub ($d_{ae} \leq 10 \mu\text{m}$) und in Staubbiederschlag ($d_{ae} > 10 \mu\text{m}$) eingeteilt werden. Im ländlichen Raum liegen die derzeitigen Jahresmittelwerte der Staubbiederschlagsbelastung bei 0,040 bis 0,060 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Damit wird der Grenzwert der TA Luft nur zu ca. 11 bis 17 % ausgelastet. Der Anteil des Staubbiederschlages im Gesamtstaub von Tierhaltungsanlagen spielt damit für die weiteren Betrachtungen keine Rolle.

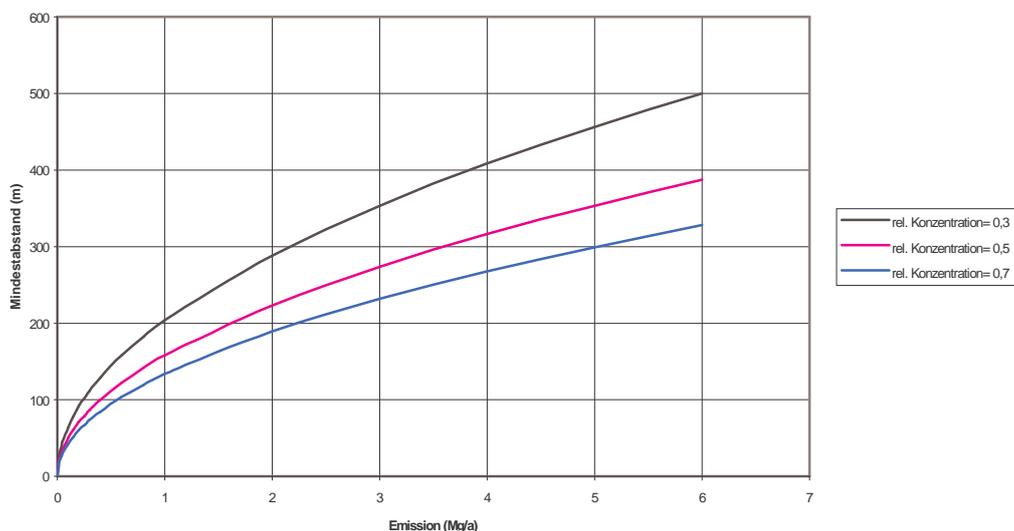


Abbildung 2: Mindestabstände für gasförmige Schadstoffe und Feinstaub in Abhängigkeit von der Schadstoffemission und der relativen Zusatzbelastung

Unter der Voraussetzung, dass sich die Feinstaubteilchen wie Gase verhalten, kann die vorhandene Mindestabstandskurve für Ammoniak auch für Feinstaub verwendet werden. In der grafischen Darstellung (Abbildung 2) berücksichtigt das Verhältnis „zulässige Zusatzbelastung/zulässige Immissionskonzentration“ (rel. Konzentration) die Immissionsbelastungssituation am jeweiligen Standort.

Für Feinstaub (PM10) gilt als zulässiger Immissionswert der EU-Grenzwert von 40 µg/m³. Aus der Differenz zwischen dem maximal zulässigen Immissionswert und den Vorbelastungswerten kann die zulässige Zusatzbelastung errechnet werden.

Für NH₃ wird ein maximal zulässiger Immissionswert von 10 µg/m³ (TA Luft) festgelegt. Die Vorbelastungswerte variieren zwischen 2 und 4 µg/m³. Analog der TA-Luft kann der Mindestabstand berechnet werden nach:

$$X_{\min} = \sqrt{F \cdot Q}$$

Der Faktor F ist abhängig von der Höhe der Vorbelastung bzw. daraus resultierend von der möglichen Zusatzbelastung. Die Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Faktoren zur Berechnung des Mindestabstandes in Abhängigkeit von der Zusatzkonzentration

Relative Zusatzbelastung	Zusatzkonzentration in µg/m³		Faktor F m² * a/Mg
	Ammoniak	Feinstaub	
0,3	3	12	41.668
0,5	5	20	25.000
0,7	7	28	17.857
0,8	8	32	15.625

Für die Ermittlung des Mindestabstandes werden die Emissionsmassenströme für Feinstaub und Ammoniak benötigt. Sie werden mit Hilfe von Emissionsfaktoren (Tabelle 1) und den entsprechenden GV-Zahlen der einzelnen Tierarten ermittelt. Dann werden die Verhältnisse „zulässige Zusatzbelastung/zulässige Immissionskonzentration“ errechnet. Mit diesen relativen Werten und der Jahresschadstoffemission kann dann aus Abbildung 2 der Mindestabstand abgelesen werden. Es sind für Ammoniak und für Feinstaub die Mindestabstände zu ermitteln. Der größere Wert von beiden ist dann für die Abstandsfestlegung ausschlaggebend.

Die Emissionsfaktoren für Ammoniak und Feinstaub sind für ausgewählte Tierarten und Haltungsförm in der Tabelle 2 dargestellt. Die Feinstaubemissionsfaktoren wurden aus der Staubemission und den in Tabelle 3 dargestellten Feinstaubanteile errechnet. Da der für die Bestimmung der Teil-

chen verwendete Kaskadenimpaktor keine Stufe mit der PM10-Charakteristik besaß, können nur die Teilchen < 6,6 µm in den weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden.

Die Feinstaubemissionsfaktoren stellen nur Schätzungswerte dar, da die derzeitige Datengrundlage noch große Unsicherheiten aufweist.

Tabelle 2: Staub- und NH₃-Emissionsraten für ausgewählte Tierhaltungen

Tierhaltung	Emissionsrate Feinstaub in kg/a GV	Emissionsrate Ammoniak in kg/a GV
Rind	0,04	12,26
Mastschwein (Zwangslüftung, Vollspaltenboden)	0,70	24,53
Mastschwein (Außenklimastall)	0,70	32,41
Geflügel (Legehennen) Bodenhaltung Jahresmittelwert	37,67	93,73
Geflügel (Legehennen) Volierenhaltung Jahresmittelwert		28,24

Tabelle 3: Anteil des Feinstaubes (<6,6 µm) am Gesamtstaub bei Tierhaltungen

Tierart	Anteil des Feinstaubes (< 6,6 µm) in %
Rind	4,10
Schwein	14,02
Geflügel	27,61

Dieses hier beschriebene Verfahren wurde in Sachsen zur Beurteilung von Tierhaltungsanlagen eingeführt ERLASS DES SMUL.

3 Literatur

ERSTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft) vom 24.07.2002, GMBL 2002, H. S. 25-27, S. 511-605 vom 30.07.2002

ERLASS DES SMUL (2002): Abstandsregelung bei Tierhaltungsanlagen

Auswirkungen der geänderten Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung auf das Emissionspotenzial von Legehennenbeständen sowie verfahrenstechnische Konsequenzen bei Umstellung des Haltungssystems

Dr. Ute Wanka, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

Thomas Heidenreich und Dr. Roland Klemm, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum

1 Einleitung

1.1 Legehennenhaltung in Sachsen (Überblick)

Seit 1999 werden in Sachsen mit einem relativ stabilem Hennenbestand von 3,7 bis 3,9 Millionen Tieren Eier produziert. Die Anzahl der in der Agrarstatistik erfassten Unternehmen mit >3.000 Hennenplätzen stieg in 10 Jahren von 16 (1992) auf 28 (5/2002). In weiteren ca. 15 Landwirtschaftsbetrieben werden Bestände zwischen 500 und 3.000 Hennen gehalten. Über die einzelnen Haltungssysteme gibt es keine statistischen Daten. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Quellen und eigener Recherchen kann von den in der Tabelle 1 ausgewiesenen Beständen ausgegangen werden. Im Jahr 2000 wurden in Sachsen etwa 89 % der Legehennen in Käfigen gehalten. Ca. 11 % entfallen auf alternative und bäuerliche Haltungssysteme. Das Verhältnis verschiebt sich weiter in Richtung alternative Systeme. Eine sprunghafte Veränderung wird allerdings erst mit dem Greifen der neuen gesetzlichen Regelungen eintreten.

Tabelle 1: Legehennenhaltung in Sachsen

	1999/2000		Betriebe Stück	2001/2002		Betriebe Stück
	Legehennen Stück	Anteil %		Legehennen Stück	Anteil %	
Käfighaltung	3.333.000	89	15	3.471.000	88	15
alternative Haltung davon *)	336.300	9	30	389.000	10	40
Volierenhaltung		30			60	
Bodenhaltung		70			40	
Bäuerliche Haltung	78.000	2	2.279	74.500	2	2.239

*) unabhängig ob Freiland gewährt oder nicht, Verhältnis der Tierplätze mit Voliere/Boden geschätzt

Quelle: KLEMM LfL 8/02 nach Angaben Statistisches Landesamt, Daten Agrarförderung, Geflügelwirtschaftsverband und Unternehmen

Die Tendenz bei größeren alternativen Beständen Voliersysteme zu nutzen, nimmt allerdings deutlich zu.

Fazit:

Die Boden- und Volierenhaltung sowie alle Formen der Auslaufhaltung (z. Z. ca. 10 % des Hennenbestandes in Sachsen) werden nicht zuletzt aufgrund der neuen rechtlichen Rahmenbedingungen, der EU-Hennenhaltungsrichtlinie (1999/74/EG) sowie ihrer deutschen Umsetzung im Rahmen der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, weiter an Bedeutung gewinnen. Diese Haltungssysteme

me werden in den nächsten Jahren einen Großteil der herkömmlichen Käfigbatterien ersetzen. Bis 1999 regelte die Verordnung zum Schutz von Legehennen bei Käfighaltung vom 10. Dezember 1987, besser bekannt als Hennenhaltungsverordnung, die Haltung von Legehennen in Deutschland. Mit dem Urteil des Bundesverfassungsgerichtes vom 6. Juli 1999 wurde diese Verordnung für nichtig erklärt. Da sich die Hennenhaltungsverordnung ohnehin nur auf die Käfighaltung bezog, nahmen die Eiervermarktungsnormen (Verordnung 1274/91/EWG der Kommission mit Durchführungsvorschriften für die Verordnung Nr. 1907/90/EWG des Rates über bestimmte Vermarktungsnormen für Eier) vom 15. Mai 1991 direkten Einfluss auf die Ausgestaltung der alternativen Halteverfahren. Damit ersetzte die Vermarktungsnorm konkrete Rechtsvorschriften zur Haltung von Legehennen in alternativen Haltungssystemen und erlangte damit auch für den Tierschutz Bedeutung.

Die Neuordnung der Vorschriften wurde mit der Richtlinie 1999/74/EG des Rates vom 19. Juli 1999 zur Festlegung von Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen eingeleitet. Sie setzt erstmals verbindliche Rahmenbedingungen auch für Alternativsysteme und beinhaltet ein Verbot der herkömmlichen Käfighaltung.

Die EU-Richtlinie (1999/74/EG) wurde mit der Ersten Verordnung zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung vom 28. Februar 2002 (BGBl. Jahrgang 2002 Teil 1 Nr. 16) in deutsches Recht umgesetzt. Dabei geht die neue Hennenhaltungsverordnung über die Anforderungen der EU-Richtlinie erheblich hinaus. Dies betrifft vor allem die verkürzten Auslaufristen zur Betreuung von Käfighaltungen (31.12.2006 statt 31.12.2011). Darüber hinaus sieht die deutsche Umsetzung gegenüber ihrer europäischen Vorlage keine ausdrückliche Zulassung von ausgestalteten Käfigen vor. Auch von ihrem Gesamtaufbau weicht die deutsche Umsetzung ab. Sie unterscheidet nicht mehr zwischen Käfigen, ausgestaltete Käfigen und alternative Systemen, sondern formuliert nur noch allgemeingültige Anforderungen an Haltungseinrichtungen, ohne diese näher zu benennen. Von den bekannten Haltungssystemen erfüllen im Wesentlichen nur die Boden- und die Volierenhaltung diesen Anspruch.

2001 wurden weiterhin die Vermarktungsnormen für Eier neu geregelt. Die neue Kennzeichnung lehnt sich an die EU-Richtlinie 1999/74/EG an. Folglich unterscheidet sie auch nicht mehr zwischen Boden- und Volierenhaltung und nimmt damit u. a. auch von den bisher geltenden Besatzdichten, z. B. bei Bodenhaltung höchstens sieben Hennen je m² Stallfläche, Abstand. Neu sind darüber hinaus die geforderten Flächen bei Auslaufhaltung. Mit den neuen Vermarktungsnormen gelten für die Freilandhaltung anstatt der 10 m² nur noch mindestens 4 m² Auslaufläche je Henne. Mit 4 m² Auslaufläche je Henne wird die Annäherung der konventionell wirtschaftenden Betriebe an die ökologisch wirtschaftenden Legehennenbetriebe vollzogen.

Die Boden- und Volierenhaltung sowie alle Formen der Auslaufhaltung (z. Z. ca. 10 % des Hennenbestandes in Sachsen) werden nicht zuletzt aufgrund der neuen rechtlichen Rahmenbedingungen, der EU-Hennenhaltungsrichtlinie (1999/74/EG) sowie ihrer deutschen Umsetzung im Rahmen der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, weiter an Bedeutung gewinnen. Diese Haltungssysteme werden in den nächsten Jahren einen Großteil der herkömmlichen Käfigbatterien ersetzen. Der Wandel zu alternativen Systemen bedingt jedoch erhöhte Emissionen.

2 Emissionen aus der Legehennenhaltung

Bei der immissionsschutzrechtlichen Bewertung von Tierhaltungsanlagen finden Ammoniak, Geruchsstoffe und Staub Berücksichtigung.

Die Ammoniak- und Geruchsstoffbildung erfolgt durch mikrobielle aerobe Zersetzung von Stickstoffkomponenten im Kot. Der tägliche Frischkotanfall je Henne beläuft sich auf ca. 160 bis 180 g. Frischkot hat einen Trockensubstanzgehalt von 20 % bis 25 % und einen N-Gehalt von 13 % bis 17 %. Der Stickstoff liegt zu 60 % bis 70 % als Harnsäure und zu 25 % bis 34 % als unverdautes Protein vor. Diese Verbindungen können sehr schnell zu Ammoniak und Kohlendioxid umgesetzt werden. Optimale Bedingungen für die Freisetzung von Ammoniak liegen bei Temperaturen von 35 °C, einem pH-Wert von 9 und einem Feuchtegehalt im Substrat von 40 % bis 60 % vor (BESSEI, 1998). Die Umsetzung kann durch schnellen Wasserentzug aus dem Kot verzögert werden. Die Bedingungen im Stall sind daher so zu gestalten, dass die emittierenden Flächen möglichst trocken gehalten und große Luftgeschwindigkeiten über diesen Flächen vermieden werden. Ein Durchfeuchten der Einstreu ist zu vermeiden, wenn der Eintrag von Spritzwasser minimiert werden kann. Tränknippel mit Tropfwasserauffangrinnen sollten deshalb in den Ställen Standard sein.

Emissionen entstehen in allen Bereichen, in denen organisches Material zersetzt wird. Dazu zählen bei alternativen Verfahren der Volieren- und Bodenhaltung der Stall, der Kaltscharraum und der Auslauf. Der Anteil der einzelnen Emittenten an den Gesamtemissionen ist abhängig von der Nutzungsfrequenz und dem Kotanfall in den Bereichen.

Kaltscharraum und Auslauf werden von den Legehennen zum Picken, Scharren und Sandbaden genutzt. Der Stall ist mit den Fütterungs- und Schlafplätzen sowie Nestern ausgestattet. Einen Überblick zu den Variationsmöglichkeiten der einzelnen Nutzungsbereiche bezogen auf die verschiedenen Haltungsformen liefert die Abbildung 1.

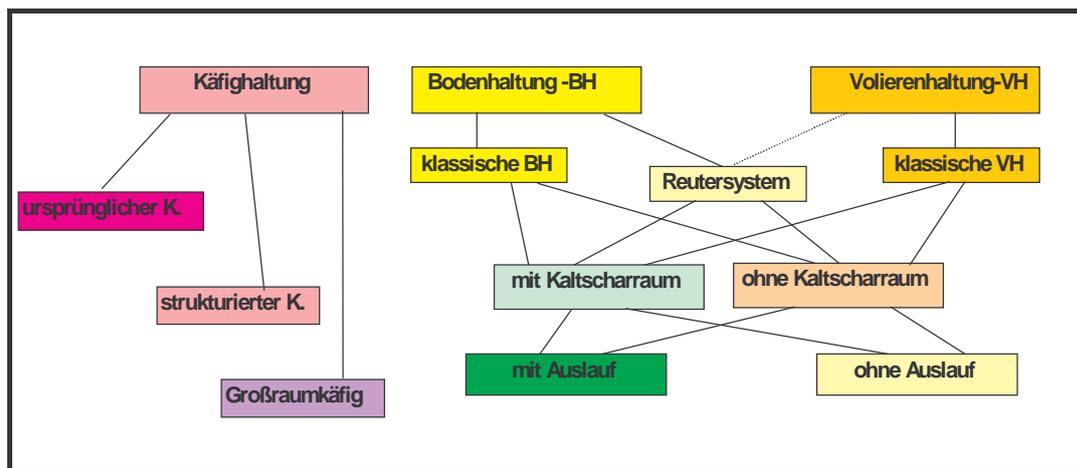


Abbildung 1: Kombinationsmöglichkeiten der Haltungsformen mit den Nutzungsbereichen Kaltscharraum und Auslauf (Klemm, 2002)

2.1 Emissionen aus dem Stall

Der größte Emittent ist der Stall. Ein Großteil der Tiere ist auch bei Bereitstellung eines Kaltscharraumes oder Auslaufes tagsüber im Stall zu finden, da dieser die Tränk- und Fütterungsplätze enthält. Die Höhe der Emissionen aus dem Stall wird u. a. durch das Haltungssystem bestimmt. Je mehr Fläche dem Einzeltier gewährt wird, desto mehr emittierende Fläche wird wirksam und desto höher werden die Ammoniak- und Geruchsstoffemissionen.

Die den Tieren in den einzelnen Haltungssystemen zur Verfügung stehenden Flächen sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Regelungen zur Besatzdichte bei verschiedenen Haltungssystemen

Haltungssystem	Besatzdichte	Übergangsfrist
Käfighaltung	450 cm ² / Henne	bis 31.12.2002
	550 cm ² / Henne	bis 31.12.2006
	ausgestaltete Käfige mit 750 cm ² / Henne	bis 31.12.2011
Volierenhaltung	max. 18 Tiere je m ² Stallgrundfläche	
Bodenhaltung	max. 9 Tiere je m ² nutzbarer Fläche	

Die Staubemissionen steigen bei eingestreuten Systemen und Verfahren mit höherer Bewegungsaktivität der Tiere (alternative Verfahren) an.

2.2.1 Ammoniakemissionen

Die Ammoniakemissionen aus der Geflügelhaltung haben insgesamt einen relativ kleinen Anteil an den Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung in der Bundesrepublik Deutschland. Bezogen auf die spezifische Körpermasse dagegen ist das Geflügel mit Abstand der größte Ammoniakemittent in der Nutztierhaltung (KTBL, 2002).

OLDENBURG (1989) zeigte, dass die Ammoniakemission auch vom Tierverhalten abhängt. In Ruhezeiten ist die Bewegungsaktivität der Tiere gering und auch der Wärmeanfall im Stall geringer; beide Effekte können die Emission reduzieren. Ebenso hat die Zulufttemperatur einen bedeutenden Einfluss auf die Ammoniakemission, denn bei steigendem Wärmeanfall im Stall oder bei steigender Zulufttemperatur steigt der Abluftvolumenstrom, um den für die Tiere optimalen Bereich der Lufttemperatur zu erreichen. Den Einfluss einer Kotbelüftung untersuchte PRIESMANN (1991). Dabei stellte er fest, dass sich der Anteil an Harnsäure in be- und unbelüftetem Kot nach einer 14-tägigen Lagerung im Stall deutlich unterschied. Während sich der Harnsäureanteil im belüfteten Kot nur geringfügig veränderte, waren im unbelüfteten Kot nach 14 Tagen nur noch 50 % der Anfangsharnsäure im Kot nachzuweisen. Parallel dazu nahm der Anteil an Ammoniumstickstoff im unbelüfteten

Kot kontinuierlich zu. Der belüftete Kot war nach 14 Tagen mit 50 % Trockenmasse deutlich trockener als der unbelüftete mit 30 % Trockenmasse.

Auch FLÜGGE (1996) berichtete über eine deutlich höhere Ammoniakbildung in unbelüftetem Kot. Er errechnete 90 g Ammoniakemission pro Henne und Jahr bei unbelüftetem Kot und 30 g Ammoniakemission pro Henne und Jahr bei Kotbelüftung. Diese Werte gelten nur für den Ammoniakausstoß aus dem Stall. Für die Lagerung berechnete er Ammoniakemissionen von 196 g pro Henne und Jahr bei 64-tägiger Rotte von Kot mit 46 % Trockenmasse und nur 8 g pro Henne und Jahr bei 14-tägiger Kompostierung von Kot mit über 70 % Trockenmasse.

Die Ammoniakemission ist von zwei wichtigen Teilprozessen abhängig. Nach GROOT KOERKAMP (1996) ist es zum einen die Bildung von Ammoniak aus den stickstoffhaltigen Verbindungen des Kotes und zum andern die Freisetzung von Ammoniak aus dem Kot/Einstreugemisch. Nach GROOT KOERKAMP (1994) hat insbesondere die Kottrocknung eine Reduktion der Ammoniakemissionen zur Folge. Bei den heute gebräuchlichen Systemen der Kottrocknung im Stall wird der Kot intensiv belüftet und erreicht nach Angaben der Hersteller Trockensubstanzgehalte von 60 % bis 85 %. GROOT KOERKAMP und REITSMA (1992) fanden bei Untersuchungen in verschiedenen Haltungssystemen in einem Volierensystem ohne Kottrocknung 130 g Ammoniakemission pro Henne und Jahr, während das System mit Kottrocknung nur eine Ammoniakemission von 90 g pro Henne und Jahr aufwies. Im Vergleich dazu verursachte die Batterie mit Kottrocknung nur 35 g Ammoniakemission je Henne und Jahr. Bei diesen Systemen wurde der Kot zweimal pro Woche aus dem Stall entfernt. Allerdings wurde in den Volierensystemen nur der Kot auf den Kotbändern entmistet, während die Ausscheidungen in der Einstreu im Stall verblieben.

Die bisher übliche Käfighaltung zeichnet sich durch ein niedriges Emissionsniveau aus. Stand der Technik ist in der Käfighaltung die Belüftung des Kotbandes, um den anfallenden Frischkot so schnell wie möglich auf einen TS-Gehalt von mindestens 60 % zu trocknen und dadurch die Emissionen zu minimieren. Von zahlreichen Autoren wurden Emissionen in Höhe von 0,03 kg bis 0,034 kg NH₃/Tierplatz und Jahr ermittelt. Damit ist eine recht gute Übereinstimmung mit dem in der TA-Luft festgeschriebenen Wert von 0,0389 erreicht. Die Emissionsfaktoren, die für die Ammoniakfreisetzung in der TA-Luft benannt sind, bilden die Grundlage für die Abstandsermittlung von Tierhaltungsanlagen zu N-sensiblen Ökosystemen.

Für ausgestaltete und Großraumkäfige liegen bisher keine Emissionsfaktoren vor (Tabelle 3).

Laut TA-Luft erhöhen sich die Ammoniakemissionen um den Faktor 3, wenn Tiere in Volieren statt Käfigen gehalten werden. Der vom KTBL ermittelte Wert liegt mit 0,075 kg NH₃/Tierplatz und Jahr deutlich niedriger. Aufgrund der ständig verbesserten verfahrenstechnischen Lösungen hinsichtlich Kotbelüftung in modernen Volierensystemen erscheint der Faktor 3 bei Volieren gegenüber Käfigen zu hoch. Messreihen dazu liegen allerdings noch nicht vor. Weitere Literaturangaben beziehen sich

vorrangig auf Systeme ohne Kottrocknung, für die Emissionsfaktoren zwischen 0,1 kg und 0,3 kg/Tierplatz und Jahr ermittelt wurden.

Tabelle 3: Ammoniak-Emissionsfaktoren

Haltungssystem	Emissionsfaktor kg NH ₃ /Tierplatz * a	Autor
ursprüngliche Käfighaltung - mit belüftetem Kotband	0,0389 0,031 0,031 0,034 – 0,083 0,030	TA-LUFT, 2002 MOTENY, 2001 KTBL EHRlich FLÜGGE, 1994
- ohne Kotbelüftung	0,09 0,083	FLÜGGE, 1994 KTBL
- ohne Kotbelüftung, aber täglicher Entmistung	0,035	KTBL
Volierenhaltung - mit belüftetem Kotband	0,0911 0,075	TA-LUFT, 2002 KTBL
- ohne Kottrocknung	0,109 - 0,130	GROOT KOERKAMP, 1996
- Wintermessung	0,173	NESSER, 2000
- Sommermessung	0,238 0,297	PHILLIPS, 1995 PHILLIPS, 1995
- ohne Angaben	0,027 – 0,141	BESSEI, 1998
Bodenhaltung - mit Auslauf und Entmistung 1 x je Durchgang	0,3157 0,25 0,165 – 0,186	TA-LUFT, 2002 KTBL, 1996 OLDENBURG, 1989
- mit Einstreu und Gitterboden	0,178 0,178	EHRlich KTBL

Allen Haltungssystemen ist gemeinsam, dass die Emissionen deutlich steigen, wenn der Kot ohne Trocknung im Stall verbleibt. Besonders deutlich wird dieses Phänomen in der Bodenhaltung. Hier sind in der Literatur Ammoniak-Emissionsfaktoren in Höhe von 0,17 kg bis 0,31 kg/Tierplatz und Jahr zu finden. Der TA-Luft-Wert überschreitet die vom KTBL und OLDENBURG (1989) angegebenen Daten.

2.2.2 Geruchsstoffemissionen

Für die gesamte Geflügelhaltung liegen nur wenige aussagefähige Angaben zu Geruchsstoff-Emissionsfaktoren aus dem Stall vor. Die Untersuchungen in der Legehennenhaltung wurden ausschließlich unter Frühjahrs- und Sommerbedingungen durchgeführt. Die in Tabelle 4 angegebenen Emissionsfaktoren überschätzen deshalb auf das Gesamtjahr gesehen die Emissionssituation.

Tabelle 4: Geruchsstoff-Emissionsfaktoren

Haltungssystem	Emissionsfaktor GE/(s * GV)	Autor
ursprüngliche Käfighaltung		
- mit belüftetem Kotband		
- Frühjahr	17	KTBL, 1991
- Sommer	23	
- angetrockneter Kot unter Sommerbedingungen	53	LFU, 1996
- mit Flüssigkot		
- Frühjahr	89	KTBL, 1991
- Sommer	153	
Volierenhaltung	?	
Bodenhaltung		
- unter Sommerbedingungen	46	LFU, 1996

Ein Vergleich der Haltungssysteme Käfighaltung und Bodenhaltung wurde vom LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (LFU, 1996) durchgeführt. Danach emittiert ein Stall mit Käfighaltung mit 53 GE/(s*GV) eine höhere Geruchsstofflast als die Bodenhaltung mit 46 GE/(s*GV). Zu beachten ist, dass die Ställe miteinander nicht vergleichbar waren (Lüftung, GV-Besatz) und in der Käfighaltung keine vollständige Kottrocknung vorgenommen wurde. Die für die Käfighaltung mit Kotbandbelüftung vom KTBL (1991) angegebenen 23 GE/(s*GV) sind daher realistischer.

2.2.3 Staubemissionen

Stäube in der Luft von Ställen bestehen u. a. aus pflanzlichen Bestandteilen (Futter, Einstreu), Hautabschilferungen und Federteilen der Tiere, Kotbestandteilen, abgestorbenen Mikroorganismen. Stäube in Geflügelställen und auf Geflügelschlachthöfen können beim Menschen die Ursache für Entzündungen der Nasenschleimhäute und der Bindehaut der Augen sein. Auch eine arbeitsplatzspezifische Form des Asthmas kann als Folge von hohen Staubkonzentrationen in der Arbeitsumwelt auftreten (KTBL, 2002). Aus Tierhaltungsanlagen sind Staubemissionen daher zu beschränken. In der TA-Luft sind ein Emissionsmassenstrom für Gesamtstaub von 0,2 kg/h oder eine Massenkonzentration von 20 mg/m³ Abluftvolumenstrom festgelegt. Die Bestimmung von Emissionskenngrößen kann nach TA-Luft unterbleiben, wenn der Bagatellmassenstrom von 0,1 kg/h bei diffusen Quellen unterschritten wird.

Einen großen Einfluss auf die Höhe der Staubemissionen hat das Haltungssystem. Die Bodenhaltung kann eine bis zu 5fach höhere Staubfracht aus dem Stall emittieren als Käfighaltungssysteme (Tabelle 5). Bedingt werden diese höheren Emissionen durch die Einstreu der Ställe und die höhere Bewegungsaktivität der Tiere. Umfangreiche Emissionsmessungen wurden von TAKAI (1998) vorgenommen. Er unterscheidet zwischen inhalierbarem (PM 10) und alveolengängigen (PM 2,5) Staub. Im Immissionsbereich ist der inhalierbare Feinstaub zu begrenzen. Angaben des Sächsi-

schen Landesamtes für Umwelt und Geologie zu Feinstaubemissionen (PM 6) aus der Bodenhaltung liegen geringfügig höher, als die Angaben von TAKAI (1998).

Tabelle 5: Staubemissionsfaktoren

Haltungssystem	Emissionsfaktor mg/(h*GV)	Autor
Ursprüngliche Käfighaltung - inhalierbarer Staub (PM 10) - Untersuchungen in England - Untersuchungen in Holland - Untersuchungen in Dänemark - Untersuchungen in Deutschland - alveolengängiger Staub (PM 2,5) - Untersuchungen in England - Untersuchungen in Holland - Untersuchungen in Dänemark - Untersuchungen in Deutschland	872 398 642 633 im Mittel: 636 161 46 82 24 im Mittel: 78	TAKAI, 1998
Volierenhaltung	?	
Bodenhaltung - inhalierbarer Staub (PM 10) - Untersuchungen in England - Untersuchungen in Holland - Untersuchungen in Dänemark - alveolengängiger Staub (PM 2,5) - Untersuchungen in England - Untersuchungen in Holland - Untersuchungen in Dänemark - Feinstaub (PM 6)	1771 4340 3131 im Mittel: 3080 467 682 637 im Mittel: 595 4300	TAKAI, 1998 LfUG (2002)

2.3 Emissionen aus dem Kaltscharraum und vom Auslauf

Die Höhe der Emissionen aus dem Kaltscharraum und Auslauf wird bestimmt durch den Anfall von Kot in diesen Bereichen.

Angaben zum Anteil der Hennen, die den Kaltscharraum nutzen, variieren zwischen 6,5 % und 32 % (BLOCKHUIS, 1992; NOORGARD-NIELSEN, 1993).

Höhere Werte liegen für die Frequenz der Auslaufnutzung bei kleineren Beständen vor. MEIERHANS (1995) beobachtete, dass etwa 20 % der Tiere einen überdachten Vorplatz und ca. 20 % bis 40 % den begrünten Auslauf aufsuchen. In großen Beständen ist der Anteil von Hennen im Auslauf deutlich geringer. Faktoren wie Wetter, Gewöhnungszeit der Tiere an den Stall, Gestaltung der Auslauffläche mit Bewuchs, Fütterung und Tränke der Tiere nur im Stall oder auch im Auslauf sowie die Herkunft der Tiere beeinflussen das Auslaufverhalten der Hennen.

Verhaltensuntersuchungen zeigen, dass Hennen den Kot über den Tag hinweg gleichmäßig absetzen. Jedoch wird auch nachts ein großer Teil im Stall abgesetzt. Die Auslaufnutzung und Kotmenge im Auslauf korrelieren. Im Mittel nutzen rund 30 % der Hennen den Auslauf am Tag. Die Höhe der Emissionen wird aber nur in zweiter Linie von der Kotmenge beeinflusst. Bei einem trockenem Auslauf bzw. Kaltscharraum sind die Emissionen drastisch niedriger als im Stall mit Einstreu bzw. ohne Kotbandbelüftung (REITER, 2002). Bei Berücksichtigung einer täglichen Auslaufnutzung von acht Stunden, der Eingewöhnungsphase der Tiere an den Stall von 2 bis 3 Wochen sowie Schlechtwetterperioden liegt der Anteil der Emissionen im Auslauf bei etwa 5 % bis 10 %.

Da keine detaillierten Aussagen zu den Emissionen eines Kaltscharraumes und eines Auslaufes in der Literatur vorliegen, werden in der Genehmigungspraxis Sachsens 10 % der Stallemissionen als zusätzliche Emissionen dem Auslauf angerechnet.

3 Berechnung der Mindestabstände bzw. des Emissionspotenzials bei verschiedenen Legehennenhaltungssysteme

Bei der Käfighaltung werden die Hennen in Gruppen in Käfigen gehalten. Die Größe der Käfige bzw. die Fläche je Tier wird durch die Legehennenhaltungsverordnung festgelegt (Tabelle 2). In der Regel sind die Käfige in drei bis sechs Etagen angeordnet.

Bei der Volieren- und Bodenhaltung werden die Hennen statt in Käfigen im gesamten Stall gehalten. Durch Anbringen von Sitzstangen, Futtertrögen und Tränken in mehreren Etagen, kann die Besatzdichte bei der Volierenhaltung auf 18 Tiere je m² Stallgrundfläche im Vergleich zur Bodenhaltung, bei der 9 Hennen je m² gehalten werden dürfen, ansteigen.

Bei der Verringerung der Besatzdichte in der Käfighaltung werden die Tierzahlen und damit der Frischkotanfall im Stall zwar reduziert, die Größe der emittierenden Fläche bleibt jedoch erhalten. Die Auswirkungen auf die Gesamtemissionen des Stalles wurden bisher nicht quantifiziert. In den Beispielsrechnungen werden daher die Emissionsfaktoren für Ammoniak, Geruchsstoffe und Gesamtstaub konstant gehalten.

Bei der Umstellung auf alternative Haltungsverfahren erhöhen sich die Emissionsfaktoren. Die sich daraus ergebenden neuen Mindestabstände zu N-sensiblen Ökosystemen lassen sich durch folgende Beispielsrechnung verdeutlichen.

Ein vormals genehmigungsbedürftiger Stall mit 20.000 Hennenplätzen in 3 Etagen (Variante A), der in etwa eine effektive Bodenflächen von 12 x 64 m hat, wird künftig genutzt für:

- B) Käfighaltung mit 550 cm² je Henne
- C) Käfighaltung mit 750 cm² je Henne
- D) Volierenhaltung
- E) Bodenhaltung

3.1 Abstände zu N-sensiblen Gebieten

Die Umstellung des oben beschriebenen Stalles auf Volierenhaltung verursacht eine Reduzierung des Tierbestandes um etwa 35 %. Gleichzeitig erhöht sich der NH₃-Emissionsfaktor um den Faktor 2,3 nach TA Luft (Variante D-1), so dass die Gesamtemissionen des Stalles ansteigen. Daraus resultiert eine Erhöhung des Mindestabstandes um ca. 42 m (Tabelle 6). Unterstellt man die vom KTBL angegebenen Werte (Variante D-2) verringert sich der Mindestabstand um etwa 3 m.

Trotz Verminderung des Tierbestandes um ca. 65 % bei Umstellung des Stalles auf Bodenhaltung, erhöht sich der Mindestabstand um rund 112 m.

Tabelle 6: Abstände zu N-sensiblen Ökosystemen bei verschiedenen Haltungssystemen

Variante	Anzahl Hennen	EF-NH ₃ kg / TP * a	Stallemissionen Mg / a	Abstand m
A	20.000	0,0389	0,778	180
B	16.000	0,0389	0,622	161
C	12.000	0,0389	0,467	139
D-1	12.960	0,0911	1,181	222
D-2	12.960	0,0750	0,756	177
E	6.480	0,3157	2,046	292

3.2 Emissionen an Geruchsstoffen und Mindestabstände zur Wohnbebauung

Für die Ermittlung des Abstandes zwischen dem oben skizzierten Stall in seinen Variationen und einer möglichen Wohnbebauung liegen in der TA-Luft keine spezifischen Mindestabstandskurven, die das unterschiedliche Geruchsemissionspotential der verschiedenen Haltungssystemen berücksichtigen, vor. Wird nur der GV-Besatz der Anlage berücksichtigt, ergeben sich nach TA-Luft bzw. VDI 3472 bei einer 100-Punktebewertung des Stalles die in Tabelle 7 genannten Mindestabstände.

Tabelle 7: Mindestabstände in Abhängigkeit vom GV-Bestand

Variante	Anzahl Hennen		Mindestabstand m
	Stück	GV	
A	20.000	68	ca. 240
B	16.000	54,4	ca. 220
C	12.000	40,8	ca. 200
D	12.960	44,1	ca. 205
E	6.480	22,0	< 200

In Tabelle 8 werden die Gesamtemissionen des Stalles ausgewiesen, wie sie beispielsweise für Ausbreitungsberechnungen Anwendung finden könnten. Die Geruchsemissionsfaktoren beziehen sich auf die in Tabelle 4 zusammengestellten Sommerwerte. Für die alternativen Verfahren mit

Auslaufhaltung werden auf die Stallemissionen 10 % für zusätzliche Emissionen vom Auslauf aufgeschlagen.

Tabelle 8: Geruchsemissionen bei Ausstattung eines Stalles mit verschiedenen Haltungssystemen

Variante	Anzahl Hennen	GV	EF-Geruch GE / (s*GV)	Stallemissionen (GE / s)	Emissionen Stall + Auslauf (GE/s)
A	20.000	68	23	1.564	
B	16.000	54,4	23	1.251	
C	12.000	40,8	23	938	
D	12.960	44,1	30 *	1.322	1.454
E	6.480	22,0	40	881	969

* geschätzter Wert

Da für die Volierenhaltung kein Geruchs-Emissionsfaktor in der Literatur vorliegt, wurde in die Beispielsrechnung ein Wert von 30 GE/(s*GV) eingesetzt. Es handelt sich um einen Schätzwert. Analog zu den Ammoniak-Emissionsfaktoren wurde angenommen, dass der Emissionsfaktor für die Volierenhaltung zwischen denen für Käfig- und Bodenhaltung liegt.

Im Unterschied zu den Ammoniakemissionen gleicht die Reduzierung des Tierbestandes die Erhöhung des Emissionsfaktors aus. Nach Berücksichtigung der Auslaufemissionen entsprechen die Emissionen aus der Volierenhaltung denen der Käfighaltung. Die Bodenhaltung setzt deutlich weniger Emissionen frei. Trotzdem können unmittelbar um die Anlage höhere Geruchsimmissionen auftreten. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Anteil der geruchsbelasteten Jahresstunden (z. B. Abbildung 2: die Fläche im linken unteren Kästchen 0/0 ist in 0,1 % der Jahresstunden einer Geruchsbelastung ausgesetzt). In der Berechnung wurden die Daten aus Tabelle 7 in den Varianten A und E verwendet. Die geringe Emissionshöhe des Auslaufes, es wurden 0,2 m für den Auslauf und 10 m effektive Quellhöhe für den Stall angenommen, bedingt die Erhöhung der Immissionen im Nahbereich (Sektoren 4/3, 4/4, 5/3, 5/4). Die Berechnungen wurden mit dem Programm TALAR (Faktor 10) durchgeführt.

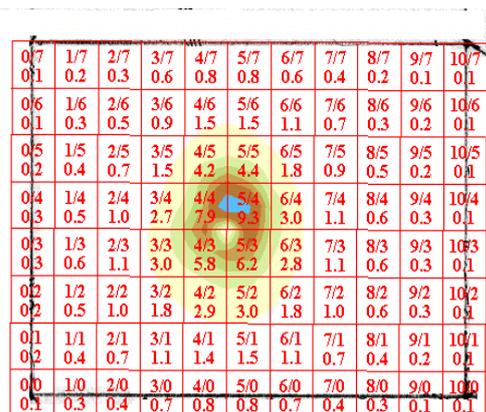


Abbildung 2: Geruchsbelastungen bei Käfighaltung

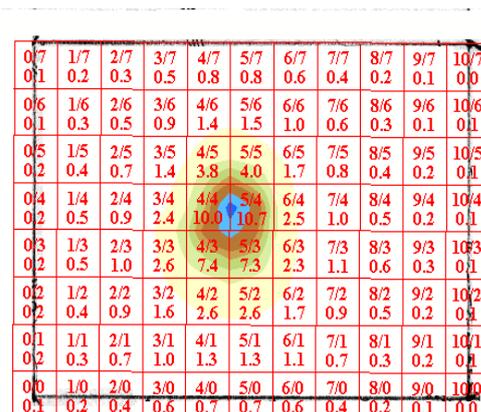


Abbildung 3: Geruchsbelastungen bei Bodenhaltung

Neben den Emissionen fließen in Ausbreitungsberechnungen Lüftungsparameter zur Berechnung der effektiven Quellhöhe ein. Bei Reduzierung der Tierbestände durch Umstellung des Haltungssystems vermindern sich die erforderlichen Lüftungsraten. Wird das vorhandene Lüftungssystem beibehalten, vermindern sich die effektiven Quellhöhen, die Immissionen können unter Umständen ansteigen. Das vorhandene Lüftungssystem ist daher zu modifizieren.

3.3 Emissionen an Gesamtstaub und Mindestabstände zur Wohnbebauung

In einem Erlass des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft vom 30.07.02 werden Mindestabstände zwischen einer Feinstaub emittierenden Anlage und der Wohnbebauung festgelegt. Durch Umstellung des Haltungssystems werden höhere Mengen an Feinstaub emittiert. Als Berechnungsgrundlage wurden die mittleren Emissionsfaktoren von TAKAI (1998) genutzt. Der erforderliche Abstand erhöht sich um 44 m bei Volierenhaltung bzw. 31 m bei Bodenhaltung. Für die Abstandsberechnung wurde eine mögliche Zusatzkonzentration von 12 µg/m³, bzw. 30 % angenommen. Liegen niedrigere Grundbelastungen als 28 µg/m³ Luft im Jahresmittel vor und sind damit höhere Zusatzbelastungen möglich, sind die Unterschiede zwischen den Haltungsvarianten weniger groß (Tabelle 9).

Tabelle 9: Abstände zwischen Wohnbebauung und Feinstaub (PM 10) emittierender Legehennenhaltung bei Variation des Haltungssystems

Variante	Anzahl Hennen Stück	GV	EF-Feinstaub mg/(h*GV)	Stallemissionen Mg/a	Abstand (m) bei Zusatzkonzentration (µg/m ³)		
					12	20	28
A	20.000	68,0	636	0,379	126	97	82
B	16.000	54,4	636	0,303	112	87	74
C	12.000	40,8	636	0,227	97	75	63
D	12.960	44,1	1.800 *	0,695	170	132	112
E	6.480	22,0	3.080	0,594	157	122	103

* Schätzwert

Wird der Emissionsfaktor des LfUG für Bodenhaltung von Legehennen von 4300 mg/(h*GV) zu Grunde gelegt, emittiert der Stall in der Variante E) 0,83 Mg Staub je Jahr. Daraus resultiert ein Mindestabstand von 186 m bei einer möglichen Zusatzkonzentration von 12 µg/m³. Damit wären nach wie vor die Geruchsemissionen der den Mindestabstand zur Wohnbebauung bestimmende Faktor.

Ist ein Kaltscharraum oder der Auslauf zugänglich, reduzieren sich die gerichteten Staubemissionen über die Lüftung aus dem Stall, da Sand- oder Staubbaden im Kaltscharraum oder im Freien vorgenommen werden kann. Der Effekt kann aber bisher nicht quantifiziert werden.

4 Verfahrenstechnische Beurteilung hinsichtlich Lüftungs- und Entmistungssystemen bei Umstellung des Haltungssystems

4.1 Allgemeine Aspekte zu Lüftung und Entmistung

Eine tiergerechte und leistungsorientierte Haltung von Legehennen ist ohne gesteuerte Ventilation des Stalles nicht möglich. Das Lüftungssystem ist dabei die wesentliche Schnittstelle zur Umwelt und hat neben der Frischluftzufuhr die Aufgaben, den Luftwechsel sicherzustellen, die Staubgehalte niedrig zu halten, die Stallfeuchtigkeit zu regulieren und schließlich optimale Temperaturen für die Tiere im Stallinnenraum zu erzielen.

Da in der Legehennenhaltung nahezu ausschließlich (verfahrenstechnisch gewollt) Trockenkot anfällt, gibt es eine enge Kopplung des Lüftungs- und Entmistungssystems, da mittels Kotbelüftung angestrebt wird, den Kot schnell abzutrocknen, um die Emissionen zu minimieren (vgl. Punkt 2.2.1).

Bei Lüftungssystemen unterscheidet man generell zwischen sog. Freier Lüftung und Zwangslüftung. Für größere Geflügelställe kommen letztere in Betracht. Dabei gibt es mit Unterdruck-, Überdruck- und Gleichdrucklüftung drei verschiedene Lüftungsarten, wobei für die Legehennenhaltung in erster Linie die Unterdrucklüftung und in alternativen Systemen vermehrt auch Gleichdrucksysteme eingebaut werden (HEIER, 2000).

Für geschlossene Ställe mit Zwangsbelüftung gibt die DIN 18910 Richtwerte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit an und dient als Berechnungsgrundlage für eine Lüftungsanlage.

Unterdrucklüftung

Durch Abluftventilatoren wird die verbrauchte Luft aus dem Stallraum herausgesogen. Durch die Wirkung der Ventilatoren entsteht im Stallinnenraum ein Unterdruck, der ermöglicht, dass durch spezielle Zuluftöffnungen unverbrauchte Außenluft zuströmt. Das wichtigste Element der Lüftungsanlage ist dabei die Zuluftführung. Um eine optimale Luftverteilung und Durchlüftung des Stalles zu erzielen, sollten die Öffnungsventile auf der gesamten Stalllänge des Stalles gleichmäßig verteilt angeordnet werden. In der Regel werden die Öffnungsklappen per Elektronik mit Seilzügen und Stellmotoren gesteuert.

Gleichdrucklüftung

Die Gleichdrucklüftung vereint weitestgehend die Vorteile der Über- und Unterdrucklüftung. Sowohl die Zuluft als auch die Abluft werden durch Ventilatoren mit gleichen Fördermengen gesteuert und erzeugen somit einen ausgeglichenen Druck im Gebäude. Aufgrund des geregelten Druckausgleiches sind undichte Stellen im Gebäude weniger schädlich für die Funktionalität der Lüftungsanlage. Da dieses System jedoch eine sehr hohe technische Ausstattung erfordert, ergeben sich wesentlich höhere Investitionen und doppelte Energiekosten/Jahr im Vergleich mit der Unterdrucklüftung.

4.2 Lüftung und Entmistung in verschiedenen Haltungssystemen

Käfiganlagen

In der Regel erfolgt die Ventilation über eine Unterdrucklüftung, die Entmistung über Kotbänder unter den jeweiligen Etagen. Moderne Anlagen sind überwiegend mit gezielter Kotbandbelüftung ausgestattet. Durch Einsatz von Luftkanälen und Luftmischer (Abbildung 4) können die Luftraten optimiert, Ammoniak- und Geruchsstoffemissionen sowie Energiekosten minimiert werden. Kotbandbelüftung und Luftmischersysteme sind für moderne Batterieanlagen als Stand der Technik anzusehen (siehe dazu auch MENNICKEN, 1998).

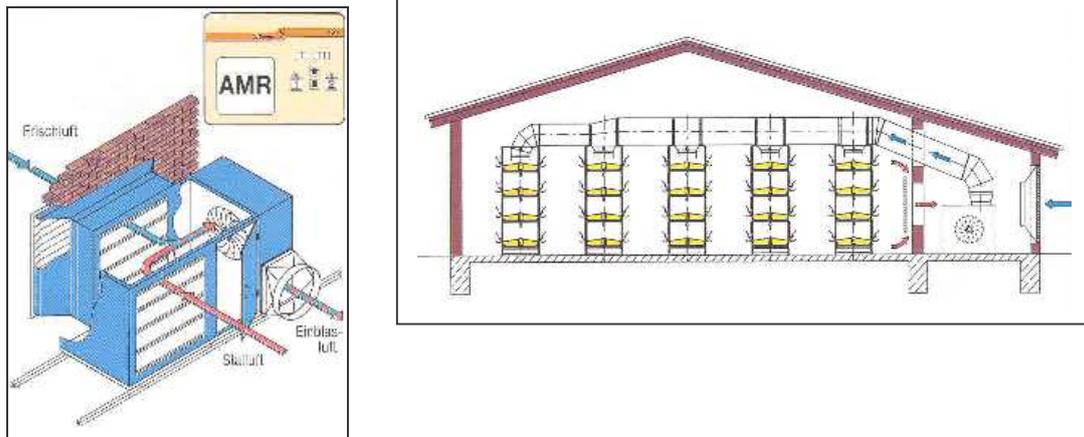


Abbildung 4: Arbeitsweise des Luftmischers (links) sowie Einsatz in der Käfighaltung (rechts)
Quelle: Firmenprospekt Big Dutchmann

Lüftungsverfahren der klassischen und strukturierten Bodenhaltung

Bei diesem Haltungssystem werden die Tiere zu etwa 2/3 auf einer angehobenen Kotgrube mit Rosten gehalten. Die übrige Stallgrundfläche ist mit Einstreu versehen.

Oberhalb der Kotgrube sind Sitzstangen oder A-Reuter, Futterketten, Tränken und Nester angeordnet. In diesem Bereich wird der größte Anteil am Kot abgesetzt.

Es wird zwischen zwei Verfahren unterschieden:

- flache Kotgruben (ca. 0,50 m) mit mehrmals wöchentlicher Entmistung per Kotschieber oder Entmistungsbänder
- 0,80 m – 1,20 m erhöhte Kotgruben für die dauerhafte Lagerung über eine Legeperiode hinweg (12 – 14 Monate).

In der Bodenhaltung wird überwiegend das Unterdrucklüftungssystem eingebaut und genutzt. Über Luftventile an den Längsseiten des Stalles gelangt die Frischluft in den Stall hinein. Die Zuluftventile müssen gleichmäßig über die gesamte Länge verteilt angebracht werden. Anzahl und Größe der Ventile ist hierbei abhängig von der Tieranzahl und dem notwendigen Luftvolumen je Tier.

Lüftungsverfahren in der Volierenhaltung

Volierenställe werden z. Z. überwiegend durch das System der Unterdrucklüftung be- und entlüftet. Die an den Längsseiten angeordneten Wandventile werden aufgrund der Einrichtungen höher als bei der Bodenhaltung angeordnet. Die Anzahl der Ventile wird errechnet nach der Tierzahl und den notwendigen Luftwechselraten nach DIN 18910.

Um den Trockensubstanzgehalt des Kotes möglichst stark zu erhöhen, wird ein separates Lüftungssystem installiert. Entlang der Kotbänder verlaufen Luftkanäle, die in Richtung des Kotbandes gelocht sind. Mit Hilfe der Kanäle wird Luft direkt am Kot vorbei geführt. Durch die entstehende Luftbewegung wird dem Kot Feuchtigkeit entzogen, sein Trockensubstanzgehalt steigt. Ziel ist es, mit möglichst hohem Außenluftvolumen die Trocknung des Kotes durchzuführen. Aufgrund der Temperaturschwankungen ist es jedoch nicht möglich, das System ausschließlich mit Außenluft zu fahren. Denn bei kalten Außentemperaturen würde es zu einem zu starken Temperaturgefälle im Stall kommen. Kondensatbildung an den Kanälen und eine damit verbundene Verschmutzung der technischen Ausstattung wären die Folge. Um eine konstante Lufttemperatur für die Kotbandbelüftung zu erzielen, wird daher die Frischluft über einen Luftmischer (Abbildung 4) in die Kanäle gedrückt. Mittels Temperaturmessungen wird je nach Witterung ausschließlich Außenluft angesogen oder bei kühler Frischluft diese mit warmer Stallluft vermengt. Die Steuerung erfolgt über Klappen und Thermostate. Je nach Stalllänge ist zwischen dem Luftmischer und dem Kanal- bzw. Rohrsystem ein Verteiler am Giebel oder mittig im Stall angeordnet.

4.3 Einschätzung hinsichtlich Umrüstung

Entsprechend den Fallbeispielen zu den Emissionen ergeben sich auch für die notwendigen Luftströme, die Wärmebilanz und damit die Auslegung der Lüftungs- und Heizungsanlagen entsprechende Konsequenzen.

Während bei der Käfighaltung und einer Stalltemperatur von 18 °C noch eine positive Wärmebilanz erreicht wird, wäre bei den alternativen Verfahren eine permanente Zusatzheizung notwendig. Dies kann umgangen werden, indem die Sollstalltemperatur bei den alternativen Verfahren im Winter bis auf 15 °C, im Extremfall sogar bis 10 °C abgesenkt wird. Dann kann auch dort ohne Zusatzheizung ausgekommen werden (mit Ausnahme der Vorheizung der Ställe bei Einstallung). Aussagen zum Einfluss der Temperatur auf die Legeleistung können derzeit nicht getroffen werden.

Tabelle 10: Notwendige Luftraten und Wärmebilanz der Legehennenhaltung bei Variation des Haltungssystems

Variante	Anzahl Hennen	Mindestluftrate in m ³ /Stall	Maximale Luftrate in m ³ /Stall	Wärmebilanz in kW bei 18°C
a	20.000	10.806	107.730	6,73
b	16.000	8.644	86.184	2,28
c	12.000	6.483	64.638	-2,17
d	12.960	7.002	69.809	-1,10
e	6.480	3.501	34.905	-8,31

Für die Lüftung bedeutet die Reduzierung des Tierbestandes in den meisten Fällen auch ein Umbau der Lüftungsanlagen. Im Minimum muss bereits bei der Herausnahme von einer Henne aus den vorhandenen Käfigen eine Änderung der Steuerungssysteme der Lüftungsanlagen vorgenommen werden, um die abgesenkten erforderlichen Mindestluftraten sicher zu gewährleisten. Da die Mindestluftrate häufig durch die Kotbandbelüftung realisiert wird, kann sich auch das Trocknungsverhalten des Kotes entsprechend ändern. An kritischen Standorten müssen die Lüftungsanlagen gegebenenfalls auch hinsichtlich der notwendigen Sommerluftrate verändert werden, um das Emissionsverhalten der Gesamtanlage nicht zu beeinträchtigen.

Da sich bereits durch die Reduzierung des Tierbestandes von 5 auf 4 Legehennen je Käfig Veränderungen an der Lüftungsanlage als notwendig erweisen, sind bei einer weiteren Bestandsreduzierung infolge alternativer Verfahren auch umfangreichere Änderungen notwendig.

Zukünftig ist davon auszugehen, dass bei einer Umrüstung von Käfiganlagen aus ökonomischen Gründen in der Regel auf Volierensysteme umgestellt wird. Den bisherigen Darlegungen zufolge wird klar, dass auch für alternative Systeme (v. a. Volierensysteme) verfahrenstechnische Lösungen für eine Kottrocknung im Zusammenhang mit der Lüftung bestehen und größtenteils bei Neuanlagen schon vorhanden sind.

Stallanlagen für Bodenhaltung und Volierensysteme werden zunehmend in Verbindung mit Kaltscharräumen und Freiflächen gebaut. Durch Öffnen der Auslaufklappen sinkt der Unterdruck im Stallgebäude und es ergeben sich veränderte Luftströmungen. In einigen Situationen kann Zugluft in den Auslauföffnungen entstehen und dazu führen, dass die Tiere aufgrund dieser Luftbewegung nicht aus dem Stall gehen oder in den Öffnungen verbleiben. Es werden dadurch erhöhte Anforderungen an das Stall- bzw. Stallklimamanagement gestellt. Eine Möglichkeit die negativen Einflüsse zu neutralisieren, besteht durch den Einbau von Gleichdrucklüftungsanlagen. Geöffnete Auslaufklappen haben bei diesem Lüftungssystem keinen negativen Einfluss auf die stallinterne Luftführung. Durch die mechanische Regelung von Zu- und Abluft ergeben sich keine Leistungsveränderungen der Lüftungsanlage. Nachteil der Gleichdrucklüftung ist jedoch ein wesentlich höherer Energieaufwand durch zusätzliche Ventilatoren im Zuluftbereich. Die laufenden Betriebskosten steigen im Gegensatz zur Unterdrucklüftung an, ebenso sind zusätzliche Investitionen notwendig (HEIER, 2000).

5 Literatur

- BESSEL, W.; DAMME, K. (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. KTBL-Schrift 378
- BLOCKHUIS, H.J.; METZ, J.H.M. (1992): Integration of animal welfare into housing systems for laying hens. Netherlands J. of Agr. Sci 40, p. 327-337
- FLÜGGE, C. (1994): Anteil von emittiertem Ammoniakgas an den Gesamtstickstoffverlusten bei der Lagerung von Hennenkot. Dissertation Universität Bonn
- FLÜGGE, C. (1996): Anteil von emittiertem Ammoniakgas an den Gesamtstickstoffverlusten bei der Lagerung von Hennenkot. Archiv f. Geflügelkunde 6: S. 190-191
- GROOT KOERKAMP, P.W.G.; REITSMA, (1992): Development of an Aviary System for Laying Hens with low Ammonia Emission, Proc. Intern. Conf. on Agricultur Engineering, Uppsala Transactions of the ASAE 39, S. 211-218
- GROOT KOERKAMP, P.W.G. (1994): Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in relation to sources, processes, building design and manure handling, J. agric. Engng. Res. 59: S. 73-87
- GROOT KOERKAMP, P.W.G. (1996): Degradation of Nitrogenous Components in and Volatilisation of Ammonia from Litter in Aviary Housing Systems for Laying Hens. Transactions of the ASAE 39, S. 211-218
- HEIER, J (2000): Konzepte der Stallklimaführung und technische Ausstattung, Baubriefe der Landwirtschaft Nr. 41, Münster-Hiltrup
- JANZEN, A. (2000): Untersuchungen zum stallklimatischen Verhalten eines Volierenstalles mit vorgeschaltetem Kaltscharrraum und Unterflurabsaugung für Legehennen. Diplomarbeit, Universität Göttingen
- KTBL (1991): Gutachten zur Immissionssituation. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
- KTBL (1996): Bericht „Abstandsregel für Geflügelhaltungsanlagen zu benachbarten Waldökosystemen“. (unveröffentlicht)
- KTBL (2002): KTBL-Schrift 399, Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung
- LFU (1996): Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Messbericht MB 03-96 und MB 04-96
- LfUG (2002): Anlage zum Erlass vom 30.7.2002, Az 53-8823.07
- MARTENS, H. (2000): Haltungsformen der Legehennenhaltung, Baubriefe der Landwirtschaft Nr. 41, Münster-Hiltrup
- MEIERHANS, D.; MENZI, H. (1995): Freilandhaltung von Legehennen. Bedenklich aus ökologischer Sicht? DGS 9, S. 12-17
- MENNICKEN, L. (1998): Kotbandbelüftung und Wärmerückgewinnung, DGS spezial 8/1998
- MÜLLER, J.; HILLIG, J.; VON BORELL, E.; THIES, N. (2001): Untersuchungen zur Akzeptanz des Auslaufs durch Legehennen in einem Haltungssystem mit Wintergarten und Grünauslauf. Lohmann Information 4, S. 3-7

- NOORGARD-NIELSEN, G.; KJAER J.; SIMONSEN, H.B. (1993): Field test of two alternative egg production systems the Hans-Kier-System and the BOLEG II aviary. National Institut of Animal Sci , Res. Centre Foulum, Tjele, Denmark, Report No. 9
- OLDENBURG, J. (1989): Geruchs- und Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung, Landtechnik 44 (9), S. 324-327
- PHILLIPS, V.R.; HOLDEN, M.R.; WHITE, R.P. DEMMERS, T.G.M., WATHES, C.M. (1995): Measuring and reducing gaseous and particulate air pollution from UK Livestock buildings. In: 7th International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes. Chicago.
- PRIESMANN, T. (1991): Untersuchungen zu Stickstoffumwandlungen und –verlusten im Legehenkot, Dissertation Univ. Bonn
- REITER, K. (2002): persönliche Mitteilung, Dr. Reiter ist Dozent d. Fachgebietes Nutztierethologie und Kleintierzucht der Universität Hohenheim, Leiter Prof. W. Bessei
- SCHNEEBERGER, W.; EDER, M.; ZOLLITSCH, W. et. al. (2002): Eier aus biologischer Landwirtschaft. Bericht der Universität für Bodenkultur Wien
- TAKAI, H.; PEDERSEN, S.; JOHNSEN, J.O. ET. AL.(1998): Concentrations and Emissions of Airborn Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. Journal of Agric. Engineering Research, Vol. 70, S. 59-77
- TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG (2002): Erste Verordnung zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung. Bundesgesetzblatt Teil I Nr.16, S. 1026-1030

Erprobung einer Ozon-UV-Behandlungsanlage zur Minderung von Gerüchen und Ammoniak in der Abluft von Tierhaltungsanlagen

Dr. G. Schmidt, K. Reichelt, IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen Lichtenau

Die Untersuchungen wurden durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft gefördert.

1 Aufgabenstellung

Aus der Sicht des Umweltschutzes entsteht die zunehmende Notwendigkeit, Emissionen von Gerüchen und Schadgasen aus Tierställen zu reduzieren. Im Allgemeinen erfolgt eine Verbesserung der Immissionssituation in der Umgebung der Anlage durch aufwendigere Lüftungssysteme und damit durch bessere Verdünnung der emittierten Stoffe. An kritischen Standorten müssen jedoch Maßnahmen der Emissionsminderung erwogen werden. Bereits umfangreich erprobt wurden Systeme mit Biowäschern und Biofiltern. Bisherige Untersuchungen und erste Praxiserfahrungen zeigen, dass es jedoch notwendig ist, nach kostengünstiger Abluftbehandlung von Tierställen zur Reduzierung von Gerüchen, Schadgasen und Keimen zu suchen.

Mit der Behandlung von Abluft durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV-Strahlung) wurde ein alternatives Verfahren zu Wäschern und Biofiltern untersucht. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, welches bereits bei der Behandlung von Abluft aus Abfallbehandlungsanlagen zunehmend zum Einsatz kommt.

2 Material und Methoden

Wirkungsmechanismus von UV- Strahlen

Es gibt zwei verschiedene Mechanismen, die bei den angestrebten Reaktionen in der Stallabluf von Bedeutung sind. Zum einen werden bei Bestrahlung mit UV-Licht Molekülbindungen unmittelbar durch Absorption von Lichtquanten aufgebrochen. Dabei entstehen Radikale, die wiederum zu neuen Verbindungen reagieren können. Zum anderen können durch UV-Strahlen auch chemische Reaktionen mit Sauerstoff angeregt werden, man spricht hierbei von photoinduzierter Oxidation. Der molekulare Luftsauerstoff wird unter Wirkung der UV-Strahlung zu Ozon umgewandelt. Mit dem Ozon erfolgt die Oxidation der Geruchs- und Schadstoffe.

Damit UV-Strahlen chemisch wirksam werden können, müssen sie von Molekülen absorbiert werden. Dabei wächst die innere Energie des Moleküls um die Photonenenergie. Es kommt zur Anregung höherenergetischer Schwingungs- und Rotationszustände. Normalerweise wird diese zusätzliche Energie bei Stößen an das umgebende Medium wieder abgegeben. Wenn die aufgenommene Photonenenergie die Bindungsenergie des Moleküls jedoch überschreitet, kommt es zur Photodissoziation, das Molekül zerfällt dabei in Radikale. Der Überschuss zur Bindungsenergie wird dann in Form von Schwingungs-, Rotations- oder kinetischer Energie der Molekülbruchstücke abgeführt.

Welche Reaktionen eintreten, hängt damit wesentlich von der Wellenlänge (Energie) der UV-Strahlung ab. Schwach gebundene Moleküle, wozu auch einige Geruchsstoffe zu zählen sind, werden bereits ab Wellenlängen unterhalb 300 nm aufgebrochen. Für die Reaktion von Luftsauerstoff zu Ozon sind Wellenlängen unter 200 nm notwendig. Mit der Auswahl der eingesetzten UV-Lampen, speziell mit der spektralen Zusammensetzung des UV-Lichtes, kann beeinflusst werden, ob die Abluftbehandlung mit oder ohne Unterstützung einer Oxidation durch Ozon ablaufen soll.

Die charakteristische Eigenschaft von Ozon ist dessen starkes Oxidationsvermögen. Nach VDI 2443 ist Ozon sehr gut zur Oxidation von Ammoniak geeignet. Es bietet sich damit an, bei den Versuchen zur Behandlung von Abluft aus Tierställen mit UV-Bestrahlung neben der Geruchsmin- derung auch die Reduzierung des Ammoniakgehaltes zu untersuchen.

Ausgehend von den Untersuchungen von KALICH, J. UND BLENDL, H.M erschien es zweckmäßig, die Keimzahl in der Stallluft und in der behandelten Abluft zu bestimmen. In dieser Arbeit wurde unter- sucht, inwieweit es möglich ist, durch kontinuierliche künstliche UV-Bestrahlung verschiedener Stärke und einer Wellenlänge von 253,7 nm das Stallklima bezüglich des Keimgehaltes der Luft sowie der Leistung der Mastschweine zu verbessern.

Beschreibung der Versuchsanlage

Nach umfangreichen Voruntersuchungen im Labor (DR. G. SCHMIDT, A. SCHUMANN) wurden Versu- che in einem Schweinestall durchgeführt. Dabei wurde der im Abluftkamin mit UV-Bestrahlung zu erreichende Abbaugrad an Geruchsstoffen und Schadgasen untersucht. Hierzu genügte es, einen Abluftkamin eines Schweinestalles mit UV-Lampen auszurüsten und die Abluft vor und hinter der UV-Bestrahlung zu beproben.

Bei der für die Versuche ausgewählten Anlage handelt es sich um eine Schweinemastanlage mit 12 Ställe, die durch einen Mittelgang miteinander verbunden sind. Es wurde ein Stall ausgewählt, der für 600 Mastschweineplätze ausgelegt ist. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Parameter des Stalls angegeben.

Tabelle 1: Technische Parameter

Haltungssystem	Gülle, Vollspaltenböden
Zuluftelement	Stellmotorisch gesteuerte Wandklappen
Abluftsystem	Unterdrucklüftung
Lüfter	4 Rohrlüfter, 20.000 m ³ /h, Ø 0,8 m
Steuerung	5-stufige Regelung
Entmistungssystem	4 Buchtenreihen und analog 4 Staukanäle
Fütterung	Flüssigfütterung
Tieraufstallung	Je Bucht 8 bis 10 Schweine

Für die Untersuchungen wurde ein Abluftkamin ausgewählt und mit UV-Lampen bestückt. Abbildung 1 zeigt die Anordnung der Lampeneinheit im Abluftkamin.

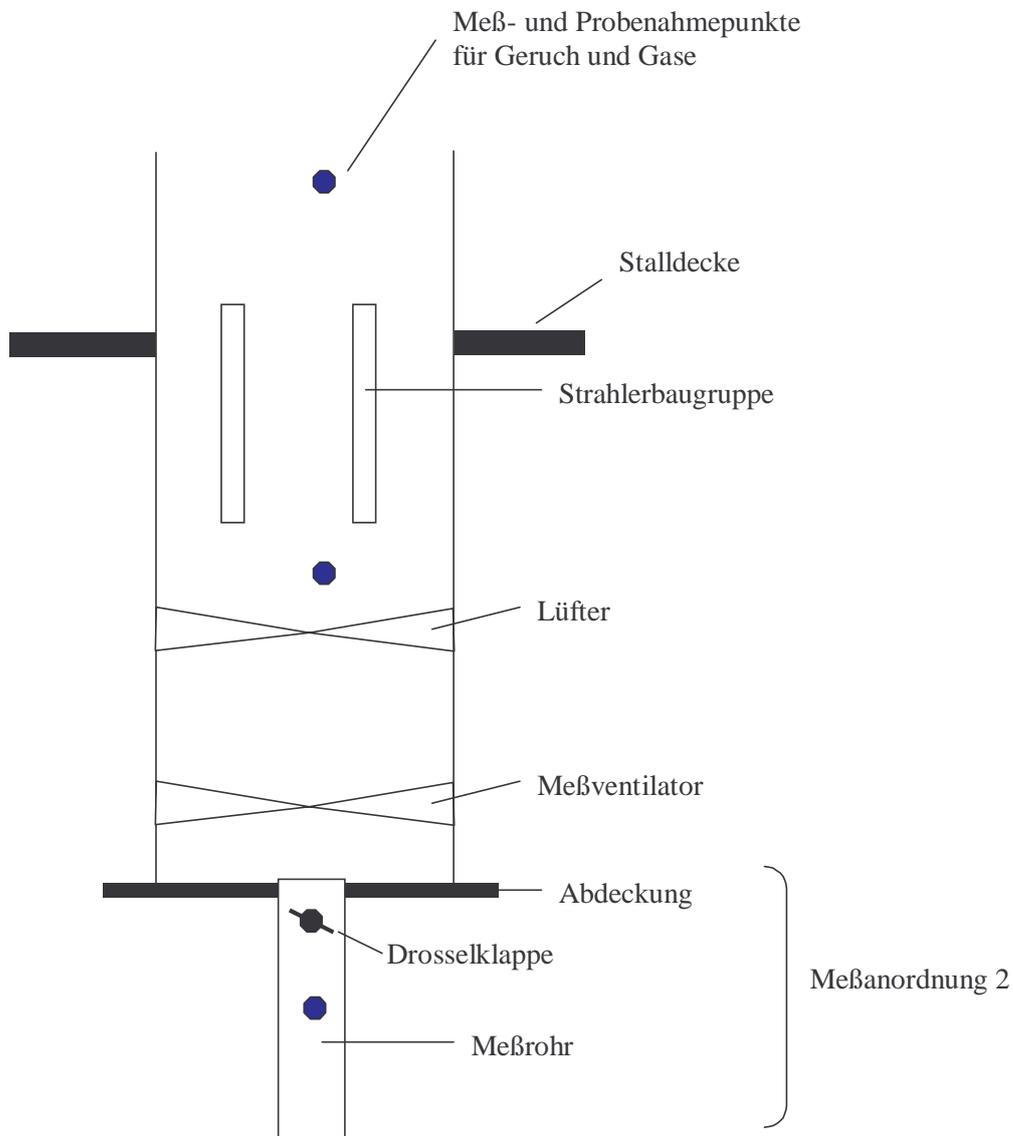


Abbildung 1: Übersichtsskizze Versuchsanordnung

Die Lampeneinheit besteht aus einer Strahlergruppe, in welcher 12 UV-Lampen eingebaut werden können. Diese Strahlergruppe wurde senkrecht im Rohrlüfter oberhalb des Ventilators eingebaut. Die stabförmigen Strahler verlaufen parallel zur Achse des Lüftungsrohres. Die Strahler sind symmetrisch auf zwei konzentrischen Ringen mit 8 Lampen (äußerer Ring) und 4 Lampen (innerer Ring) angeordnet. Die Länge eines Strahlers beträgt ca. 0,9 m.

Für die Volumenstrombestimmung wurde der Abluftkamin nach unten verlängert und mit einem Messventilator versehen (Messanordnung 1). Um auch zusätzliche Untersuchungen bei sehr geringen Abluftvolumenströmen unterhalb der Winterluft durchzuführen zu können, konnte der Abluftkamin unten mit einer Abdeckung versehen werden. In der Abdeckung befand sich eine kleine Zufußöffnung mit einer einstellbaren Drosselklappe. Die Strömungsmessung erfolgte in einem angesetzten Messrohr mit einem Hitzekugelanemometer (Messanordnung 2).

Die Minderungsgrade wurden bestimmt, indem an den in Abbildung 1 eingezeichneten Punkten vor und hinter der UV-Behandlung die Probenahme erfolgte und aus der Änderung der Geruchs- bzw. Schadstoffkonzentration der Minderungsgrad berechnet wurde.

Um die UV-Lichtintensität zu variieren, wurden unterschiedliche Anzahlen von Lampen zugeschaltet (entweder 12, 4 oder 1 UV-Lampe).

Die Experimente wurden mit kommerziell verfügbaren Quecksilberdampf-Entladungslampen durchgeführt. Diese wurden vom Hersteller bereits so optimiert, dass es Typen gibt, mit denen eine Ozonerzeugung stattfindet und Typen, bei denen kein Ozon gebildet wird. Für die Ozonbildung aus Luftsauerstoff sind Wellenlängen kleiner als 200 nm notwendig. Chemische Reaktionen mit organischen Verbindungen treten bereits im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 300 nm auf. Abbildung 2 zeigt das Spektrum der verwendeten Lampen im UV-Bereich.

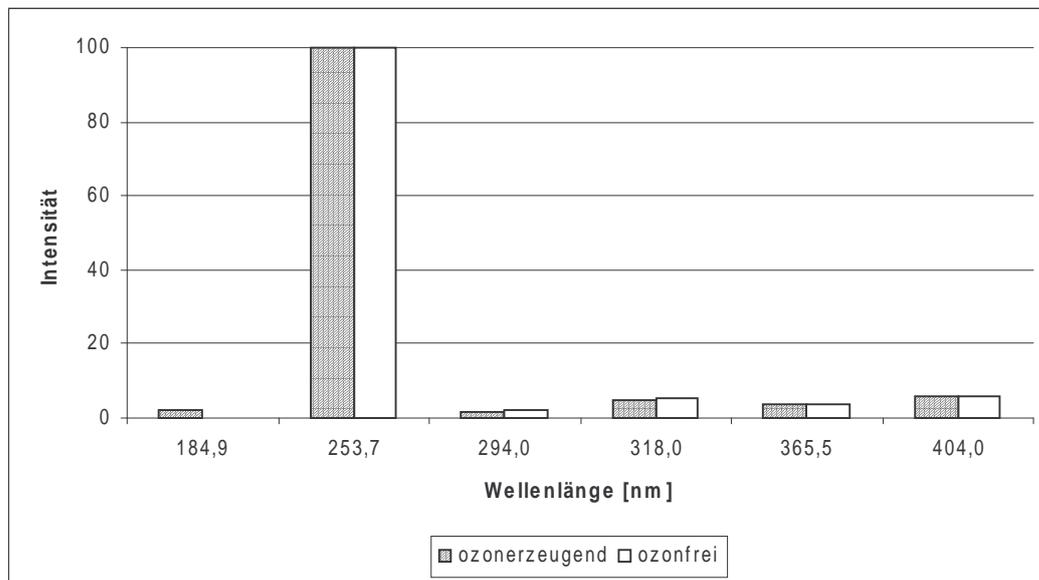


Abbildung 2: UV- Spektrum der Niederdruck- Quecksilberdampf lampen

Die Olfaktometrie zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentrationen erfolgte mit einem Olfaktometer vom Typ TO7 (FA. ECOMA) nach DIN EN 13725 mit jeweils vier Probanden und drei Messreihen je Probe.

Die Spurengaskonzentrationen wurden mit einem Multigas-Monitor Typ 1302 der Firma BRÜEL & KJÆR gemessen. Das Gerät war für die Messung der Gase Ammoniak, Methan, Lachgas und Kohlendioxid ausgerüstet.

Die Messung der Ozonkonzentration erfolgte mit Prüfröhrchen (FA. DRÄGER).

Außerdem wurde eine orientierende Messung zur Bestimmung der Keimzahlminderung mit ozonerzeugenden UV-Lampen durchgeführt. Zum Auffangen der Keime wurde die Probeluft 50 min durch eine Gaswaschflasche mit 200 ml physiologischer Kochsalzlösung (0,9 % Natriumchloridlösung) gesaugt (6 l/min). Aus den Probelösungen wurden jeweils 3 Verdünnungsstufen mit destilliertem Wasser hergestellt: 1:10, 1:100 und 1:1000. Von den einzelnen Verdünnungsstufen wurden wiederum jeweils 1 ml auf zwei Nährböden ausplattiert, so entstanden insgesamt 12 Nährbodenkulturen. Es wurde ein M1-Agar (pH-Wert 7,0) Standardnährboden verwendet. Die Platten wurden bei 30 °C 72 Stunden bebrütet und anschließend die kolo niebildenden Einheiten (KBE) ausgezählt. Untersucht wurde die Keimzahl der Abluft vor und nach der UV-Behandlung.

3 Ergebnisse

Ozonproduktion

Vorversuche im Labor (DR. G. SCHMIDT, A. SCHUMANN) zeigten, dass mit den eingesetzten ozonerzeugenden UV-Lampen Ozonkonzentrationen bis zu 400 ppm erreicht werden können. Die ersten Versuche unter praxis-realen Abluftbedingungen ergaben, dass die Ozonkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze (0,05 ppm) lagen. Deshalb kam Messanordnung 2 in Abbildung 1 mit niedrigeren Abluftraten zum Einsatz.

In der Abbildung 3 ist die Abhängigkeit der Ozonkonzentration vom Volumenstrom der Abluft und der Lampenzahl dargestellt.

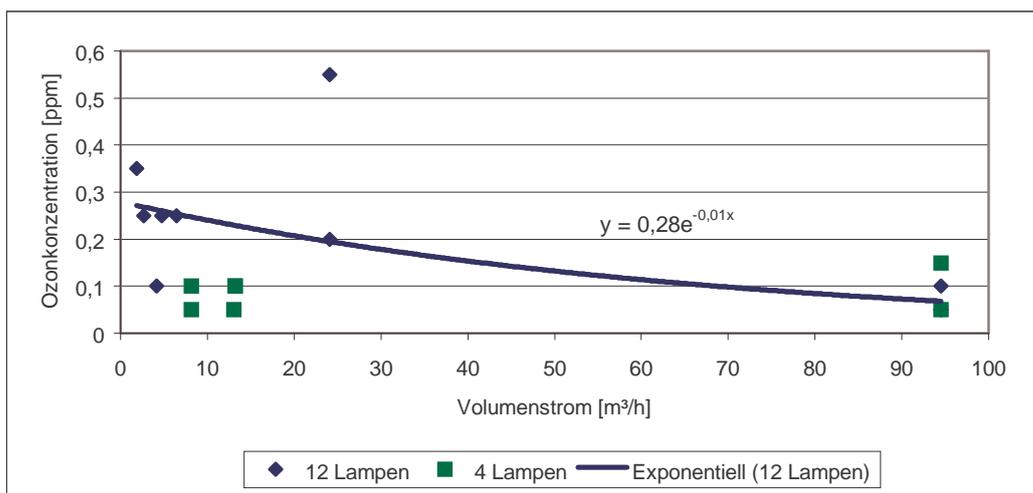


Abbildung 3: Gemessene Ozonkonzentration in Abhängigkeit vom Volumenstrom

Je höher der Volumenstrom im Abluftkamin wird, um so kürzer wird die Verweilzeit einer gegebenen Luftmenge im Bereich der UV-Strahlung. Im jeweiligen Luftvolumen wird dadurch weniger Ozon gebildet, die Ozonkonzentration sinkt.

Messungen bei ca. 1500 m³/h ergaben Ozonkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze. Bei den Versuchen mit nur einer UV- Lampe konnte ebenfalls kein Ozon gemessen werden. Daher ist es nicht sinnvoll gewesen, weitere Untersuchungen bei nur einer UV-Lampe durchzuführen.

Geruchsminderungsgrad

Die Probenahme der geruchsbeladenen Abluft vor und nach der kombinierten Ozon-UV-Behandlung erfolgte zeitgleich, um eine Vergleichbarkeit der Geruchsproben zur Berechnung des Wirkungsgrades zu gewährleisten. Die Abbildung 4 zeigt den Geruchsminderungsgrad in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Lampenzahl.

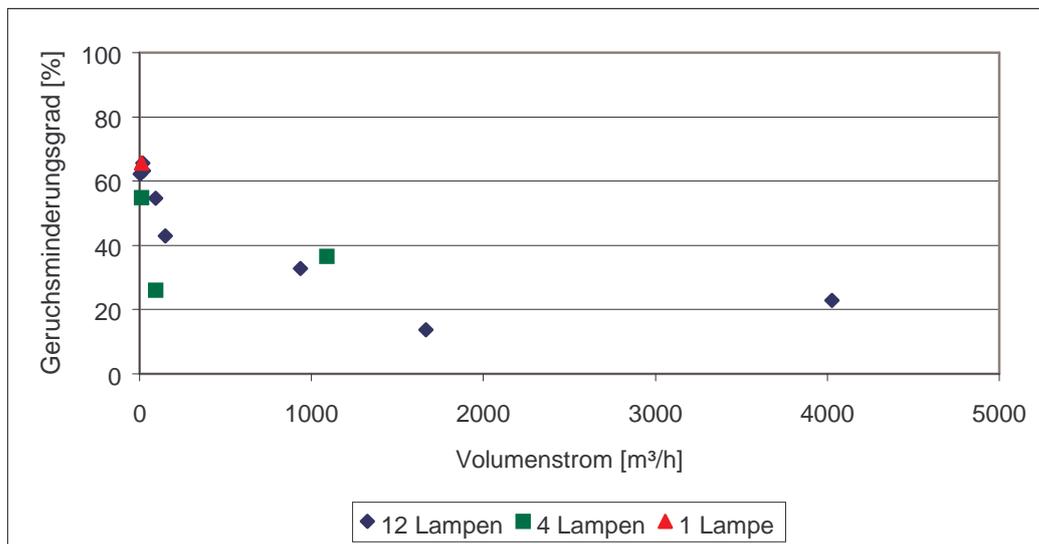


Abbildung 4: Geruchsminderungsgrade ozonerzeugender UV- Lampen

Mit der Erhöhung des Volumenstromes sinkt der Geruchsminderungsgrad. Dabei verringert sich die Verweilzeit der Luft an den UV-Strahlern. Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- je geringer die Verweilzeit der Luft im Strahlungsbereich, um so weniger Ozon wird pro Luftvolumen gebildet, um so weniger Ozonreaktionen im Luftvolumen werden mit den Spurengasen in der Stallluft eingegangen,
- je geringer die Verweilzeit, um so weniger Reaktionszeit steht für das Ozon zur Verfügung,
- je geringer die Verweilzeit, um so geringer ist die Bestrahlungsdauer mit UV-Licht und um so geringer ist die direkte Wirkung der UV-Strahlen auf die Moleküle der Spurengase in der Stallluft.

Eine Abhängigkeit von der Anzahl der ozonerzeugenden UV-Lampen konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden. Einen Wirkungsgrad von 40 % bei der reinen UV-Behandlung findet man auch in der Literatur (ZEISIG/KREITMEIER/HOLZER).

In der Abbildung 5 ist die Abhängigkeit des Geruchsminderungsgrades von der Ozonkonzentration dargestellt. Vor allem bei den Experimenten mit 12 UV-Lampen ist eine Abhängigkeit deutlich zu erkennen. Mit zunehmender Ozonkonzentration erhöht sich der Wirkungsgrad für die Geruchsminderung.

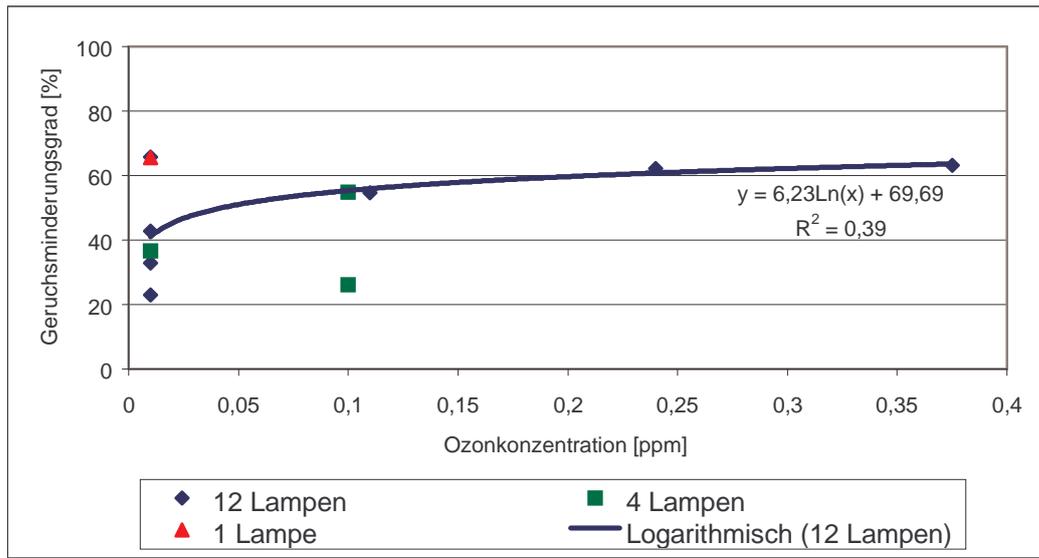


Abbildung 5: Geruchsminderungsgrad in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration

Abbildung 6 zeigt die gemessene Abhängigkeit der Geruchsminderung vom Volumenstrom und der Lampenzahl bei Verwendung nicht ozonerzeugender UV-Strahler.

Wie im Diagramm zu erkennen, liegen die Geruchsminderungsgrade beim Einsatz von 12 ozonfreien UV-Lampen bei ca. 30 % und weniger. In den vorangegangenen Laboruntersuchungen (DR. G. SCHMIDT, A. SCHUMANN) konnten bei der reinen UV-Behandlung Wirkungsgrade von ca. 40 % nachgewiesen werden. Da die UV-Lampen im Stall stark verschmutzen, liegen die gewonnen Messwerte im erwarteten Bereich. Eine Abhängigkeit vom Volumenstrom ist im Diagramm ebenfalls zu erkennen.

Mit zunehmenden Volumenstrom sinkt der Geruchsminderungsgrad sowohl bei den ozonerzeugenden als auch bei den ozonfreien UV-Lampen. Dies ist auf die Verringerung der Verweilzeit der zu behandelnden Luft an den UV-Strahlern zurückzuführen. Vor allem beim Einsatz von 12 Lampen ist deutlich zu erkennen, dass der Wirkungsgrad der Geruchsminderung bei den ozonerzeugen-

den UV-Lampen höher ist. Neben der direkten Aufspaltung von Geruchsstoffen durch das UV-Licht bewirkt das gebildete Ozon eine Oxidation.

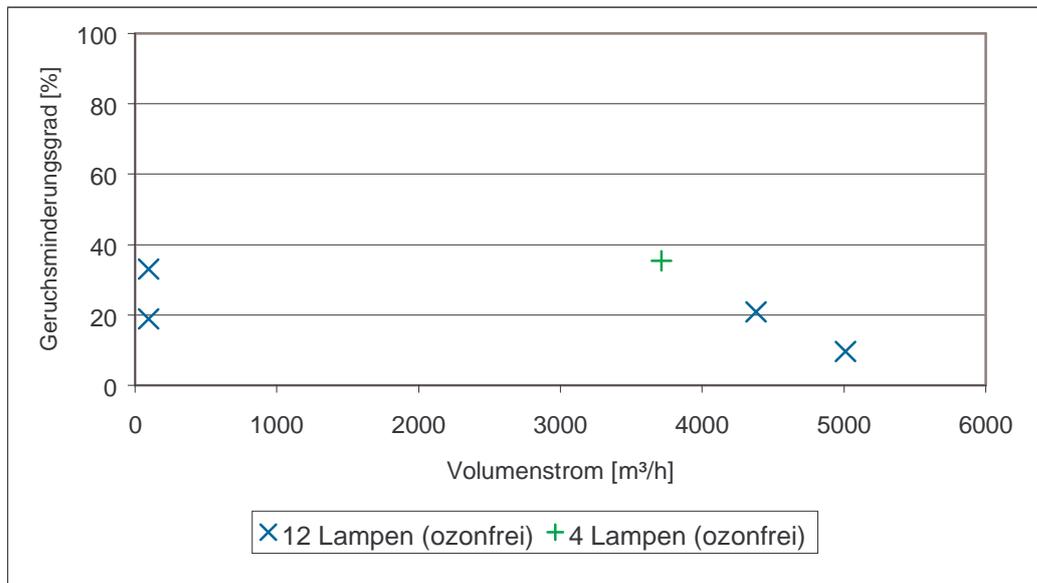


Abbildung 6: Geruchsminderungsgrade ozonfreie UV- Lampen

Mit zunehmenden Volumenstrom sinkt der Geruchsminderungsgrad sowohl bei den ozonerzeugenden als auch bei den ozonfreien UV-Lampen. Dies ist auf die Verringerung der Verweilzeit der zu behandelnden Luft an den UV-Strahlern zurückzuführen. Vor allem beim Einsatz von 12 Lampen ist deutlich zu erkennen, dass der Wirkungsgrad der Geruchsminimierung bei den ozonerzeugenden UV-Lampen höher ist. Neben der direkten Aufspaltung von Geruchsstoffen durch das UV-Licht bewirkt das gebildete Ozon eine Oxidation.

Spurengaskonzentration

Neben den Untersuchungen zum Geruchsminderungsgrad wurden auch kontinuierlich die Spurengase Kohlendioxid, Ammoniak, Methan und Lachgas gemessen. Es wurde nacheinander die Konzentration der einzelnen Spurengase in der Stallluft und in der mit Ozon und UV-Licht beziehungsweise nur mit UV-Licht behandelten Abluft gemessen. Aus den Messergebnissen wurden für jedes Spurengas die Wirkungsgrade ermittelt.

Die Spurengaskonzentrationen in der Stallluft schwanken sehr stark über der Zeit. Da ein Messzyklus drei Minuten dauert und die Ausgangs- und Endkonzentrationen nur nacheinander gemessen werden konnten, ist von größeren Messfehlern auszugehen.

Die Volumenströme wurden in den gleichen Stufen wie bei der Bestimmung des Geruchsminderungsgrades variiert. Auch hier erfolgten damit nur Messungen im Volumenstrombereich unterhalb

der Winterluftfrate. Abbildung 7 stellt die Messergebnisse beim Einsatz der ozonerzeugenden UV-Lampen in Abhängigkeit vom eingestellten Volumenstrom dar.

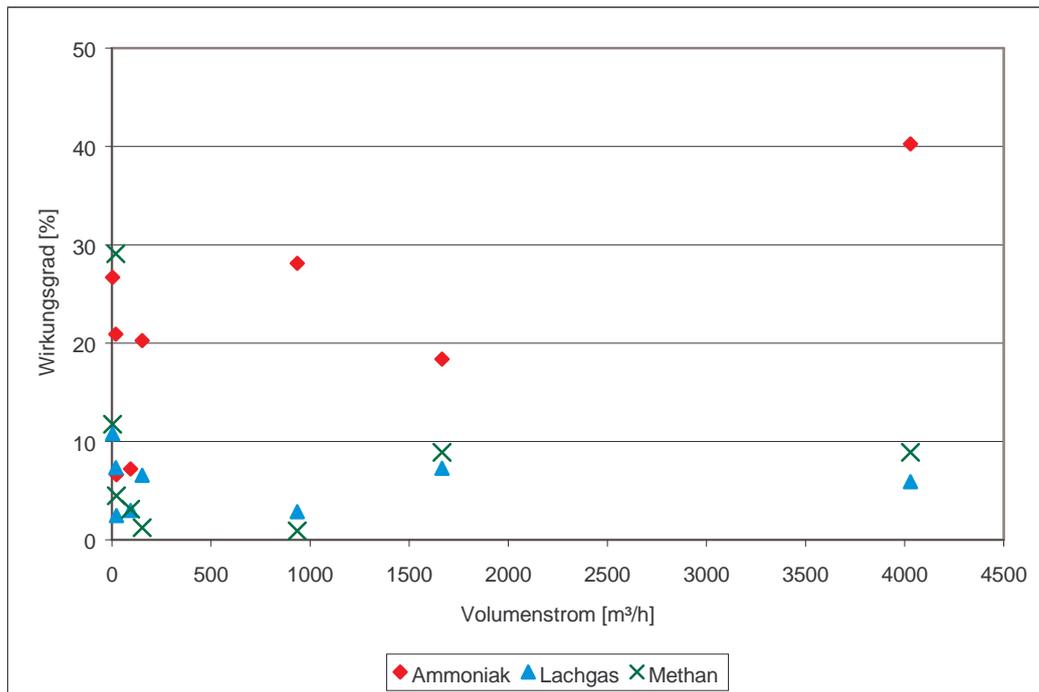


Abbildung 7: Wirkungsgrade der Spurengase bei 12 ozonerzeugenden UV-Lampen

Wie im Diagramm zu erkennen, ist der Wirkungsgrad bei Ammoniak im Vergleich zu den anderen gemessenen Spurengasen am höchsten, das heißt durch eine Behandlung der Stallabluft mit Ozon und UV-Licht wird Ammoniak um bis zu 40 % reduziert. Für höhere Abluftvolumenströme ist mit einem Absinken des Minderungsgrades zu rechnen. Wird ein ähnlicher Verlauf der Luftrateabhängigkeit wie bei den Geruchsstoffen unterstellt, so liegt im Bereich realistischer Abluftraten der Minderungsgrad unter 20 %.

Für Ammoniak konnte bei den Untersuchungen mit ozonfreien UV-Lampen kein Wirkungsgrad ermittelt werden. Das bestätigt gut die Theorie, dass Ammoniak hauptsächlich durch Ozon abgebaut und nur unwesentlich durch das UV-Licht aufgespalten wird.

Als Reaktionsprodukte des Ammoniakabbaues werden vor allem Stickoxide entstehen, eine Aufspaltung bis zum molekularen Stickstoff erfolgt nicht. Da die Stickoxide ebenso wie Ammoniak zu einer Überdüngung des Bodens und zu Schädigungen an der Vegetation führen, bringt der hier erreichte Ammoniakabbau wenig Vorteile.

Der Wirkungsgrad für die Minimierung von Lachgas (N_2O) in der Abluft liegt zwischen 2 % und 10 %. Lachgas wird den Stickoxiden zugeordnet. In VDI 2443 sind nur für Stickstoffoxid (NO) und

Stickstoffdioxid (NO₂) gute Oxidierbarkeiten angegeben. Inwieweit sich diese Angaben auf die Oxidierbarkeit von Lachgas übertragen lassen, konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht nachgewiesen werden.

Für Methan konnten nur Wirkungsgrade bis 10 % festgestellt werden. Der Wert bei 30 % weicht stark von den übrigen Werten ab, so dass dieser Wert aus dem angeführten Messfehler resultiert. Methan ist der Stoffklasse der gesättigten Kohlenwasserstoffe zuzuordnen. Nach VDI 2443 ist Ozon als Oxidationsmittel für Methan ungeeignet. Die ermittelte Reduzierung von Methan beruht wahrscheinlich ebenso wie die Lachgasreduzierung auf dem Wirkungsmechanismus der UV-Strahlen.

Für Messungen mit vier UV-Lampen können bezüglich der untersuchten Schadgase die gleichen Aussagen wie beim Einsatz von 12 UV-Lampen getroffen werden. Die ermittelten Wirkungsgrade befinden sich auf dem gleichen Niveau.

Keimzahlbestimmung

Zur Bestimmung der Keimminderung wurde nur ein orientierender Versuch durchgeführt. Die Probenahme erfolgte ebenfalls bei einem Luftdurchsatz von 100 m³/h unterhalb der Winterluftfrate. Tabelle 2 gibt die Keimzahl als Konzentration im Wasser der Waschflasche und als daraus berechnete Konzentration in der Abluft an.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Keimzahlbestimmung

Keimzahl	Stallluft	nach der Bestrahlung
[Keime/ml]	2.550	190
[Keime/m ³ Luft]	1.700.000	127.000

Anhand dieser Ergebnisse ist ein relativer Vergleich der Keimzahl vor und nach der kombinierten Ozon-UV-Behandlung möglich. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich ein Wirkungsgrad von 92,5 %. Die ermittelte Keimzahl in der Stallluft ist mit 1.700.000 Keimen/m³ Luft etwas höher als bei den Untersuchungen von KALICH, J. UND BLENDL, H. M. Der Wert nach der Behandlung der Stallluft mit UV-Licht sowie der Wirkungsgrad fügen sich gut in die Ergebnisse von KALICH, J. UND BLENDL, H.M ein. Allerdings wurde für die Bestimmung des Keimgehaltes der Luft bei KALICH, J. UND BLENDL, H.M eine andere Methode benutzt. Bei diesen Experimenten kam die sogenannte Membranfiltertechnik zum Einsatz.

Bei den hier aufgeführten Ergebnissen muss darauf hingewiesen werden, dass auf dem M1-Nährboden nur die Keime wachsen, die diesen Nährboden bevorzugen. Dadurch kann mit dieser Methode nur ein bestimmter Teil der Keime in der Luft bestimmt werden. Dies gilt jedoch ebenso für die Membranfiltertechnik von KALICH, J. UND BLENDL, H.M.

Ähnlich der Zusammenhänge beim Abbau von Geruchsstoffen und Ammoniak ist auch hier mit einem Rückgang des Wirkungsgrades beim Übergang auf praktisch übliche Abluftraten zu rechnen.

4 Zusammenfassung

Die Versuche an einer Schweinemastanlage zeigen, dass Geruchsminderungsgrade größer 50 % erst bei unrealistisch kleinen Abluftvolumenströmen erreicht werden. Die im Labor zuvor nachgewiesenen Geruchsminderungen sind auf höhere Luftdurchsätze übertragbar. Der Geruchsminderungsgrad fällt jedoch bei der verwendeten Lampenzahl mit steigender Luftrate so stark, dass schon bei der Winterluftrate (Volumenströme bis ca. 4.000 m³/h) nur noch 20 % erreicht werden. Bei höheren Luftraten sind die dann noch geringeren Minderungsgrade infolge der Streuung der olfaktorischen Messungen nicht mehr nachweisbar.

Der Abbau von Schadgasen wurde für Ammoniak, Methan und Lachgas untersucht. Wirksame Abbaugrade wurden nur für Ammoniak nachgewiesen. Mit dem verfügbaren Messaufwand konnte kein funktioneller Zusammenhang mit der Abluftrate ermittelt werden. Bei der Winterluftrate wird lediglich ein Abbaugrad von 30 % erreicht. Auch hier ist mit einer realistischen Lampenzahl und realen Abluftraten kein nennenswerter Abbau von Ammoniak möglich. Betrachtungen zur Reaktionschemie haben gezeigt, dass kein Abbau bis zum molekularen Stickstoff erfolgen wird. Der Stickstoffeintrag in der Umgebung der Anlage wird damit nicht verringert.

Bei vergleichenden Messungen mit den ozonfreien UV-Lampen konnten nur geringere Geruchsminderungsgrade als mit ozonerzeugenden UV-Lampen ermittelt werden. Der Einsatz ozonerzeugender UV-Lampen zur Reduzierung von Geruchsstoffen und Ammoniak ist damit effektiver.

Bei dem Versuch zur Keimreduzierung wurde im Vergleich zu den sonstigen Untersuchungen ein verhältnismäßig hoher Wirkungsgrad nachgewiesen, welcher aber mit Literaturangaben vergleichbar ist. Ein Einsatz des hier eingesetzten Versuchsaufbaus in der Praxis ist durchaus möglich, jedoch sollten die Versuche ausgebaut werden, um eine statistische Sicherheit des Messergebnisses zu erhalten.

Bei den Versuchen trat eine rasche Verschmutzung der Lampen ein, die zu einer wesentlichen Reduzierung der Strahlungsintensität führte. Das begrenzt bei der bisherigen Einbauvariante in Tierställen die Wirksamkeit.

Abschließend ist festzustellen, dass bei realen Bedingungen eine Geruchs- und Ammoniakminderung erreicht werden kann. Probleme traten allerdings durch die in Tierställen hohen Volumenströme auf. Da der Minderungsgrad im Wesentlichen von der Verweilzeit der Luft an den Lampen abhängig ist, erscheint die Anwendung der kombinierten Ozon-UV-Behandlung bei niedrigen Volumenströmen am sinnvollsten. Aus diesem Grund ist die Anwendung in der Landwirtschaft nur be-

grenzt geeignet. Die technologische Umsetzung der Ozon-UV-Behandlung muss so erfolgen, dass eine bessere Wirkung bei höheren Volumenströmen erreicht werden kann. Erst dann wird das Verfahren der kombinierten Ozon-UV-Behandlung von Abluft aus Tierställen für die Landwirtschaft attraktiv.

Das Konzept des Einbaus der ozonerzeugenden UV-Lampen wird sich deshalb in der Stallpraxis nicht realisieren lassen. Denkbar wäre ein Einbau in Zentralabluftschächte oder die Errichtung von sogenannten Bestrahlungskammern bei zentraler Absaugung. Auch eine Nutzung bei sekundären Quellen (z.B. Kotlagern) ohne hohe Volumenströme wäre erfolgsversprechend.

5 Literatur

VDI 2443: Abgasreinigung durch oxidierende Gaswäsche, VDI- Verlag Düsseldorf, Oktober 1995

DR. G. SCHMIDT, A. SCHUMANN: Geruchsminderung der Abluft landwirtschaftlicher Anlagen mittels kombinierter Ozon-UV-Behandlung, Abschlußbericht, 2000

DIN EN 13725 (Entwurf): Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Deutsche Fassung prEN 12725, Januar 2000

KALICH, J. UND BLENDL, H.M.: Der Einfluß der künstlichen UV-Bestrahlung auf den Keimgehalt der Stallluft sowie die Mastleistung der Schweine, in: Tierärztliche Rundschau, 32 Jahrgang (1977), Nr.11

ZEISIG/KREITMEIER/HOLZER: UV-Bestrahlung von Stallluft in der Schweinemast, Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan, Freising-Weihenstephan 1979

Quantifizierung von Geruchs-, Spurengas- und Staubemissionen und deren Emissionsquellen im Stall als Grundlage für den Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen

Enrico Sieber, Dr. W. Frosch, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Agrartechnik und Landeskultur;

Prof. Wolfgang Büscher, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Landtechnik,

Romi Wehlitz, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Einleitung

Die von Tierhaltungsanlagen ausgehenden Umweltbeeinträchtigungen entstehen u. a. durch die Freisetzung von Spurengasen, Geruchsstoffen und Staub. Zur Quantifizierung von Emissionen aus der Tierhaltung wurden und werden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, wobei nach MARTINEC (1998) das Datenmaterial nach wie vor unzureichend ist. Die aus diesen Untersuchungen resultierenden Emissionsfaktoren werden sehr unspezifisch, vorrangig nur in Abhängigkeit vom Haltungs- und Lüftungssystem dargestellt. Darüber hinaus unterliegen die in der Literatur publizierten Werte sehr großen Schwankungen.

Die Bewertung der Umweltfreundlichkeit einer Stallanlage ist nicht nur durch die Betrachtung des Gesamtsystems Stall möglich. Wesentlichen Einfluss auf die Freisetzung von Spurengasen, Gerüchen und Stäuben haben neben den im Stall gefahrenen Temperaturen und daraus resultierenden Volumenströmen die Aktivitäts- bzw. Ruhephasen der Tiere bzw. ihr Verhalten beim Kotabsetzen, das wiederum von der Bodengestaltung beeinflusst wird.

Daher besteht für die eigenen Untersuchungen der Ansatz, einzelne Emissionsquellen im Stall zu quantifizieren. Zu den emittierenden Flächen zählen der Stallgang, der Futtertrog, der Flüssigmistkanal, die Buchtenfläche, teilweise die Ausrüstungsgegenstände sowie die Tiere.

Die Quantifizierung einzelner Emissionsquellen ermöglicht es, einfache, wirkungsvolle emissionsmindernde Techniken zu entwickeln und neue Haltungssysteme zu beurteilen.

Aussagen zum Einfluss von Aktivitäts- und Ruhephasen der Tiere im Stall auf den Umfang von Spurengas-, Geruchsstoff- und Staubemissionen, die in der Literatur häufig widersprüchlich sind (SCHMIDT, 1997; HOY, 1998) und zu tageszeitlichen Schwankungen im Emissionsniveau führen, sind darüber hinaus von eminenter Bedeutung als Datengrundlage für Ausbreitungsmodelle und Prognosen für Wahrnehmungshäufigkeiten bei Standortfragen. Die Schwerpunkte liegen also in der detaillierten Erfassung und Analyse von Emissionsquellen im Stall als Voraussetzung für gezielte Emissionsminderungsmaßnahmen sowie in der Erfassung tageszeitlicher Schwankungen hinsichtlich der Freisetzung von Emissionen, die sich auf Ausbreitungsrechnungen und damit den erforderlichen Abstand zwischen Tierhaltung und Wohnbebauung auswirken.

2 Zielstellung

In dieser Arbeit sollen daher nicht nur die Gesamtemissionen eines Haltungssystems, sondern darüber hinaus einzelne Emissionsquellen im Stall quantifiziert werden.

Folgende Ziele wurden formuliert:

- Beschreibung des saisonalen sowie tageszeitlichen Emissionsverhaltens einer Schweinemastanlage
- Beschreibung differenzierter Freisetzungquellen von Spurengasen, Gerüchen und Stäuben im Stall
- Quantitative Bestimmung der Freisetzungsniveaus einzelner Schadstoffe sowie
- Bewertung der Einflussfaktoren auf das Emissionsgeschehen im Stall und in der Abluft

Im Rahmen der Untersuchungen soll unter anderem ein methodischer Ansatz gefunden werden, um eine gezielte Beurteilung über die Freisetzung von Spurengasen, Gerüchen und Stäuben einzelner Stallfußböden zu erreichen. Ebenfalls soll der Einfluss von Staub auf den Transport von Spurengasen und Geruchsstoffen geklärt werden.

3 Kenntnisstand

Emissionen sind luftverunreinigende Stoffe, Geräusche, Erschütterungen usw., und zwar zum Zeitpunkt ihres Übertrittes aus dem Bereich der Entstehungsquelle. Unter der spezifischen Betrachtung der einzelnen Emissionsquellen in Anlehnung an die quantitative Bestimmung von Emissionen bedarf es einer näheren Untersuchung der Stofffreisetzung differenzierter Flächen im Stall.

Kontinuierlich emittierende Flächen bezeichnet man nach der Systemtheorie als „Quellen“. Die Nachlieferung des Emittenten erfolgt aus einem definierten Reservoir oder „Pool“ (HANEL, 1990). Man kann zwischen aktiven und passiven Quellen unterscheiden. Die Flächen im Stall sind z. B. passive Emittenten. Stallanlagen mit Zwangsbelüftung werden als aktive Quellen bezeichnet. Bei der Freisetzung von Spurengasen, Gerüchen und Stäuben im Stall wird von folgenden Pools und Quellen gesprochen:

- Tiere
- Futtermittel
- Exkrememente

Weitere für die Untersuchung der Quellemissionen wesentliche Parameter sind das Tiergewicht bzw. die Tierzahl, der Oberflächenabstand des Flüssigmistes unter dem Spaltenboden, die Temperatur sowie die Luftgeschwindigkeit über den emittierenden Flächen.

3.1 Spurengase

Ammoniak

Ammoniak entsteht zum einen als ein Reaktionsprodukt biologischer Abbauprozesse von organischen Substanzen und zum zweiten als ein Endprodukt organischer Substanzen durch Verbrennungen. Grundsätzlich ist Ammoniak aus physikalischer Sicht als Gas zu bewerten, wobei es bei der Entstehung aus organischen Abbauprozessen vorerst als Ammoniumverbindung in wässriger Lösung auftritt (VETTER 1993). In Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen kann es hieraus mehr oder weniger schnell flüchtig werden. Das Kot- und Harnmisch der Tiere ist das Ausgangssubstrat und damit der Ammoniakpool für die Bildung und nachfolgende Freisetzung. Die Menge an gebildetem Ammoniak wird hauptsächlich bestimmt durch die

- Anfallmenge und Zusammensetzung stickstoffhaltiger Ausscheidungen sowie
- das Ausmaß der Stickstoffumwandlung in den Exkrementen d. h. in Kot und Harn.

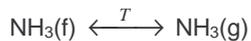
Die Umwandlung der Stickstoffverbindungen in Kot und Harn unterliegt enzymatischen und mikrobiellen Prozessen (KARLSON, 1984). An der Bildung und Freisetzung von Ammoniak sind (ausgehend von Harnstoff) die folgenden Prozesse beteiligt (HARTUNG, 1995; BROSE, 2000; MONTENY, 2000):

- Ammoniakbildung durch enzymatische Harnstoffspaltung (Ammonifizierung)
- Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammonium und gelöstem Ammoniak
- Ammoniakfreisetzung durch den Stoffübergang von der flüssigen Phase in die Luft

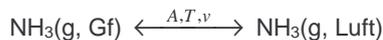
KARLSON (1984) unterteilt die Umsetzungsprozesse in Abhängigkeit spezieller Bedingungen in folgende Reaktionsschritte:

1. Ammonifizierung (Harnstoffspaltung)
2. Nitrifizierung (Bildung von Nitrit und Nitrat)
3. Denitrifizierung (Bildung von molekularem Stickstoff).

Die Freisetzung des in der flüssigen Phase durch Hydrolyse gebildeten Ammoniaks in die Luft unterliegt den Gesetzmäßigkeiten des Stoffübergangs von einer flüssigen in die gasförmige Phase. Die Menge an freigesetztem gasförmigem Ammoniak hängt von dem temperaturabhängigen (T) Gleichgewicht der Konzentration an Ammoniak in der Flüssigkeit (f) und der Konzentration in der Gasphase (g) an der Phasengrenzschicht ab, entsprechend dem Gesetz von Henry (HARTUNG, 1995):



Durch den Luftwechsel im Stall kann sich keine Hintergrundkonzentration aufbauen und damit ist letztendlich der Partialdruck der Lösung der ausschlaggebende Faktor zur Ammoniakfreisetzung (VETTER, 1993). Die Höhe der Ammoniakfreisetzung hängt von der Partialdruckdifferenz des gasförmigen Ammoniaks (g) zwischen der Grenzfläche (Gf) und der darüber liegenden Luft (Luft), der Größe der Phasengrenzfläche (A) und dem Stoffübergangskoeffizienten für Ammoniak ab, welcher wiederum positiv mit der Temperatur (T) und der Luftgeschwindigkeit (v) über der Grenzschicht korreliert (MONTENY, 2000):



Untersuchungen von KRAUSE und JANSSEN (1987) zeigen, dass etwa 80 % des Ammoniaks in der Stallluft von verschmutzten Fußböden und dem Flüssigmist und nur etwa 20 % von den Tieren stammt. Als Haupteinflussfaktoren auf die Ammoniakfreisetzung von verschmutzten Flächen und Flüssigmist kommen maßgeblich folgende Parameter in Frage:

- (Ammoniak-) Konzentration - beeinflusst durch pH-Wert und Temperatur der Lösung
- (Ammoniak-) Nachlieferung - beeinflusst durch das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen und Bewegung in der Flüssigkeit sowie
- Beschaffenheit der emissionsaktiven Substratoberfläche (Schwimmschicht etc.)

Einflussfaktoren, die über die Grenzschichtvorgänge zwischen Flüssigkeit und Umgebungsluft direkt oder indirekt auf die Freisetzung einwirken, werden als Kontaktflächenparameter bezeichnet (BÜSCHER, 1996). Dabei entsteht erst durch kontinuierliche Überströmung ein nennenswerter Einfluss (BECKER, 1977; BOHL, 1998). Vorrangige Kontaktflächenparameter für wässrige Ammoniaklösungen sind:

- o Größe der Kontaktfläche
- o Partialdruckdifferenz durch
 - § Konzentrationsdifferenz von NH_3 ;
 - § Temperaturunterschiede;
- o Grenzschichtdicke durch
 - § Geschwindigkeitsdifferenz (Kontaktzeit);
 - § Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit).

Kohlendioxid

Kohlendioxid ist ein farbloses, unbrennbares, schwach säuerlich riechendes und schmeckendes Gas (CO₂).

Die CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft in den Industrieländern resultieren hauptsächlich durch den Verbrauch fossiler Energieträger vor allem bei der Herstellung von Mineräldüngern sowie als Heiz- und Treibstoff und bei Futtermitteltransporten (Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, www.europa.eu.int).

Ihr Beitrag ist jedoch relativ gering. Der Anteil beträgt in Deutschland ca. 38,4 Mio. Tonnen CO₂ oder ca. 3,6 % der gesamten, aus der Nutzung von fossilen Energieträgern stammenden Menge (AHLGRIMM 1995).

CO₂-Emissionen aus der Tierhaltung entstehen vorrangig durch die Atmung von Lebewesen und nur zum geringen Teil aus den im Stall gelagerten Fäkalien (HARTUNG 1992). Von den regelmäßig in der Stallluft auftretenden Gasen, steht Kohlendioxid quantitativ im Vordergrund. HARTUNG (1995) nennt als Orientierungswerte für die Schweinestallluft eine CO₂-Konzentration von 2700 mg/m³ und Emissionen von 461 Tonnen im Jahr für eine Anlage mit 1.000 Schweinen.

Methan

Methan (CH₄) ist ein farbloses, geruchloses, ungiftiges Gas. Methan kann als Brenn- und Heizgas z. B. in Brennstoffzellen verwendet werden. Bei der Methanproduktion werden polymere organische Stoffe (Cellulose, Stärke, Eiweiß, Fette) in drei Stufen (Hydrolyse, Fermentation und Acetogenese) von einer komplexen anaeroben Mikrobengemeinschaft im Wesentlichen zu CO₂, H₂ und kurzkettigen Karbonsäuren abgebaut. Aus diesen wird durch Methanogenese im abschließenden Schritt Methan gebildet (HARTUNG und MONTENY 2000b).

Diese Zersetzungsprozesse finden z. B. in Sümpfen, Deponien, Klärschlämmen, Nassreisfeldern, Gülle, Jauche statt. Außerdem kann es zur Freisetzung von Methan bei der Förderung von fossilen Brennstoffen und beim Transport von Erdgas kommen.

Eine weitere bedeutende Methan-Emissionsquelle in der Landwirtschaft ist die Viehhaltung, deren Beitrag vom IPCC 1992 auf 65-100 Tg/a geschätzt wurde (www.umweltbundesamt.de). Methan stammt hauptsächlich aus enterischer Fermentation (Verdauung) von Wiederkäuern (30 %) und tierischen Exkrementen (14,7 %) (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1996).

Angaben aus der Literatur zu den Methanemissionen aus der Schweinemast variieren auch in Abhängigkeit von der Aufstallung, der Futterzusammensetzung (Verdaulichkeit), der Höhe der täglichen Zunahmen und der Temperatur sehr stark, von 1.500 bis 18.500 mg/(h*GV).

Lachgas

Lachgas besitzt einen schwach süßlichen Geruch und unterhält die Verbrennung. Es ist 1,5mal schwerer als Luft und ist unter Normalbedingungen sehr beständig. (www.seilnacht.tuttlingen.com). Ein großer Teil der Lachgasemissionen ist nach AHLGRIMM (1995) auf natürliche Quellen wie Ozeane, Seen, und natürliche Böden aus Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen zurückzuführen.

Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft stammen nach SCHUCHARDT (1996) vorwiegend aus der Acker- und Grünlandbewirtschaftung (Mineraldüngeranwendung) und nur zu einem geringen Teil aus der Tierhaltung. Lachgas wird nicht direkt aus primär im Futter oder in den Exkrementen enthaltenen Substanzen produziert, sondern ist ein sekundäres Reaktionsprodukt. Die Lachgasbildung ist ein komplexer Prozess. Bevor Lachgas aus dem Boden oder tierischen Exkrementen freigesetzt wird, muss eine Ammonifizierung von Harnstoff stattfinden. Das produzierte Ammonium wird von nitrifizierenden Bakterien umgebaut. Läuft die Nitrifizierung optimal ab, entsteht kein Lachgas als Zwischenprodukt. Es wird erst gebildet bei einer geringen Verfügbarkeit an Sauerstoff als Folge der Reduktion oxidierter N-Verbindungen. Auch wird die chemische Umwandlung von Ammonium zu Nitrit/Nitrat durch hohe NH_3 -Konzentrationen und geringe C : N-Verhältnisse beeinflusst, was wiederum die Lachgasbildung fördert (HARTUNG und MONTENY 2000 b).

HARTUNG und MONTENY (2000a und 2000b) fanden im Rahmen einer Literaturstudie Lachgasemissionen aus der Schweinemast bei Haltung auf Voll- und Teilspaltenböden von nur 0,02 bis 0,31 kg pro Tierplatz und Jahr und bei Tiefstreu- und Kompostsystemen von 1,09 bis 3,73 kg je Tierplatz und Jahr.

Weitere Literaturangaben zu Lachgasemissionen in der Schweinemast variieren von 10 bis ca. 12.500 mg/(h*GV). Dabei ist nicht erkennbar, in wieweit ein Zusammenhang mit der Haltungsform besteht.

3.2 Geruchsstoffe

In der VDI-Richtlinie 3474 wird Geruch folgendermaßen definiert: "Geruch ist das durch den Menschen wahrgenommene Immissionsangebot an Geruchsstoffen, das als physiologische Wirkung eine Geruchsempfindung auslöst."

Gerüche bestehen oft aus mehreren hundert Einzelstoffen, die außerdem häufig in so kleinen Mengen vorkommen, dass sie chemisch nicht mehr analysiert werden können. Einzelne Komponenten, die technisch zwar messbar sind, lassen wiederum keine Aussage über den Geruch zu. Andererseits können Stoffe, die in nicht nachweisbaren Konzentrationen vorkommen, den Geruchseindruck entscheidend prägen (NIEß, 2001).

Eine mengenmäßige Dominanz eines Stoffes muss demnach nicht unbedingt mit seiner Dominanz als Geruchsträger einhergehen (MARTINEC et al. 1998 a zit. nach MUEHLING 1970 und KRAUSE 1987). Es gibt also keine eindeutige Korrelation zwischen dem subjektiven Geruchsempfinden und objektiven, chemisch-physikalisch analysierten Geruchsstoffen (MAIER et al. 2000; HAMACHER, 2002).

Die technische Erfassung des Geruchssinn (gleiches gilt für den Geschmackssinn) durch Messinstrumente ist weitaus schwieriger als bei den anderen Sinnen (Gesichts-, Hör- und Tastsinn). BOEKER (2000) beruhen Geruchs- und Geschmackssinn auf der Wechselwirkung von Molekülen der Umwelt mit den spezialisierten Sinneszellen der Nase und der Zunge. Eine bloße Messung physikalisch-chemischer Parameter ignoriert den psycho-physiologischen Hintergrund der Sinneseindrücke.

Die Verfahren zur Geruchsmessung lassen sich nach MARTINEC et al. (1998 a) unterteilen in sensorische und analytische Messverfahren. Sensorische Messverfahren (Olfaktometrie) ermöglichen es, mit Hilfe von subjektiven Probanden Aussagen zur Konzentration, Intensität und Hedonik eines Geruchs abzuleiten. Mit analytischen Messverfahren können objektive Aussagen über Konzentrationen eines Geruchsstoffes mit Hilfe eines Messgerätes (z.B. Chemosensor-Array) getroffen werden.

Die Freisetzung von Geruchsstoffen an die vorbeiströmende Luft erfolgt nach den chemisch-physikalischen Grundlagen des Stoffübergangs. Nach MARTINEC et al (1998) ist die Dampfdruckdifferenz entscheidend für den Übergang eines Stoffes zwischen der Stoffquelle und der Luft. Bei konstanten Umgebungsbedingungen stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen dem Dampfdruck der Moleküle in der Gasphase und der Moleküle in der Stoffquelle ein. Durch sich ändernde Bedingungen verändert sich auch die Dampfdruckdifferenz und damit die Freisetzungsrate der Geruchsmoleküle. Die Menge der emittierten Geruchsstoffe ist vor allem abhängig von der Prozess- und Umgebungstemperatur, den Stoffübergangskoeffizienten und den Strömungsgeschwindigkeiten.

Nach JANSEN und KRAUSE (1987) sind die Faktoren, die die Geruchsemissionen aus Tierhaltungsanlagen beeinflussen, vor allem die Tierart, die Tierzahl und die Tiergewichte, das Halte- und Entmistungsverfahren, die Futterart sowie das Lüftungssystem hinsichtlich Luftvolumenstrom und -temperatur. Mit zunehmender Luftrate steigen die spezifischen Emissionen nahezu linear und die Quellenkonzentration nimmt hyperbelartig ab.

Nach MARTINEC et al. (1998 b) stammen die niedrigsten Geruchsemissionsfaktoren aus der Rinderhaltung und die höchsten aus der Schweinehaltung.

In der Literatur ist die Datenbasis zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung sehr unbefriedigend (MARTINEC et. al. 1998 a, BROSE und HARTUNG 2001), insbesondere hinsichtlich kurzzeitiger und jahreszeitlicher Veränderungen sowie zu tageszeitlichen Schwankungen der Geruchsemission.

In einer Literaturstudie von MARTINEC et al. (1998 a) variiert ein großer Teil der Geruchsemissionen aus der Mastschweinehaltung zwischen 20 und 60 GE s⁻¹ GV⁻¹. Es wurden aber auch sehr hohe Geruchsstoffströme bis zu 272 GE s⁻¹ GV⁻¹ festgestellt. Die Ursachen für diese großen Schwankungen können unter anderem der Volumenstrom, die Jahreszeit, der Verschmutzungsgrad der Flächen und die Messmethodik sein.

3.3 Staub

Nach der MAK- und BAT-Werte-Liste (1996) sind Stäube disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen, insbesondere Luft, die durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung entstehen; zusammen mit Rauch und Nebel zählen sie zu den Aerosolen.

Die belebten Bestandteile des Staubes wie z. B. Mikroorganismen, Bakterien, Pilze, Viren, Milben und Protozoen bilden gemeinsam mit den unbelebten Partikeln Agglomerate in der Luft (Bioaerosole). Etwa 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen werden an Partikel angelagert und in dieser Verbindung als Cluster bezeichnet (MÜLLER et al. 1977). Bei Staub und Keimen hängt die gesundheitliche Gefährdung neben der Konzentration auch von der Pathogenität der biologischen Teilchen ab, d. h. von deren infektiöser, mutagener, kanzerogener, fibrogener, allergisierender oder sonstiger toxischer Wirkung.

Staub ist über dies auch Quelle und Träger von Geruchsstoffen, so dass sich einhergehend mit reduzierter Staubentwicklung die Geruchsemissionen einer Stallanlage vermindern lassen (OLDENBURG 1987).

Stäube werden eingeteilt nach ihrer Herkunft (organische oder anorganische Stäube), nach ihren Wirkungen auf den Organismus (keine, allergene oder toxische Wirkung) und vor allem nach der Teilchengröße (lungengängig oder nicht lungengängig) (HOY 1998).

Die aus tierhygienischer Sicht wesentliche Staubfraktion stellt der lungengängige Staub dar, der Partikelgrößen ≤ 5 µm einschließt. In Ställen wird bei tierartlich und verfahrensgebunden unterschiedlicher Gesamtstaublast der Stallluft nach MEHLHORN (1979) mit folgenden prozentualen Anteilen des Staubes mit Korngrößen ≤ 5 µm gerechnet:

- Rinderställe 70 – 80 %
- Schweineställe 70 – 80 %
- Geflügelställe 50 – 70 %.

Als Quellen für Staub und Keime in der Stallluft sind Futter (90 %), Einstreu (55-68 %), Hautbestandteile (<10 %) und trocknende Fäkalien (2-8 %) aufzuführen (Pearson und Sharples 1995, Aarnik et. al 1999, Hartung 1986).

Einfluss auf die Höhe des Staubaufkommens haben die Tierart, das Tiergewicht, die Belegungsdichte, die Bewegungsintensität, das Hygienemanagement, das Fütterungssystem, das Außenklima, die Haltungstechnik und das Haltungsverfahren (HINZ u. KRAUSE 1987).

Durch die Staubmessung soll nach MEHLHORN (1979) die Staubkonzentration, die Korngrößenverteilung und die mineralische sowie chemische Zusammensetzung des Staubes ermittelt werden. Konzentrationsangaben von Aerosolen können massenspezifisch (mg/m^3) oder durch die Anzahl der Partikel (n) pro Volumeneinheit angegeben werden ($\text{Partikel}/\text{m}^3$). Bei den Methoden der Staubmessung sind zwei Gruppen zu unterscheiden:

- Gravimetrische Methoden (Bestimmung der Massenkonzentration) und
- Bestimmung der Zahl der Staubteilchen.

Laut den Ausführungen der TA–Luft vom 24. Juli 2002 dürfen staubförmige Emissionen in Abgasen einen Massenstrom von 0,20 kg/h oder eine Massenkonzentration von $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ nicht überschreiten.

In den MAK-Werten werden im allgemeinen Staubgrenzwerte in einer Konzentration des alveolengängigen Anteils (A) von $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ und eine Konzentration einatembaren Anteils (E) von $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ festgesetzt.

4 Eigene Untersuchungen

4.1 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einer Schweinemastanlage in Ostsachsen von Oktober 2001 bis September 2002 durchgeführt. Die Anlage besteht aus 14 einzelnen Stallgebäuden, die kammartig angeordnet sind. Über den gesamten Untersuchungszeitraum erfolgten kontinuierliche Spurengasmessungen in dem in Abbildung 1 dargestellten längsgeteilten Stall (VS I, VS II). In einem Stallabteil befinden sich 13 Buchten, die an der Trog- und an der Stallgangseite mit Spaltenböden ausgerüstet sind. Dazwischen befindet sich eine planbefestigte Liegefläche, die zur besseren Selbstreinigung als gewölbte Fläche ausgeführt. Der Anteil von Spaltenboden (Gusspalten) zu planbefestigtem Boden beträgt etwa 50:50.

Die Schweine werden mit einem Gewicht von etwa 20-25 kg in Gruppen (ca. 50 Tiere pro Bucht) eingestallt und nach 52 Tagen mit ca. 55 bis 60 kg ausgestallt.

Durch die in der Anlage durchgeführten Umbauarbeiten waren Unregelmäßigkeiten bei der Ausstattung insbesondere zum Ende des Versuchszeitraumes unumgänglich, so dass es zu einer Verlängerung der Vormast kam.

Für diskontinuierliche Windkanalmessungen wurde zusätzlich ein Versuchsstall (VS III) mit Betonspaltenboden im Fress- und Kotbereich sowie einer perforierten Liegefläche (Perforationsgrad von 12,5 %) genutzt. Für die Untersuchungen wurden außerdem in einer Bucht die Böden der Liegeflächen durch Betonspalten mit einem Spaltenanteil von unter 10 % (Ökospaltenboden) ersetzt

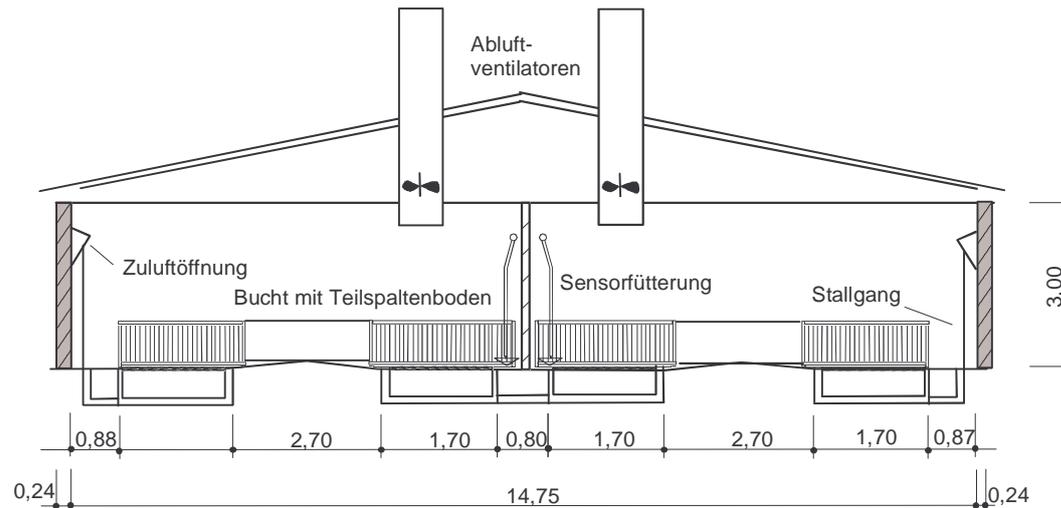


Abbildung 1: Aufstallungs- und Entmistungssystem in den Ställen VS I (rechts), VS II (links)

Zu- und Ablufführung

Die Zuluft wird über stellmotorisch gesteuerte Wandklappen in die Ställe geführt. Die Lüftungsanlagen werden vollautomatisch über Stallklimacomputer gesteuert.

Im Stall VS I wurde zusätzlich zu den Abluftschächten über First eine Unterflurenlüftung eingebaut. Deren projektierte Lüfterleistung entspricht der für den Stall erforderlichen Winterlüfterleistung.

Fütterungssysteme

In allen Versuchsställen wird Flüssigfutter verabreicht. Die Rationen werden in einer Mischanlage zubereitet und über Rohrleitungen in die Ställe transportiert. Der Rohproteingehalt in den Rationen wird dem Bedarf der Schweine angepasst. Es wird eine Dreiphasenmast mit folgenden Rohproteingehalten betrieben:

- Übergangsfütterung: 18,0 % RP
- Vormast: 17,5 % RP
- Endmast: 16,0 % RP

Die Futterdarbietung erfolgt ad libitum über eine Sensorsteuerung.

Messtechnik, Messgrößen

Zur kontinuierlichen Spurengasermittlung in der Abluft der Stallanlage sowie bei der diskontinuierlichen Messungen in einem Windkanal auf verschiedenen Stallfußböden wurde ein Multigas-Monitor 1302 der Firma Innova Airtech eingesetzt. Die Ansteuerung der einzelnen Messstellen wurde mittels Messstellenumschalters desselben Herstellers realisiert.

Der Volumenstrom der Abluft wurde mit Messventilatoren ermittelt. Die Dokumentation der Ventilatorfrequenz erfolgte unter Verwendung der Software DAISY-Lap.

Die Erfassung der Gerüche erfolgte entsprechend der VDI-Richtlinien 3881, Bl. 1 und 3881, Bl. 2. Die Geruchsproben wurden mittels Unterdruck (Probenahmegerät der Fa. Mannebeck) in einen Polyethylenterephthalat-Folienbeutel gezogen. Die Olfaktometrie erfolgte im Labor des Instituts für Agrartechnik und Landeskultur der MLU Halle-Wittenberg an einem Olfaktometer T07.

Die Staubkonzentrationen wurden mit dem Dust Monitor 1.105 (Fa. Grimm, Ainring) ermittelt, der nach dem Streulichtprinzip arbeitet.

Die Quantifizierung von Emissionen auf bestimmten Flächen erfolgte unter definierten Bedingungen in einem Windkanal mit einer effektiven Versuchsgrundfläche von 1 m².

Der Windkanal besteht im Wesentlichen aus einem Radialgebläse, einem Konfusor, der Messkammer und einem Diffusor (Abb. 2). Die Zufuhr von Frischluft wird durch einen an das Gebläse montierten Schlauch gewährleistet.

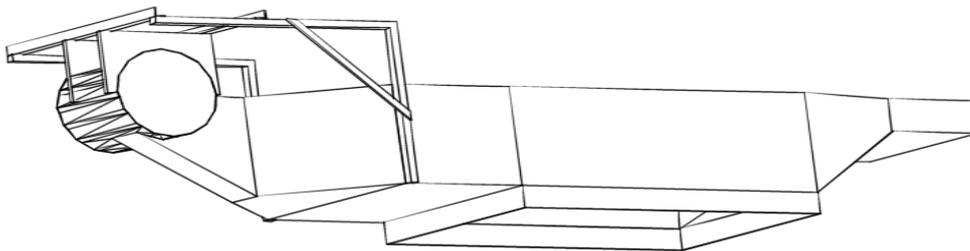


Abbildung 2: Graphische Darstellung des Windtunnels

Die Messungen der Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal erfolgten mit einem Hitzedrahtanemometer.

In Vorversuchen wurden die Strömungsverhältnisse im Windkanal eingehend untersucht. Dabei wurden Luftgeschwindigkeitsdifferenzen sichtbar. Durch bauliche Veränderungen konnte jedoch eine weitestgehend homogene Strömung erreicht werden.

Die Messstelle für die Erfassung der Spurengase befand sich im Bereich des Luftaustrittes aus dem Windkanal. Ergänzend zu den dokumentierten Strömungs- und Konzentrationsverhältnissen im Windkanal wurde die Temperatur mittels Tinytalk (Miniature Temperatur Datalogger) aufgezeichnet. Zur Ermittlung der Staubemission über dem Quellbereich wurde die Entnahmesonde des GRIMM Dust Monitors unmittelbar neben die Messstelle zur Spurengasanalyse montiert.

Zusätzlich wurden einmal wöchentlich alle Buchtenflächen sowie die Tiere in den Ställen VS I und VS II nach ihrer prozentualen Verschmutzungen mittels vier Boniturnoten (sauber, leicht verschmutzt, verschmutzt, stark verschmutzt) bewertet.

Im Folgenden sollen ausgewählte Ergebnisse vorgestellt werden.

4.2 Ergebnisse

Als beeinflussende Faktoren auf die Freisetzung von Emissionen sind im Allgemeinen die Temperatur, der Luftvolumenstrom, die Verschmutzung sowie der Flüssigmistpegel unter dem Spaltenboden zu nennen. Schwerpunkte dieses Beitrages bilden die Freisetzung von Ammoniak, Geruch und Staub insgesamt sowie unter Berücksichtigung der Stallbodengestaltung.

4.2.1 Ammoniakfreisetzung

Gesamtstall

Der tageszeitliche und jahreszeitliche Wechsel des Temperaturniveaus führt in den als Warmstall betriebenen Mastschweineeställen zu einer Variation der Luftraten. Bei Ansteigen der Stalllufttemperatur wird die Luftrate erhöht. Das zieht eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit der Stallluft im Tierbereich und damit über der emittierenden Oberfläche nach sich.

Wie in Abbildung 3 dargestellt steigen die Ammoniakemissionen proportional zur Luftrate an.

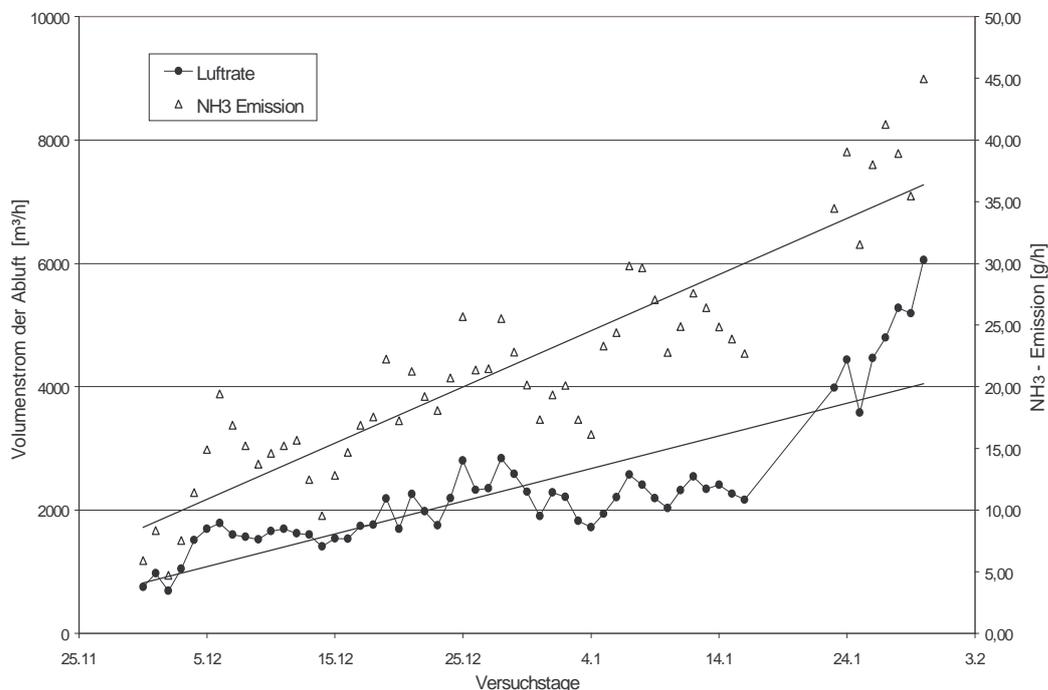


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der durchschnittlichen Luftrate pro Abluftschacht und entsprechender Tagesmittelwert der Ammoniakemission aus dem Versuchsstall I (n = 55)

Die Abhängigkeit der Ammoniakemission von der Lüftungsrate im VS I ist für den Messzeitraum vom 01.12.01 bis zum 31.01.02 in Abbildung 4 dargestellt.

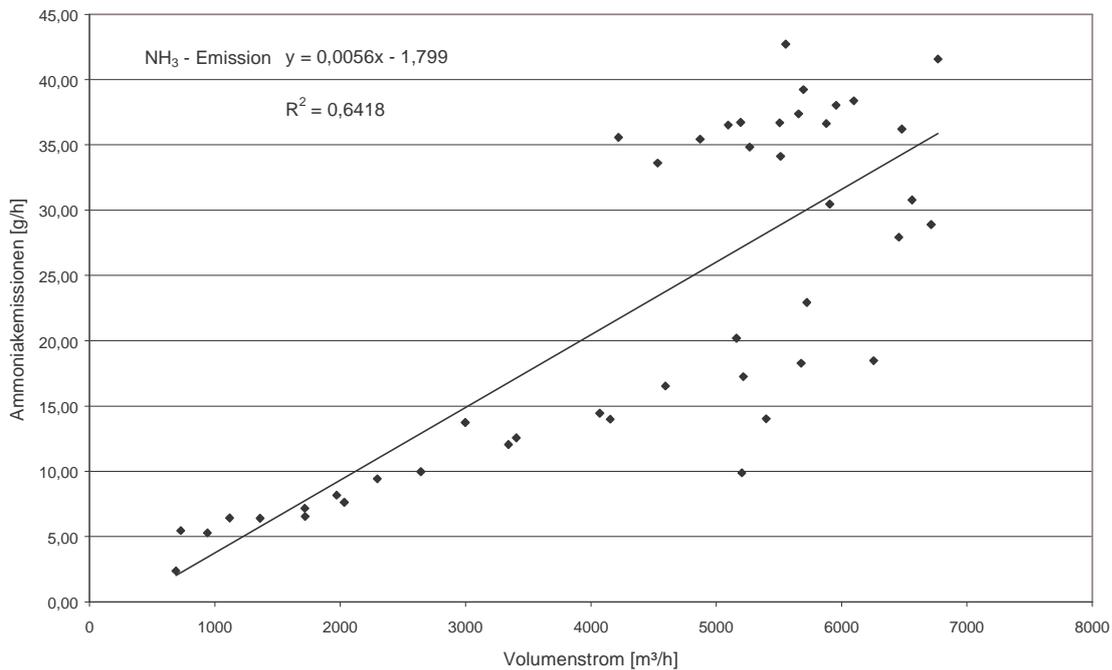


Abbildung 4: Einfluss der Lüftungsrate auf den Ammoniakmassenstrom im VS I gemittelt pro Abluftschacht

Die Beziehung zwischen Lüftungsrate und Ammoniakmassenstrom lässt sich mit folgender Gleichung beschreiben:

$$\dot{m}_{NH_3} = 0,0056 \frac{g/h}{m^3/h} \cdot R - 1,799 \frac{g}{h}$$

Spaltenboden

Die Nachlieferung von Schadgasen erfolgt bei Messungen über dem Spaltenboden anhaltend und auf einem hohen Niveau. Im VS I sind über einen Messzeitraum von zwei Stunden die durchschnittlichen Konzentrationen im Windkanal von 2,06 mg/m³ auf 1,37 mg/m³ NH₃ gefallen. Das entspricht einer Abnahme des Konzentrationsniveaus über den Zeitraum einer Messphase von 33,5 %. Im VS II fielen die durchschnittlichen Konzentrationen von 4,86 mg/m³ NH₃ auf 3,33 mg/m³ ab. Dies stellt mit einer Abnahme der Ammoniakkonzentration von 31,5 % vergleichbare Messwerte zum VS I dar. Während im VS I Schadgasmessungen mit simulierter Sommer- und Winterlüftrate durchgeführt wurden, entsprach die Luftgeschwindigkeit im VS II nur den Sommerverhältnissen. Die NH₃-Freisetzung von den metallischen Spaltenböden im VS I betrug im Versuchsmittel 1,02 g/h/m² auf der untersuchten Fläche. Auf dem Betonspaltenboden im VS III wurde eine mittlere Ammoniakfreisetzung von 13,33 g/h/m² ermittelt. In der Tabelle 1 sind die statistischen Maßzahlen der gesamten Versuchsreihen über Spaltenböden dargestellt.

Tabelle 1: statistische Maßzahlen zu NH₃-Freisetzung von Spaltenböden mit der Windtunnelmethode

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Ammoniakfreisetzung (g/h)	776	0,14	34,50	4,27	6,48

Die Tiefe der emittierenden Quelle wird auf den Spaltenböden durch den Pegelstand des Flüssigmistes im Kanal beeinflusst. Hierbei hat die Verschmutzung der Spaltenböden einen geringeren Einfluss auf die Freisetzung von Ammoniak. Betrachtet man den Einfluss der Temperatur auf das Freisetzungsverhalten von NH₃ von den Spaltenböden, so kann dieser als signifikant angesehen werden. Dabei liegen die Außentemperatur, die Windtunneltemperatur und die Stalltemperatur bei einer Signifikanz von $\leq 0,05$. Den höchsten Einfluss auf die Ammoniakfreisetzung von Spaltenböden hat die Außentemperatur. Eine mögliche Begründung für diese Zusammenhänge liegt in der Tatsache, dass der saisonale Verlauf der Außentemperatur entscheidend auf das Temperaturniveau vom Flüssigmist einwirkt. Eine entsprechende Dokumentation der Gülletemperatur wurde jedoch nicht durchgeführt.

Liegefläche

In die Hauptuntersuchungen zur Ermittlung der NH₃-Freisetzungen von gewölbten Liegeflächen flossen 17 der insgesamt 19 angestellten Messreihen ein. Davon wurden 13 Messungen im Versuchstall VS I und 4 Messreihen aus dem Versuchstall VS II in die Bewertung aufgenommen. Aus jedem der zwei Ställe wurde jeweils 1 Messtag aus technischen Gründen verworfen.

Betrachtet man den Verlauf der NH₃-Konzentrationen von den Messreihen des VS I, so ist ein, alle Messungen umfassender, gleicher Verlauf zu beobachten (Abbildung 5). Im arithmetischen Mittel herrschte im VS I eine Ammoniakkonzentration von 1,55 mg/m³.

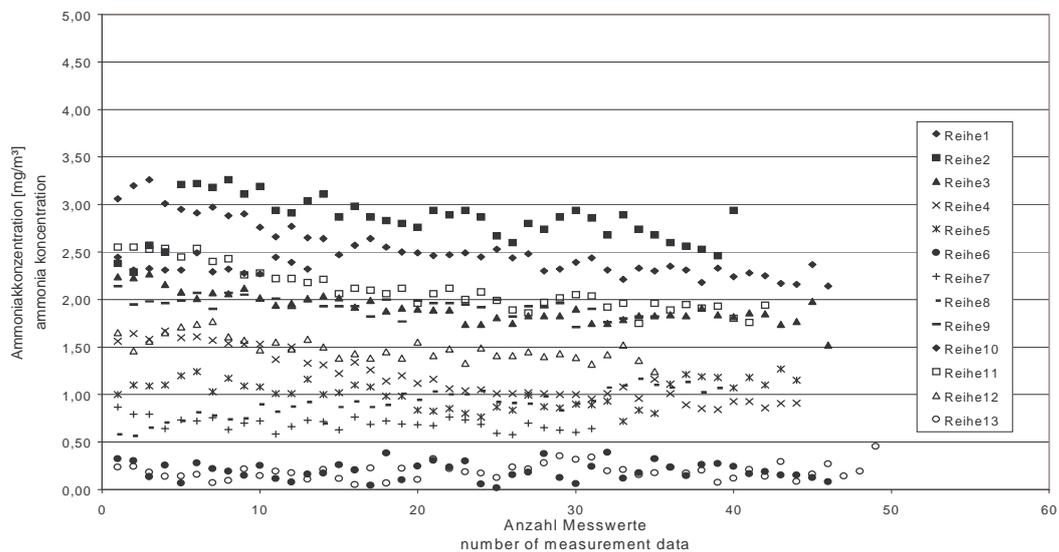


Abbildung 5: Ammoniakkonzentration im Windkanal über der gewölbten Liegefläche im Versuchstall VS I

Vergleicht man die Ammoniakfreisetzung von VS I und VS II ist der entscheidende Einfluss der Temperatur verstärkt zu erkennen. Die NH₃-Freisetzung über den Liegeflächen des VS II betrug 15,48 g/h/m², die der Liegeflächen in VS I nur 0,72 g/h/m². Die statistischen Kennzahlen zur Ammoniakfreisetzung von gewölbten Liegeflächen über den gesamten Versuchszeitraum sind in Tabelle 2 abgebildet.

Tabelle 2: statistische Maßzahlen zu NH₃-Freisetzung von gewölbten Liegeflächen mit der Windtunnelmethode

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Ammoniakfreisetzung (g/h)	698	0,095	29,79	4,58	7,31

Die Freisetzung von Ammoniak belief sich in den Grenzen von 0,095 g/h NH₃ bis zu 29,79 g/h NH₃. Das arithmetische Mittel der Freisetzung betrug 4,57 g/h NH₃. Als Haupteinflussfaktor auf das Freisetzungsgeschehen von Ammoniak über der gewölbten Liegefläche ist der Verschmutzungsgrad zu nennen. Die kontinuierliche Bonitur der untersuchten Fläche lässt im Rahmen der Auswertung einen direkten Zusammenhang vom Anstieg der Verschmutzung mit der Steigerung der NH₃-Freisetzung erkennen. In Abbildung 6 werden die entsprechenden Zusammenhänge dargestellt.

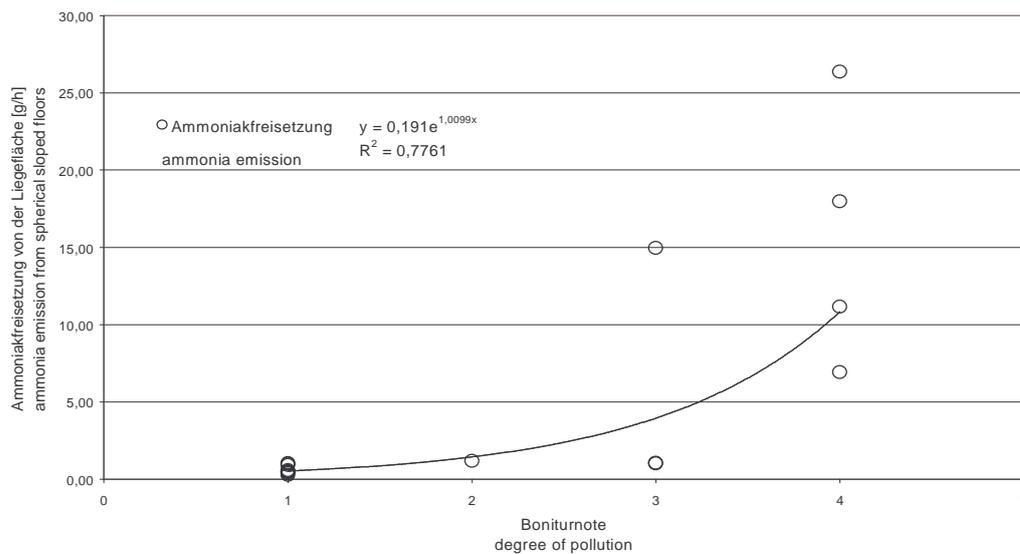


Abbildung 6: Ammoniakfreisetzung bei differenzierter Verschmutzung der gewölbten Liegefläche

4.2.2 Geruchsemissionen

Zur quantitativen Bestimmung der Geruchsfreisetzung wurden sowohl die Geruchskonzentrationen in der Gesamtabluft der Versuchsställe als auch von differenzierten Stallbodenoberflächen ermittelt. Im Folgenden sollen nur die einzelnen Stallfußböden hinsichtlich des Freisetzungsverhaltens von Geruchsstoffen näher betrachtet werden.

Spaltenboden

Tabelle 3 beschreibt die statistischen Maßzahlen der Geruchsfreisetzung über dem Spaltenboden. So wurden durchschnittlich 27,48 GE je Sekunde auf einem Quadratmeter ermittelt.

Tabelle 3: Geruchsfreisetzung vom Spaltenboden über den gesamten Versuchszeitraum

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Geruchsfreisetzung (GE/s/m ²)	20	0,48	201,63	27,48	47,94

In Abbildung 7 ist die Geruchskonzentration über dem Spaltenboden unter Berücksichtigung der Temperatur dargestellt.

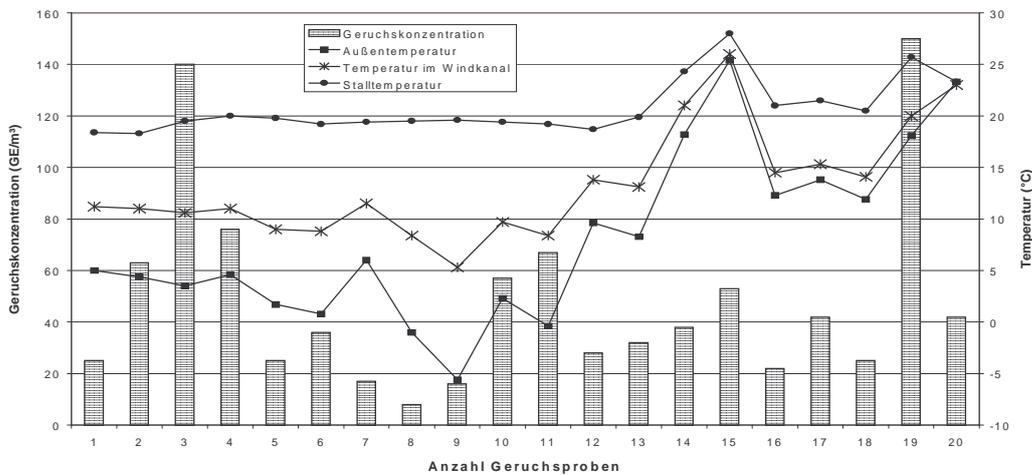


Abbildung 7: Geruchskonzentration über dem Spaltenboden unter dem Einfluss der Temperatur im Windkanal

Der Einfluss des Flüssigmiststandes auf die Geruchskonzentration ist aus Abbildung 8 ersichtlich. Es wurde deutlich, dass das Geruchsaufkommen mit dem Stand der Gülle in beiden Versuchsställen stärker korreliert als mit der Temperatur der unbelasteten Probenluft.

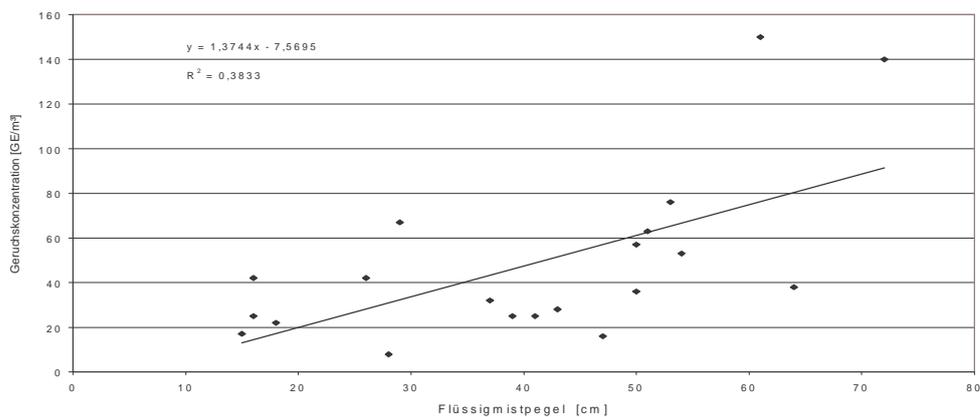


Abbildung 8: Einfluss des Flüssigmiststandes auf die Geruchskonzentration der einzelnen Versuchstage

In Tabelle 4 werden die Beziehungen von einzelnen Einflussfaktoren auf die Geruchskonzentration im VS II beschrieben. Wiederum ist erkennbar, dass die Geruchskonzentration wesentlich vom Flüssigmistpegel beeinflusst wird.

Tabelle 4: Beziehungen zwischen einzelnen Einflussfaktoren und der Geruchskonzentration im VS I

Einflussfaktoren	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	Signifikanz	Korrelationen	
	B	Standardfehler	Beta		Nullter Ordnung	Partiell
(Konstante)	-202,515	149,337		,217		
Außentemperatur [°C]	-19,731	15,281	-4,598	,238	,066	-,439
Windtunneltemperatur [°C]	37,444	27,017	5,896	,208	,067	,464
Stalltemperatur [°C]	-4,479	9,351	-,346	,647	,036	-,178
Flüssigmistpegel [cm]	1,463	,541	,634	,030	,641	,715
Verschmutzung	1,965	16,355	,030	,908	,282	,045
Volumenstrom [m³/h]	-,020	,010	-1,149	,085	-,023	-,604
Tierbesatz [GV]	-,974	,545	-,458	,117	-,462	-,560

a. Abhängige Variable: Geruchskonzentration

Liegefläche

Die Untersuchungen mittels Windkanal auf den gewölbten Liegeflächen ergaben, dass unter den Bedingungen der Winterluft und bei geringen Temperaturen eine engere Korrelation zwischen dem Verschmutzungsgrad und der Geruchsfreisetzung als zwischen der Geruchsfreisetzung und der Temperatur der überströmenden Zuluft herrscht. Dabei wurde im Winter eine signifikant geringere Verschmutzung der Liegeflächen dokumentiert als unter den Bedingungen der Sommerluft. Abbildung 9 verdeutlicht zunächst den Einfluss des Verschmutzungsgrades der Liegeflächen auf die Geruchskonzentration und Geruchsfreisetzung.

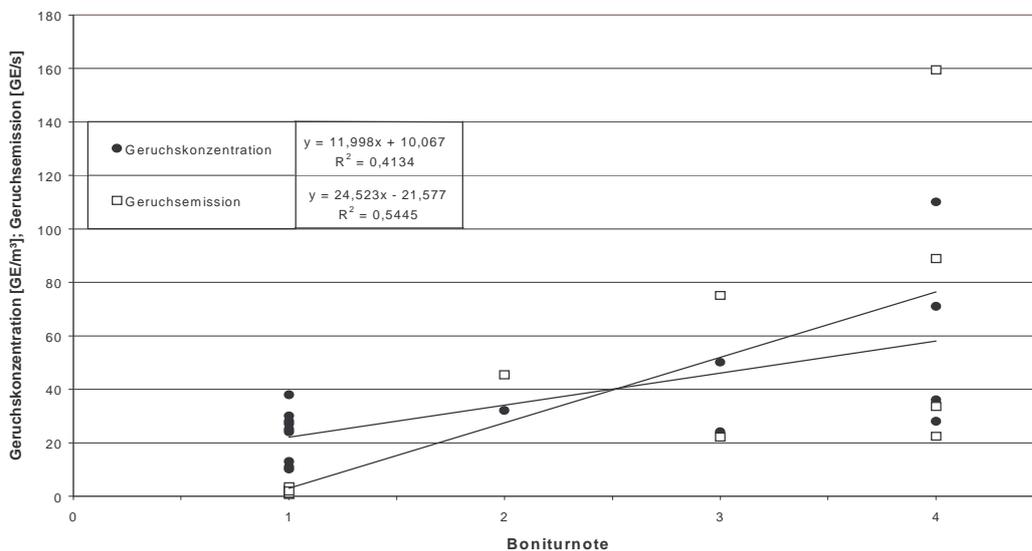


Abbildung 9: Geruchskonzentration und – freisetzung in Abhängigkeit zur Verschmutzung der Flächen

Da bei einer starken Verschmutzung der Liegeflächen zusätzlich die Tiere und Ausrüstungsgegenstände stärker verschmutzt sind, sind diese Effekte indirekt in Abbildung 9 mitberücksichtigt.

Abbildung 10 zeigt die Geruchsemissionen von der gewölbten Oberfläche unter Berücksichtigung der Temperatur im Windkanal. Es wird deutlich, dass mit Erhöhung der Temperatur und damit höherem Volumenstrom (Sommerluft rate) die Geruchsemissionen um ein Vielfaches steigen.

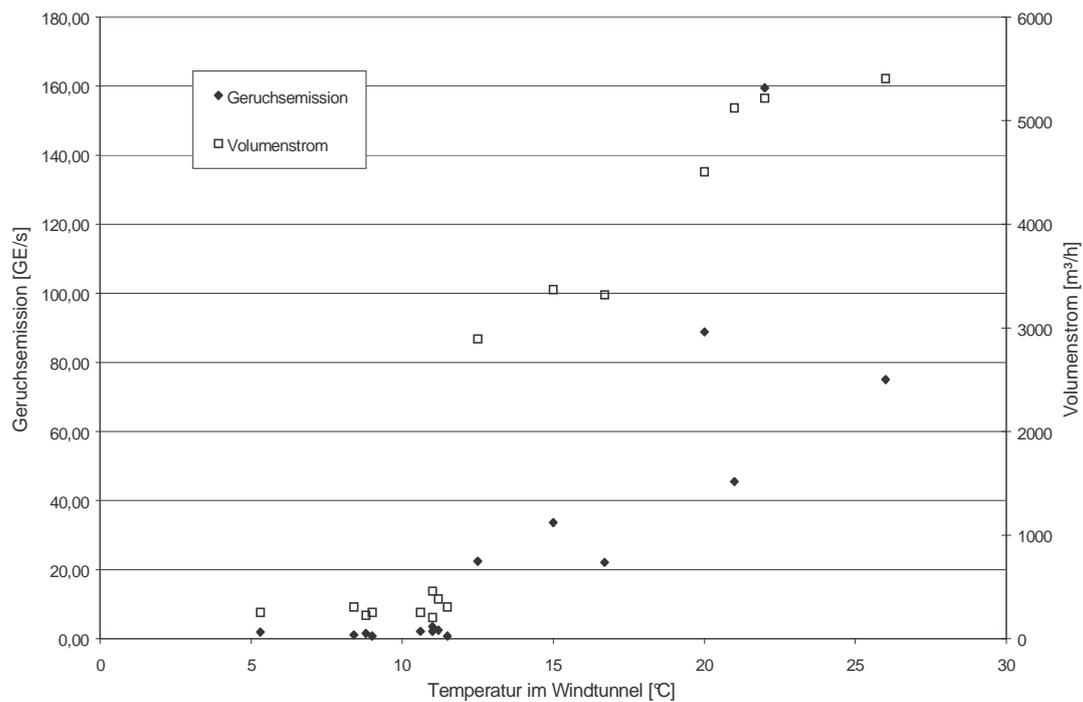


Abbildung 10: Verlauf der Geruchsfreisetzung von der gewölbten Liegefläche bei differenzierten Temperaturbedingungen

4.2.3 Staubemissionen

Gesamtstall

Zur Beurteilung des Staubaufkommens wurden in dem Versuchstall VS I an einem Abluftschacht mehrtägige Staubmessungen durchgeführt. Die Auswertung der Messergebnisse ist entsprechend der Klassifikationen arbeitsmedizinisch, immissionstechnisch sowie massenanteilig möglich. Für die eigenen Untersuchungen dient jedoch nur die massenanteilige Klassifizierung als Grundlage zur Beurteilung. In dieser Darstellungsmethode wird eine Differenzierung der Staubpartikel nach ihrer Größe (8 Größenfraktionen) durchgeführt. In Tabelle 5 sind die jeweiligen Tagesmittelwerte der einzelnen Größenfraktionen verschiedener Versuchstage dargestellt.

Tabelle 5: Mittelwerte vom Staubaufkommen an verschiedenen Versuchstagen geordnet nach Größenfraktionen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fraktion	> 0,5 μm	> 1 μm	> 2 μm	> 3,5 μm	> 5 μm	> 7,5 μm	> 10 μm	> 15 μm	
Versuchstage	1	129,78	129,47	128,12	120,20	100,48	69,88	58,93	53,71
	2	61,92	56,68	55,14	48,48	36,41	18,64	11,73	9,44
	3	58,12	55,89	51,19	45,23	37,04	25,33	20,98	19,49
	4	134,52	133,08	131,17	124,16	107,51	79,79	66,41	58,92
	5	116,64	116,39	115,64	111,02	97,33	74,67	63,71	56,93
	6	61,97	61,60	60,77	57,48	49,83	38,51	33,46	29,90

Dabei wurde festgestellt, dass sich der prozentuale Anteil der jeweiligen Größenklassen unabhängig vom Gesamtstaubaufkommen im gleichen Niveau hält.

> 0,5 μm - 1,0 μm	0,21 - 3,84 %
> 1,0 μm - 2,0 μm	0,64 - 8,08 %
> 2,0 μm - 3,5 μm	3,96 - 10,26 %
> 3,5 μm - 5,0 μm	11,74 - 15,20 %
> 5,0 μm - 7,5 μm	18,25 - 23,28 %
> 7,5 μm - 10,0 μm	7,50 - 9,95 %
> 10,0 μm - 15,0 μm	2,56 - 5,81 %
> 15,0 μm	33,53 - 48,81 %

Den prozentual größten Anteil am durch das Messgerät erfassten Gesamtstaub stellt die Fraktion > 15 μm dar.

Am Versuchstag 1 wurden im Durchschnitt am Abluftschacht 4 des VS I 0,13 mg/m^3 Staub vom Messgerät registriert. Kalkuliert man an dieser Stelle mit einem Volumenstrom der Abluft im VS I von etwa 28.000 m^3/h , so errechnet sich eine Tagesgesamtemission an Staub von 86,7 g. Bei einem Tierbesatz von 599 Mastschweinen und spezifisch an diesem Versuchstag von 26,5 GV entspricht dies 0,14 g Staub/Tier/d bzw. 3,2 g Staub/GV/d. Diese Werte variierten zwischen den Versuchstagen von 0,06 g/Tier/d bis 0,15 g/Tier/d und zwischen 1,4 g/GV/d – 3,2 g/GV/d.

Der tageszeitliche Verlauf des Staubaufkommens folgt der Konzentration der Spurengase. Während der Nachtstunden und somit geringer Tieraktivität im Stall tritt eine Staubkonzentration von 30 – 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Spitzen im tageszeitlichen Staubaufkommen sind jeweils zu den Fütterungszeiten zu erkennen. Eine wahrscheinlich gesteigerte Aktivität der Tiere ist in den Abendstunden zu verzeichnen (Abbildung 11).

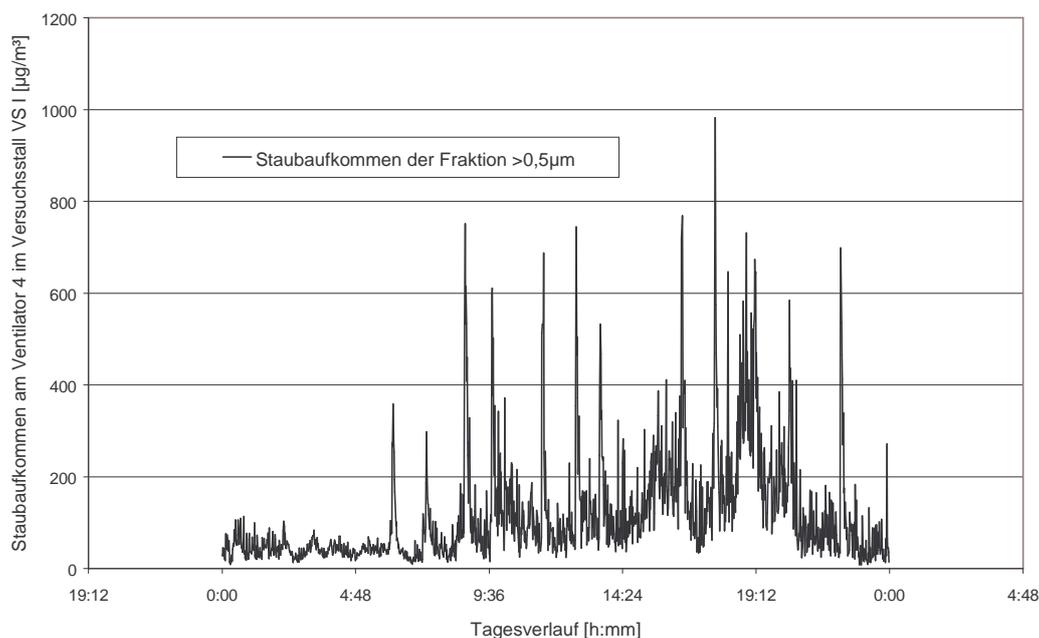


Abbildung 11: Verlauf des Staubaufkommens der Fraktion > 0,5 µm über einen Messzeitraum von 24 Stunden

Spaltenböden

In den Untersuchungen zum Staubaufkommen von den Spaltenböden wurden keine charakteristischen Verläufe der Messwerte festgestellt. Es traten sowohl kontinuierliche Konzentrationsabfälle als auch -anstiege auf. Grundsätzlich wurden in den Messreihen sehr hohe Varianzen in den Einzelwerten sichtbar. In der Tabelle 6 sind die statistischen Kennzahlen zum Staubaufkommen vom Spaltenboden (metallischer und Betonspaltenböden) zu entnehmen.

Tabelle 6: Statistische Kennzahlen zum Staubaufkommen vom Spaltenboden

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Staubkonzentration >0,5 µm (µg/m ³)	20	18,53	425,20	94,1065	107,17

Der Mittelwert der Staubkonzentrationen unter den Bedingungen der Winterluft lag bei 112,25 µg/m³ (n=13). Dem gegenüber stellten sich die Ergebnisse der Messreihen unter der Sommerluft mit einem arithmetischen Mittel von 55,55 µg/m³ (n=7) dar.

Liegefläche

Die Untersuchungen zum Staubaufkommen von gewölbten Liegeflächen ergaben eine tendenzielle Partikelzunahme im Verlauf einer Messphase. Besonders charakteristisch war der Anstieg der

Staubkonzentration unter Winterbedingungen ausgeprägt. Die untersuchten Stallböden wiesen in den Sommermonaten eine wesentlich stärkere Verschmutzung auf, ließen jedoch keinen eindeutigen Staubkonzentrationsverlauf erkennen.

Die Tabelle 7 beschreibt die statistischen Kennzahlen der im Windtunnel ermittelten Staubkonzentrationen über der Liegefläche. Das arithmetische Mittel der an den 18 Versuchstagen durchgeführten Messreihen liegt bei 45,27 µg/m³ Staub.

Tabelle 7: Statistische Kennzahlen zum Staubaufkommen von der gewölbten Liegefläche

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Staubkonzentration >0,5 µm (µg/m ³)	18	12,91	191,99	45,27	41,89

Dabei war das Mittel des Staubaufkommens bei Winterlufrate um 31,2 % geringer (38,49 µg/m³) als bei Sommerlufrate (55,49 µg/m³).

5 Zusammenfassung

Die beschriebene Windtunnelmethode wird nach Abschluss der Untersuchungen als geeignet angesehen. Mit der verifizierten Aktivhaube ist eine gezielte Dokumentation des Freisetzungsgeschehens verschiedener Stallfußböden möglich. In den angestellten Langzeitversuchen zur Quantifizierung der Freisetzung von Schadgasen in Mastschweineställen wurden die Unterschiede zwischen der NH₃-Freisetzung von Spaltenböden und gewölbten Liegeflächen ermittelt.

Den Haupteinfluss auf das gesamte Freisetzungsgeschehen stellt wie in zahlreichen anderen Arbeiten beschrieben, die Temperatur dar. Ebenfalls ist eine deutliche Zunahme der Ammoniakfreisetzung bei gesteigertem Luftvolumenwechsel zu verzeichnen.

Die vergleichenden Untersuchungen führten zu keinem signifikanten Unterschied zwischen dem Spaltenboden und der gewölbten Liegefläche. Beurteilt man das Freisetzungsgeschehen der Stallbodentypen, so ist der Stallgang als Quelle zu vernachlässigen und sind dem Spaltenboden sowie den gewölbten Liegeflächen jeweils 50 % der Ammoniakfreisetzung zuzuordnen. Der saisonale Einfluss auf das Freisetzungsgeschehen beider Stallbodentypen ist höchst signifikant. Stellt sich die gewölbte Liegefläche unter Bedingungen der Winterlufrate als der niedrigere NH₃-Emittent dar, so sind deren Freisetzungsraten in den Sommermonaten leicht höher als die der Spaltenböden. Ursache dafür liegt in der zum Teil hohen Zunahme an stark verschmutzten Flächenanteilen.

Ein Vergleich der einzelnen Stallfußböden hinsichtlich des Freisetzungsverhaltens von Geruchsstoffen ergab, dass beim Spaltenboden das Geruchsaufkommen mit dem Stand der Gülle in beiden Versuchsställen stärker korreliert als mit der Temperatur. Dagegen ist für die Geruchskonzentration

und Geruchsfreisetzung über bzw. von den Liegeflächen der Verschmutzungsgrad entscheidend, der wiederum in den Sommermonaten wesentlich stärker war.

Der Vergleich des Staubaufkommens zwischen dem Spaltenboden und der gewölbten Liegefläche zeigt bei vergleichbaren Versuchsbedingungen ein deutlich höheres Staubaufkommen über den Spaltenböden.

Des Weiteren wurde eine hohe Signifikanz zwischen dem Staubaufkommen und der Ammoniakemission sowie der Verschmutzung der gewölbten Liegefläche festgestellt.

Bei den Spaltenböden hingegen wirkte sich nach statistischer Betrachtung die Verschmutzung nicht wesentlich auf die Staubkonzentration aus.

6 Literatur

- AARNINK, A.J.A.; ROELOFTS, P.F.M.M.; ELLEN, H.; GUNNINK, H. (1999): Dust sources in animal houses. Proceedings of Animal Production facilities, 30.05.-02.06., Aarhus, Dänemark
- AHLGRIMM, H.J. (1995): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimarelevanter Spurengase – Möglichkeiten zur Reduktion? Landbauforschung Völkenroden 45, Heft 4, S. 191-204
- BECKER, E. (1977): Technische Strömungslehre. Teubner Studienbücher, Reihe: Mechanik, Stuttgart, 4.Auflage, 1977
- BOEKER, P. (2000): Messung von Geruchsmustern mit Chemosensorarrays. VDI-Seminar „Gerüche in der Außenluft“, Mannheim 28./29.11.2000
- BOHL, W. (1998): Technische Strömungslehre. Vogel-Fachbuchverlag, Kamprath-Reihe: Technik, 11. Auflage, 1998
- BROSE, G. (2000): Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation, Hohenheim
- HAMACHER, T. (2002): „Elektronische Nase“, Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, DPG-Tagung, Leipzig 2002
- HARTUNG, J. (1992): Emission und Kontrolle von Gasen und Geruchsstoffen aus Ställen und Dunglagern. Zbl. Hyg. 192 / 5, S. 389-418
- HARTUNG, J. (1995): Gas- und partikelförmige Emissionen aus Ställen der Tierproduktion. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 102, Heft 7, S. 283-288
- HANEL, B. (1990): Einführung in die konvektive Wärme- und Stoffübertragung. Verlag Technik GmbH, Berlin
- HINZ u. KRAUSE 1987
- HOY, S. (1998): Nur etwas Staub und sonst nichts? DGS Spezial; August 1998: S. 27-30
- JANSEN, J.; KRAUSE, K.-H. (1987): Stallinterne Beeinflussung der Gesamtemissionen aus der Tierhaltung. Grundlagen der Landtechnik 37, Nr. 6, S. 213-220
- KARLSON, P. (1984): Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Stuttgart, 1984

- MAIER, B.; RIESS, G.; GRONAUER, A. (2000): Einsatz von chemischen Sensorarrays zur Erkennung und Bewertung von Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft; Agrartechnische Forschung 6 (2000) Heft 1, S. 20-25 et al. 2000 ,
- MARTINEC, M.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T. (1998): Daten zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung“, KTBL-Arbeitspapier 260
- MEHLHORN, G. (1979): Lehrbuch der Tierhygiene. Bd. 1, Gustav Fischer Verlag Jena
- HARTUNG, E.; MONTENY, G.J. (2000): Emissionen von Methan und Lachgas aus der Tierhaltung – eine Literaturstudie. Landtechnik 55 Nr. 4, S. 288-289
- NIEß, J. (2001): Geruchsstoffe im landwirtschaftlichen Bereich. Seminar am Institut für Landtechnik der Universität Bonn 20.03.2001
- OLDENBURG, J. (1987): Geruchs- und Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333, KTBL Darmstadt
- PEARSON, C.C.; SHARPLES, T.J. (1995): Airborn dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. J. agric. Engng Res.: 60, S. 145-154
- VETTER, H. (1993): Ammoniak und Umwelt. RKL-Schrift 18/1993

www.umweltbundesamt.de.

www.seilnacht.tuttlingen.com

Rapssaat und Nebenprodukte aus der Rapsverarbeitung

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Einleitung

In den 60er und 70er Jahren gab der „Göttinger Arbeitskreis Raps“ den Auftakt für die ungewöhnlich erfolgreiche Rapszüchtung. Danach wurde in zwei Schritten aus dem Raps eine grundlegend neue Kulturpflanze entwickelt (1974 Erucasäurefreiheit, 1982/84 Glucosinolatarmut). Rapssorten ohne Erucasäure (0 bis 2 %) und niedrigem Glucosinolatgehalt (< 30 µmol/g) werden als so genannte 00-Sorten bezeichnet. Raps wurde dadurch auf dem Weltmarkt zu einem der größten Rohstoffe zur Produktion von Pflanzenöl, dessen überwiegende Verwendung im Lebensmittelsektor heute als „Gesundheitsnahrung“ in hohem Ansehen steht, aber auch im Bereich der „Nachwachsenden Rohstoffe“ gibt es zahlreiche Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel für die Biodieselherstellung. **Nach China, Kanada und Indien ist Deutschland mit einem Anteil von 12 % der viertgrößte Rapsproduzent der Welt.** In Riesa befindet sich die einzige große Ölmühle Ostdeutschlands. Sie kooperiert mit einem Biodieselerzeuger in Bitterfeld. Heute verarbeiten die Riesaer täglich rund 1000 t Rapssaat zu etwa 400 t Öl (HENTSCH, 2003).

Obwohl die Agenda 2000 veränderte Rahmenbedingungen für die Erzeugung von Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen brachte (Wegfall der Abschneidgrenze und der Flächenbegrenzung durch das Blair-House-Abkommen) wird der Rapsanbau in Marktfruchtbetrieben weiter zunehmen und bis zur pflanzenbaulich verträglichen Grenze von 20 bis 25 % der Ackerfläche steigen (JACKISCH, 2002). Dabei werden etwa 50 % als nachwachsender Rohstoff auf Stilllegungsflächen angebaut werden. Öl aus Raps von der Stilllegungsfläche darf keine Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittel finden (Non-Food-Raps). Für die Ölverwertung aus Non-Food-Raps wird die Biodieselproduktion favorisiert. Die Preise für Non-Food-Raps werden zwischen Erzeugern und Verwendern frei ausgehandelt und liegen weit unter den Preisen für Nahrungsrapssorten von Basisflächen (MANN, 1998). Die Situation kann sich allerdings ändern, falls der Vorschlag von Agrarkommissar Fischler, künftig eine Dauerbrache einzuführen, angenommen wird. Damit wäre ein Rückgang der Rapsanbauflächen verbunden, das heißt der Non-Food-Anbau auf Stilllegungsflächen würde abgeschafft werden. **Die Rapserntemenge belief sich im Jahr 2001 in Sachsen auf 373.000 Tonnen** (Autorenkollektiv, 2001). Rapssaat steht für die Fütterung zur Verfügung, wenn die Ölmühlen den Rapserzeugern, wie 1992 und 1993 geschehen, Niedrigpreise zahlen.

Die bei der Verarbeitung von 00-Rapssorten (erucasäurefrei und glucosinolatarm) anfallenden Nebenprodukte Rapsextraktionsschrot¹⁾ beziehungsweise Rapskuchen²⁾ (Rapsexpeller) haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung erlangt. **Heute liegt der Rapsextraktionsschrot-**

¹⁾ Im Futtermittelrecht wird für Expeller der Begriff Kuchen verwendet

²⁾ In der Praxis häufig als Rapsschrot bezeichnet

verbrauch in Deutschland bei über 2,3 Millionen Tonnen (SPRICK, 2003). Bei der Biodieselproduktion entsteht außer Rapskuchen auch Glycerin als Nebenprodukt (10 bis 11 %), das ebenfalls in der Fütterung eingesetzt werden könnte. Voraussetzung dafür ist allerdings die futtermittelrechtliche Zulassung von Glycerin über die bestehende Zulassung als Emulgator hinaus (UFOP-Schriften, Heft 17, 2002, „Glycerin in der Tierernährung“). Klar abzugrenzen sind dabei die zunehmend für die industrielle Nutzung bestimmten Spezialsorten mit „maßgeschneidertem“ Fettsäuremuster je nach Verwendungszweck (CRAMER, 1990).

Von der Industrie werden vor allem erucasäure- bzw. laurinsäurereiche Rapssorten gefordert, denn das Fehlen der Erucasäure wirkt sich ungünstig auf das Kälteverhalten des Rapsöls aus. Außerdem wirkt erucasäurereiches Öl als Schaumbremse in Waschmitteln (Industrierapsanbau in Sachsen 2001, 3.000 Tonnen). So haben sich zum Beispiel die Ölwerke Riesa auf die Gewinnung von erucasäurereichem Öl spezialisiert (Autorenkollektiv, 2001). Sie dienen zur Herstellung von Kunststoffen, Tensiden, Netzmitteln, Emulgatoren, Weichmachern, Lacken, Additiven, Pharmazeutika und Flotationsmitteln. Dank des Einsatzes neuer Biotechniken in bestimmten Rapslinien konnte der Erucasäuregehalt von etwa 50 % auf etwa 60 % gesteigert werden. Eine weitere Erhöhung auf über 66 % erhofft man sich durch den Einsatz der Gentechnik (TÖPFER, 1994). Erucasäurehaltiger Rapskuchen ist fütterungsuntauglich, Erucasäure ist eine einfach ungesättigte Fettsäure, die das Öl ungenießbar macht, da sie einen kratzigen Geschmack bewirkt. Bevor Rapskuchen verfüttert wird, ist deshalb neben dem Fettgehalt auch das Fettsäuremuster zu analysieren. Raps lag 1999 in der Europäischen Union mit 270 Anträgen zur Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen an zweiter Stelle hinter dem Mais, wobei sich etwa 30 auf die Fettsäuremuster des Rapssamens bezogen, der weitaus größte Teil beschreibt aber Resistenzen gegenüber Herbiziden (BICKEL-SANDKÖTTER, 2001).

Die Mitgliedsländer der Europäischen Union sind im höchsten Maße gefordert, damit geklärt wird, wann mit der Genehmigung derartiger Anträge gerechnet werden kann. Zur Zeit besteht diesbezüglich Rechtsunsicherheit bei Pflanzenzuchtunternehmen (SCHMITZ, 2000), denn seit 1998 herrscht in der Europäischen Union Stillstand bei der Zulassung gentechnisch veränderter Organismen. Importiert werden darf nur, was schon vorher in der Europäischen Union zugelassen war. Doch seit ein paar Monaten erscheint das Thema wieder auf der politischen Tagesordnung, denn es wird befürchtet, dass Europa den Anschluss in Forschung und Entwicklung verlieren könnte. Seit 1998 ist in der Europäischen Union die Zahl der Feldversuche mit gentechnisch veränderten Organismen um drei Viertel zurückgegangen. Ende 2002 haben sich die Agrarminister der Europäischen Union auf Schwellenwerte für unbeabsichtigte Verunreinigungen mit gentechnisch veränderten Organismen und auf Regeln zur Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit geeinigt. Es wird damit gerechnet, dass 2004 die Zulassungsblokade für gentechnisch veränderte Organismen aufgehoben wird, nachdem das Parlament der Europäischen Union dem zugestimmt hat (DLG-Mitteilungen 4/2003).

2 Rapsanbau und -verarbeitung

Mit etwa 1,3 Mio. ha hat der Rapsanbau in Deutschland 2002 den bisher höchsten Umfang erreicht, obwohl die stärkste Kürzung der Flächenbeihilfe auf das Niveau von Getreide beziehungsweise Stilllegung hingenommen werden musste (BOCKEY, 2003).

Die Unterscheidung zwischen Food- und Non-food-Rapsöl findet nur noch in den Anbauverträgen ihren Niederschlag. Die Biodieselproduktion beeinflusst entscheidend die Erzeugerpreisentwicklung. Die Rapsmenge für die Biodieselproduktion überschreitet 50 % der nächsten Rapsernte, falls die Biodieselproduktionskapazitäten ausgelastet werden. Tabelle 1 zeigt als Übersicht die Biodieselskapazität in Deutschland im Wirtschaftsjahr 2002/2003.

Tabelle 1: Biodieselskapazität im Wirtschaftsjahr 2002/2003 (BOCKEY, 2003)

Betreiber in Produktion:	Ort/Bundesland	Kapazität t/Jahr	Produktionsbeginn
Ölmühle Hamburg AG	Hamburg	120.000	9/2001
Ölmühle Leer Connemann GmbH & Co.	Leer/Niedersachsen	100.000	9/1996
Mitteldeutsche Umesterungswerke Bitterfeld	Bitterfeld/Sachsen-Anhalt	100.000	9/2001
Natur Energie West	Marl/Nordrhein-Westfalen	100.000	4/2002
Nevest AG	Schwarzheide/Brandenburg	100.000	10/2002
Rheinische Bioester GmbH	Neuss/Nordrhein-Westfalen	100.000	12/2002
Campa Biodiesel GmbH	Ochsenfurt/Bayern	75.000	1/2000
Biodiesel Wittenberge GmbH	Wittenberge/Brandenburg	60.000	8/1999
Bio-Ölwerke Magdeburg	Magdeburg/Sachsen-Anhalt	50.000	3/2003
Thüringer Methylesterwerke GmbH & Co. KG	Hartha-Pölnitz/Thüringen	45.000	1/2002
Petrotec GmbH	Südlohn/NRW	35.000	5/2002
EOP Elbe Oel Prignitz AG	Falkenhagen/Brandenburg	30.000	12/2002
Biodiesel Kyritz GmbH	Kyritz/Brandenburg	28.000	3/2003
Saria Bio-Industries GmbH & Vo. Verw. KG	Malchin/Mecklenburg-Vorp.	12.000	10/2001
Kartoffelverwertungsgesellschaft Cordes & Stoltenburg GmbH & Co.	Schleswig/Schleswig-Holst.	10.000	5/2003
Hallertauer Hopfenverwertungsgesellschaft	Mainburg/Bayern	8.000	4/1995
Landwirtschaftliche Produktverarbeitungs GmbH	Henningsleben/Thüringen	5.000	4/1998
PPM Umwelttechnik GmbH & Co. KG	Oranienburg/Brandenburg	5.000	11/2001
BioWerk Sohland GmbH	Sohland/Sachsen	5.000	7/2002
BioWerk Kleisthöhe GmbH	Uckerland/Brandenburg	5.000	9/2002
BKK Biodiesel GmbH	Rudolstadt/Thüringen	4.000	12/2001
Verwertungsgenossenschaft Bio-kraftstoffe	Großfriesen/Sachsen	2.000	4/1996
Summe		1.004.000	
Anlagen im Bau			
Marina Biodiesel GmbH & Co. KG	Brunsbüttel/Schleswig-Holst.	100.000	
Rapsveredelung Vorpommern GmbH	Malchin/Mecklenburg-Vorp.	40.000	
Summe		140.000	

Neuerdings können die EU-Mitgliedsstaaten die Höhe der Besteuerung selbst bemessen. Durch Beschluss des Bundestages und des Bundesrates zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes werden alle Biokraftstoffe bis Ende 2008 von der Mineralöl- und der Ökosteuer befreit.

2.1 Einsatzwürdigkeit von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen

Für die Einsatzwürdigkeit von Rapsextraktionsschrot ist vorrangig der Preis maßgebend. Eine Grobkalkulation für den Einzelbetrieb ermöglicht die Austauschmethode (Rapsextraktionsschrot gegen Sojaextraktionsschrot und Weizen) auf Basis von NEL und nXP (Tabelle 2).

Tabelle 2: Preiswürdigkeit von Rapsextraktionsschrot im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot und Weizen auf Basis nXP (nutzbares Rohprotein) und NEL für Milchkühe (nach SÜDEKUM und SPIEKERS, 2002)

Preis (€/100 kg) für	Weizen			
	Sojaschrot	11	12	13
18		14,6	14,7	14,8
20		16,2	16,3	16,4
22		17,7	17,8	17,9
24		19,3	19,4	19,5
26		20,8	20,9	21,0

Bei einem Sojaextraktionsschrotpreis von 22 € je dt und einem Weizenpreis von 11 € je dt darf Rapsextraktionsschrot danach 17,80 € je dt kosten, um Kostengleichheit zu erzielen. Im Vergleich zu früheren Bewertungen verbessert sich die Preiswürdigkeit von Rapsschrot erheblich, denn hier wurden die neuesten Versuchsergebnisse zur Proteinqualität des Soja- und Rapsextraktionsschrotes berücksichtigt, d. h. Sojaextraktionsschrot und Rapsextraktionsschrot werden nicht mehr mit 35 und 25 % unabbaubarem Proteinanteil (UDP) angegeben, wie in der aktuellen DLG Futterwerttabelle von 1997, sondern einheitlich mit 30 % wie in Versuchen mittels Pansenbeuteltechnik ermittelt werden konnte (SÜDEKUM und SPIEKERS 2002). Beim Raps ergibt sich für diese Neufestlegung ein gleicher UDP-Anteil von 30 % für die Kuchen/Expeller und das Extraktionsschrot. Beim Rapsextraktionsschrot ergibt sich je kg durch die Anhebung des UDP-Anteils von 25 auf 30 % ein Anstieg im nXP-Gehalt um 15 g/kg und beim Sojaextraktionsschrot durch Absenkung des UDP-Anteils von 35 auf 30 % ein Abfall von 18 g/kg. Aus der Sicht der Proteinwertigkeit sind diese Futtermittel somit beim Rind gleichwertig. Dass beim Rapsextraktionsschrot der nXP-Wert nach wie vor niedriger liegt, ist durch die geringeren Gehalte an verdaulicher organischer Substanz und Rohprotein bedingt. Durch die Änderung der nXP-Werte ändern sich gleichzeitig die ruminalen Stickstoffbilanzen (RNB). Beim Rapsextraktionsschrot ist die Bilanz nun niedriger und beim Sojaextraktionsschrot höher.

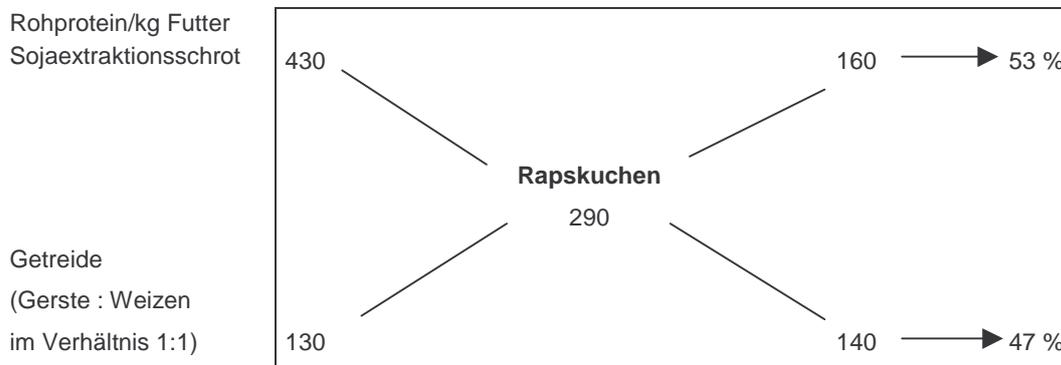
Für Rapskuchen kann der Markt nicht wie bei Rapsextraktionsschrot nur einen Preis bilden, da Rapskuchen besonders im Fettgehalt und damit im Energiegehalt variiert und sich damit

deutlich vom Rapsextraktionsschrot unterscheidet. Liegen keine Angaben zum Fett- und Glucosinolatgehalt vor, sollte Rapskuchen im Rahmen von Vereinbarungspreisen zwischen Biodieselproduzent und Landwirt wie Rapsextraktionsschrot gehandelt werden. In der folgenden Übersicht wird von Schöne (2001) die Preisfindung für eine gegebene Rapskuchencharge demonstriert.

Im ersten Schritt wird der Eiweißgehalt des Rapskuchens zwischen den von Sojaextraktionsschrot und Getreide gestellt und nach dem Mischkrenz die Austauschrelation berechnet. Da ein Teil Rapskuchen etwa 0,5 Teile Getreide ersetzt, stellt ein erster Ansatz den Preis des Eiweißfutters als Mittel zwischen aktuellem Sojaextraktionsschrot- und Getreidepreis dar. Im zweiten Schritt wird über die Analyse des Rohfettgehaltes der in der Regel zu niedrige Energiegehalt berücksichtigt. Das Prozent Rohfett (1 kg Fett je dt Kuchen) kostet 0,25 Euro. Dieser Preis resultiert aus 0,45 € je kg Rohöl, einer Verdaulichkeit des pflanzengebundenen Fettes von 80 % und der "Gegenrechnung" für die zu ersetzende fettfreie Masse von 0,13 €/kg (das ist der angenommene Rapsextraktionsschrotpreis). Im dritten Schritt wird für Rapskuchenchargen mit unbekanntem oder zu hohem Glucosinolatgehalt ein Risikoabschlag vorgenommen. **Im Unterschied zur Saatgutzertifizierung ist für den Konsumraps und die Rapsfuttermittel die Glucosinolatbestimmung bisher nicht vorgeschrieben.** Glucosinolatanalysen von Rapsfuttermittelchargen würden deren Einsatz sicherer machen.

Preisfindung für eine Rapskuchencharge (nach SCHÖNE, 2001)

Mischkrenz: nach dem Proteingehalt ersetzt 1 kg Rapskuchen eine Mischung aus 530 g Sojaextraktionsschrot und 470 g Getreide



1. Preis als Mittel aus aktuellem Getreide- und Sojaextraktionsschrotpreis laut Mischkrenz
2. Analyse Rohfett - Bringe je Prozent Fett unter 17 % 0,25 €/dt in Abzug
3. Analyse Glucosinolate - Bringe bei Überschreiten von 20 mmol/kg 5 %, bei 25 mmol/kg 10 % des Preises in Abzug!
4. Setze bei fehlenden Analysezertifikaten für Fett und Glucosinolate lediglich den Marktpreis für Rapsextraktionsschrot an!

2.2 Glycerin als Nebenprodukt der Biodieselproduktion in der Rinderfütterung?

Neben dem anfallenden Rapskuchen (Rapsexpeller) bei der Rapsölgewinnung entsteht bei der anschließenden Umesterung des Öles zu Biodiesel auch Glycerin, denn Rapsöl besteht im wesentlichen aus Glycerinestern und höheren Fettsäuren, die unterschiedlich verestert sind. Da insgesamt drei OH-Gruppen des Glycerins mit Fettsäuren verestert sein können, spricht man auch von Triglyceriden.

Neuerdings wird Glycerin an verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen als Futterzusatz geprüft, handelt es sich doch ohnehin um einen Nahrungs- beziehungsweise Futtermittelbestandteil, der im wesentlichen von der Leber (75 %) und den Nieren „metabolisiert“ wird. Das Nahrungs-Glycerin wirkt mit bei der Glykogenbildung und der Fettentstehung, im besonderen in den Milchdrüsen der Wiederkäuer.

Da Glycerin bereits in verschiedenen Fütterungsversuchen sinnvoll getestet werden konnte, besteht seitens der Mischfutterindustrie Interesse an einer verfahrenstechnischen Lösung zur Herstellung glycerinhaltiger, abriebfester Mischfutterpellets. Problemlos scheint die Lagerung von Pellets allerdings nur mit Glycerinanteilen von maximal 8 %. Unpelletierte Mischungen weisen bereits bei einem Glycerinanteil von 5 % Verfestigungen auf und sollten deshalb nicht in Silos eingelagert werden (LÖWE, 2000). Aufgrund der unterschiedlichen Rohglycerinqualitäten sind die Eigenschaften des Glycerins für den Einsatz in der Tierernährung zu definieren, das heißt, von der Tierernährung vorgegebene Grenzwerte, zum Beispiel für bestimmte Salze, sind einzuhalten und zu deklarieren. Außerdem ist das Freisein von toxischen Anteilen und Methanolresten zu garantieren. Glycerin wurde schon in den 50er Jahren und mit erneutem Arbeitsschwerpunkt in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts dahingehend geprüft, ob es bei Milchkühen zur Ketoseprophylaxe und -behandlung geeignet ist. Demnach ist Glycerin, ebenso wie das eng verwandte Propylenglycol (1,2 Propandiol), als glucoplastische Verbindung, dafür einsetzbar.

Es ist allgemein bekannt, dass Glycerin von den Pansenbakterien stark angegriffen und vorrangig zur Propionsäurebildung genutzt wird. Noch fehlt es an Ergebnissen zur Wirkung von Glycerin als energieliefernder, schnell fermentierbarer Rationsbestandteil. Pichler und Frick (1993) prüften in der Bundesversuchswirtschaft Königshof den Einsatz von Glycerin in der Jungbullenmast. Anstelle von Mais wurde eine entsprechende Menge Glycerin verabreicht (3,5 bzw. 7%). Die Versuchsergebnisse zeigten eine leichte Unterlegenheit der Glyceringruppen, möglicherweise deshalb, weil Glycerin energetisch falsch bewertet wurde. Da für Glycerin keine entsprechenden Tabellenwerte für den Energiegehalt und für die Verdauungskoeffizienten zur Verfügung standen, wurde bei der Erstellung der Ration für Glycerin der Energiegehalt von Mais und eine 100%ige Verdaulichkeit unterstellt. Lediglich aus Versuchen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig lässt sich ein Nettoenergiegehalt von Glycerin für Wiederkäuer von etwa 9,5 MJ NEL/kg ableiten (LEBZIEN und AULRICH, 1993).

Nach SCHRÖDER et al, (1999) kann Glycerin in Wiederkäuerrationen ohne nachteilige Auswirkungen in Anteilen bis zu 10 % der aufgenommenen Trockenmasse eingesetzt werden.

3 Qualitätsmerkmale der Rapsprodukte

3.1 Rapsöl

Seit Einführung der 00-Rapssorten hat der Zuchtfortschritt dazu geführt, dass heute der Ölgehalt meist deutlich über 40 % liegt.

Das Rapsöl zeichnete sich, wie auch andere Kruziferen-Öle, ursprünglich durch einen hohen Anteil an Erucasäure (C 20:1) aus (Tabelle 3). Die langkettigen Fettsäuren bewirken eine gute Schmierfähigkeit und eignen sich dadurch als Maschinenöl. Vor einigen Jahren wurde gefunden, dass Erucasäure und Eicosensäure negative Auswirkungen auf Herzmuskulatur und -gefäße haben. Deshalb bezeichnen die Ernährungsphysiologen die Eruca- und Eicosensäure als gesundheitsschädlich und unerwünscht in der menschlichen und tierischen Ernährung (SCHUSTER, 1992). 1964 fand man in Kanada (STEFFENSON et al. 1964) Mutanten in einer deutschen Sommerrapssorte, die keine (0 bis 2 %) Erucasäure und dafür mehr Ölsäure ausbildet (Tabelle 3). Inzwischen konnte durch Selektion in verschiedenen Populationen (LÖÖF, 1970) und durch künstliche Mutationsauslösung (RÖBBELEN und RAKOW, 1970) eine große Variabilität der verschiedenen Fettsäuren festgestellt werden, so dass der Züchtung auf weitere Qualitätsverbesserungen des Rapsöles für die verschiedensten Nutzungsrichtungen gute Perspektiven gegeben sind.

Tabelle 3: Vergleich des Fettsäuremusters von alten Rapssorten mit dem der neuen, erucasäurefreien Sorten

Fettsäuren	C 16:0	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	C 20:1	C 22:1
alter Sortentyp ¹⁾	3,0	1,0	17,0	14,0	9,0	10,0	50,0
neue erucas.freie Sorten ¹⁾	4,0	2,0	62,0	22,0	10,0	1,0	0,0
Im Fütterungsversuch							
Rapskuchen (Großfriesen)²⁾	5,9	1,7	53,8	20,9	8,0	1,4	1,2
Rapsextraktionsschrot (Riesa)²⁾	7,6	1,8	47,4	25,3	6,3	0,8	0,6

1) nach SCHUSTER, 1992

2) nach HEBER, 2001, Mittelwerte der im Milchküfütterungsversuch im LVG Köllitsch eingesetzten Rapskuchen und Rapsextraktionsschrotchargen

Bezeichnung der Fettsäuren:

Palmitinsäure (C 16:0)

Stearinsäure (C 18:0)

Ölsäure (C 18:1)

Linolsäure (C 18:2)

Linolensäure (C 18:3)

Eicosensäure (C 20:1)

Erucasäure (C 22:1)

00-Rapssaaten sind Ausgangsmaterial für Rapskuchen mit einem Rohfettgehalt von etwa 10 bis 18 % und für Rapsextraktionsschrot mit einem Rohfettgehalt von meist weniger als 3 %. Als

Futtermittel war bisher vorwiegend nur das nach der Rapsölgewinnung verbliebene Rapsextraktionschrot verwendet worden. **Das Rapsöl der heutigen 00-Sorten ist überwiegend aus ungesättigten Fettsäuren zusammengesetzt.** Es enthält 55 bis 62 % Ölsäure (C 18:1), 20 bis 24 % Linolsäure (C 18:2) und 9 bis 15 % Linolensäure (C 18:3). Rohfett- und Trockenmassegehalt bestimmen weitgehend die Lagerfähigkeit. Insbesondere fettreiche Kuchen sollten mehr als 90 % Trockenmasse aufweisen (PÖLL und WIEDNER, 1993). **Die niedrige Produktfeuchtigkeit garantiert trotz des hohen Fettgehaltes eine gute Lagerstabilität.**

Schneller als die anderen Nährstoffe ist Fett sowohl vom nichtbakteriellen, als auch bakteriellen Verderb betroffen. Als Kriterien des Futtermittelsverderbs werden meist die **Fettkennzahlen Peroxid- und Säurezahl** bestimmt, um die Änderung von Fettqualitäten in Zeiträumen beurteilen zu können. Die Bewertung der Futterqualität beziehungsweise -tauglichkeit anhand dieser Kennzahlen ist jedoch problembehaftet, weil erhöhte Parameter nicht zwangsläufig mit tierischen Leistungseinbußen beziehungsweise toxischen Auswirkungen korrelieren. Diesen Werten kommt lediglich eine gewisse Bedeutung als hygienische Maßzahl zu, die nur auf den Fettanteil und nicht auf das Gesamtfuttermittel zu beziehen ist (LENGERKEN und ZIMMERMANN, 1991). **Insbesondere Fettgehalte von mehr als 10 % begrenzen die Lagerfähigkeit.** Es ist deshalb notwendig, den Fettgehalt von Futtermitteln, die Fett in dieser Größenordnung enthalten können, zu bestimmen. Rohstoffe mit Ölgehalten von über 30 % (zum Beispiel Rapssaat), werden bis auf 14 bis 18 % Ölgehalt vorgepresst (Nebenprodukt: Rapskuchen). Anschließend erfolgt meist die Ölextraktion. Hierbei entstehen als Nebenprodukt die Extraktionsschrote mit einem Restölgehalt von 1 bis 4 % (JEROCH et al. 1993). Bei den im Milchkuhfütterungsversuch in Köllitsch eingesetzten Rapsprodukten wurden folgende durchschnittliche Fettgehalte bestimmt:

Fettgehalt im Rapskuchen	15,65 %
Fettgehalt im Rapsextraktionsschrot	4,52 %

Nach Rauscher (1986) gelten folgende Aussagen:

Säurezahl:	< 50 = sehr gut
	50 bis 80 = gut
Peroxidzahl:	< 25 = sehr gut

Anhand der Säure- und Peroxidzahlen konnte kein Verderb des Rapskuchenfettes festgestellt werden (Tabelle 4). Qualitätsminderungen werden von erfahrenen Prüfern bereits organoleptisch ermittelt.

Tabelle 4: Säurezahl und Peroxidzahl während der Dauer des Milchkuhfütterungsversuches in Köllitsch

	Versuchsbeginn	nach 3 Monaten	nach 6 Monaten
Säurezahl im Rapskuchenfett	32,8	53,1	66,3
Peroxidzahl im Rapskuchenfett	8,4	3,5	8,3

3.2 Glucosinolatgehalt (GSL) im Raps

Der Einsatz von Rapsprodukten in der Tierfütterung wird besonders durch den Gehalt an Senfölglycosiden (Glucosinolaten) eingeschränkt, deren Spaltprodukte toxisch wirken bzw. das Wachstum und die Leistungsfähigkeit der Tiere herabsetzen können, denn neben dem Futterverzehr wird der Jodumsatz und die Schilddrüsenfunktion beeinträchtigt (SCHÖNE, 1995). Auch hier ist es der Züchtung gelungen, den Glucosinolatgehalt von 120 bis 250 $\mu\text{mol/g}$ entfettete Substanz auf 20 bis 30 $\mu\text{mol/g}$ herabzusetzen (LEIN, 1970). **Als glucosinolatarm gelten zur Zeit in der Europäischen Union Rapssorten, die weniger als 30 $\mu\text{mol/g}$ Glucosinolat in der entfetteten Substanz (18 $\mu\text{mol/g}$ im lufttrockenen Samen bei 40 % Öl) enthalten.**

In Rapssamen kommen hauptsächlich Gluconapin, Glucobrassicinapin und Progoitrin vor, die alle drei leberschädigend wirken (SCHUSTER, 1992). Sie sollten deshalb in der Futtermittelanalyse bestimmt werden. Umwelteinflüsse wie Temperatur, Wasserversorgung und Sonneneinstrahlung sowie der Standort und das Anbauverfahren können den sortentypischen Glucosinolatgehalt mehr oder weniger stark beeinflussen. Es ist ferner bekannt, dass eine enge Korrelation zwischen Rohprotein- und Glucosinolatgehalt besteht. Die Glucosinolatwerte erhöhen sich jedoch in geringerem Maße als der Proteingehalt, so dass keine nennenswerte Verschlechterung der Qualität des Rapses zu erwarten ist. Suboptimale Schwefelversorgung der Böden führt zu abnehmenden GSL-Gehalten. Angesichts der niedrigen GSL-Gehalte der gegenwärtig im Anbau befindlichen Rapssorten und des hohen Schwefelbedarfes des Rapses, sollte die Priorität bei der Schwefeldüngung liegen, um Ertragsverluste zu verhindern (SCHULZ und SCHUMANN, 1999). Tabelle 5 zeigt Untersuchungen von SCHUMANN (1994) zum Glucosinolatgehalt in Raps in ausgewählten Bundesländern. In Untersuchungen von SCHUMANN (1994), Tabelle 5, zeigte sich, dass in dem in Sachsen angebauten Raps die größte Variation im Glucosinolatgehalt gefunden wurde (Durchwuchs von glucosinolathaltigem Altraps und Unkräutern).

Tabelle 5: Glucosinolatgehalt von 00-Raps-Partien (Schumann, 1994)

Ernte 1992 Bundesland/Sorte	Untersuchte Schläge	GSL - Gehalte ($\mu\text{mol/g}$ Saat)	
		$\bar{\emptyset}$	von - bis
Mecklenburg-Vorpommern	141	17,9	7 - 49
Sachsen-Anhalt	31	16,0	11 - 25
Sachsen	10	19,9	10 - 75
Thüringen	52	18,4	11 - 29
4 neue Bundesländer, gesamt	234	17,8	7 - 75

Durch die Extraktion werden die Glucosinolate in unterschiedlichem Ausmaß verringert. BILLE et al. (1983) stellten fest, dass nach dem Entzug der Rapsöle nur noch 40 bis 80 % der in der Rapssaat vorhandenen Glucosinolate im Extraktionsschrot wieder gefunden werden, je kg Trockensubstanz liegen die Glucosinolatgehalte im Rapsextraktionsschrot demnach oft höher, da sich die Bezugsba-

sis geändert hat (Ölentzug). In der Übersichtsarbeit von HENKEL und MOSENTHIN (1989) ist der Einfluss der Extraktion auf den Gehalt an Glucosinolaten und deren Spaltprodukte umfassend erläutert.

Die in zwei Milchkühhütterungsversuchen in Köllitsch eingesetzten Rapskuchen- und Rapsextraktionsschrotchargen zeigen, dass die aktuellen Glucosinolatgehalte auch in Sachsen sehr niedrig anzusetzen sind (Tabelle 6).

In Tabelle 6 sind die durchschnittlichen Glucosinolatgehalte der in zwei Milchkühhütterungsversuchen im LVG Köllitsch (1999 - 2001) eingesetzten Rapskuchen und Rapsextraktionsschrote angegeben, es handelt sich um Doppelnullqualität.

Tabelle 6: Durchschnittliche Glucosinolatgehalte des in Milchkühhütterungsversuchen im LVG Köllitsch eingesetzten Rapskuchens (RK) und Rapsextraktionsschrotes (RES), (SCHUMANN, 2002)

Futtermittel	Stoffgruppe	in µmol/g T				
		PRO ¹⁾	GNL ²⁾	GNA ³⁾	GBN ⁴⁾	Summe
	Alkenyl-Glucosinolate					
RK	(Großfriesen)	5,9	< 1 %	2,1	0,4	8,4
RES	(Riesa)	4,7	< 1 %	1,4	< 1 %	6,1
	Indol-Glucosinolate	4-OH ⁵⁾	GBC ⁶⁾	NEO ⁷⁾		
RK	(Großfriesen)	0,6	0,1	0,1		0,8
RES	(Riesa)	2,9	0,2	0,1		3,2
	Sonstige Glucosinolate					
RK	(Großfriesen)					0,4
RES	(Riesa)					< 1 %
	Gesamt Glucosinolate					
RK	(Großfriesen)					9,6
RES	(Riesa)					9,3

¹⁾ Progoitrin

²⁾ Gluconopoleiferin

³⁾ Gluconopin

⁴⁾ Glucobrassicinapin

⁵⁾ 4-Hydroxyglucobrassicin

⁶⁾ Glucobrassicin

⁷⁾ Neoglucobrassicin

Laut futtermittelrechtlichen Vorschriften (WEINREICH et al., 2002) darf der Thiocyanatgehalt im Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot 4.000 mg/kg nicht überschreiten. Die in Milchkühhütterungsversuchen in Köllitsch eingesetzten Chargen Rapskuchen und Rapsextraktionsschrote lagen zwischen 285 und 300 mg/kg (SCHEU, 2000, Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Oldenburg).

3.3 Rapsöl und Endotoxinkonzentration

Endotoxine kommen in unterschiedlichen Konzentrationen in der Luft, im Wasser und im Futter vor. Endotoxinbefunde < 15 µg/g werden hierbei als geringgradig, 15 bis 25 µg/g als mittelgradig und > 25 µg/g als hochgradig kontaminiert eingestuft (KRÜGER et al. 2000). Die größte Endotoxinaktivität

hat der Magen-Darm-Trakt. Insbesondere die mit gramnegativen Bakterien besiedelten Teile sind davon betroffen (PANSEN, ILEUM, DICKDARM). Für die Endotoxinkonzentration im Magen-Darm-Trakt spielt die Futterzusammensetzung eine entscheidende Rolle. Nach KRÜGER et al. (2000) sind fett-haltige Futtermittel in der Lage, die Endotoxinaktivität zu steigern. Während KRÜGER et al. (2000) im Rapsexpeller stark schwankende Endotoxinkonzentrationen (39 bis 448 µg/g) angeben, konnte in den Köllitscher Milchkuhfütterungsversuchen generell eine geringgradige Endotoxinbelastung der Futtermittel festgestellt werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Durchschnittliche Endotoxinkonzentration der in den beiden Milchkuhfütterungsversuchen in Köllitsch eingesetzten Futtermittel (µg/g OS)

Futtermittel	Endotoxin	Futtermittel	Endotoxin
Sojaextraktionsschrot	4,0	Maissilage	2,4
Rapskuchen	3,1	Grassilage	2,7
Rapsextraktionsschrot	4,5	Trockenschnitzel	2,4
Weizenkleie	6,8	Heu	5,4
Gerste	4,5		

4 Zusammenfassung

Die Eigenschaften von Rapssaat, Rapskuchen und Glycerin werden charakterisiert, der Umfang der Biodieselproduktion in Deutschland wird aufgezeigt und die Preisbildung für Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen werden erläutert.

Eine sechs monatige trockene Lagerung von Rapskuchen mit 91,6 % Trockensubstanz und 15,1 % Rohfettgehalt führte zu keinen Qualitätsverlusten (keine Veränderung der Säure- und Peroxidzahl).

Aufgrund des zunehmenden Anbaus von Industrieraps im Freistaat Sachsen sollte der Rapskuchen auch auf den Erucasäuregehalt hin untersucht werden, denn Industrieraps hat keine 00-Qualität, sondern enthält im Fett circa 46 % Erucasäure.

Einfluss von Rapsprodukten auf Futtermittelverzehr, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei Kühen

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Einleitung

Im Weltmaßstab der Eiweißfuttermittelherzeugung liegt Rapsextraktionsschrot an zweiter Stelle hinter Sojaextraktionsschrot, das in der konventionellen Tierproduktion als Leiteiweißfuttermittel gilt. Während es mit Sojaextraktionsschrot in der Regel keine Akzeptanzprobleme gibt, gilt für Rapsfuttermittel das Einhalten der Glucosinolat- und Fetttoleranz. In Tabelle 1 sind Futtermittelanalysenwerte und in Tabelle 2 wichtige Futterwertkennzahlen vom Sojaextraktionsschrot denen von Rapsfuttermitteln gegenüber gestellt.

Tabelle 1: Futtermittelanalysenwerte von Sojaextraktionsschrot im Vergleich zu Rapsfuttermitteln (nach SCHÖNE, 1998), Angaben je kg Originalsubstanz, 90 % Trockensubstanz

		Sojaextraktionsschrot	Rapsextraktionsschrot	Rapskuchen	Rapssaat
Rohprotein	g	440	352	300	203
Lysin	g	27	20	16	12
Methionin/Cystin	g	14	14	12	8
Rohfett	g	30	30	170	396
Rohfaser	g	57	115	105	65
Rohlignin	g	10	85	80	55

Tabelle 2: Wichtige Futterwertkennzahlen des Sojaextraktionsschrotes und der Rapsfuttermittel (laut DLG Tabelle 1997)

Futtermittel	UDP* Anteil %	NEL MJ/kg	nXP g/kg	RNB g/kg
Sojaextraktionsschrot				
- schalenreich	35 (30)	7,40	245	+ 29,1
- „Standard“	35 (30)	7,60	253	+ 31,3
Rapsextraktionsschrot				
- „00“Typ	25 (30)	7,31	219	+ 29
- alte Sorten	25 (30)	6,89	213	+ 29
- alte Sorten aufgefettet	25 (30)	6,88	212	+ 30
Rapskuchen/Expeller				
- „00“Typ, 4 - 8 % Fett	30	7,54	236	+ 26
- „00“Typ, 8 - 12 % Fett	30	7,99	217	+ 25
- „00“Typ, 12 - 20 % Fett	30	8,62	204	+ 23
- „00“Typ, über 20 % Fett	30	9,80	188	+ 25
- alte Sorten, 4 - 8 % Fett	30	7,15	230	+ 27
- alte Sorte, 8 - 12 % Fett	30	7,53	206	+ 24
- alte Sorten, 12 - 20 % Fett	30	8,21	194	+ 23
Rapssaat				
- „00“Typ	20	10,75	100	+ 20
- alte Sorten	20	10,72	98	+ 20

* nach neuesten Untersuchungen zur Proteinabbaubarkeit (SÜDEKUM und SPIEKERS, 2002)

2 Ergebnisse vergleichender Fütterungsversuche mit Hochleistungskühen zum Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot

In einer UFOP-Praxisinformation (SPIEKERS und SÜDEKUM, 2002) sind die aktuellen Versuchsergebnisse verschiedener Einrichtungen zum Einsatz von Rapsextraktionsschrot (RES) im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot (SE) dargestellt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Versuche an Milchkühen zum Einsatz von Rapsextraktionsschrot (RES) im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot (SE), nach SPIEKERS und SÜDEKUM 2002

Einrichtungen	Futterbasis Anteile in der TMR	Fütterung	Einsatzmengen/ Kuh u. Tag	Milch- Menge kg/Tag	Milch- fett %	Milch- eiweiß %
LWZ Haus Riswick, Kleve (NRW)						
Versuch I	1/3 Maissil. 2/3 Grassil.	Einsatz im MLF	SE: 2,3 kg RES: 3,1 kg	31,1 31,3	3,9 3,9	3,1 3,2
Versuch II	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz im MLF	SE: 1,6 kg RES: 2,2 kg	25,2 25,8	4,2 4,1	3,4 3,4
LfL Köllitsch (Sachsen)	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 1,6 kg RES: 2,0 kg	31,2 32,7	3,9 4,0	3,4 3,4
LVA Iden (Sachsen- Anhalt)	40 % Maissil.+LKS 25 % Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 4,0 kg RES: 4,3 kg	40,0 40,5	3,8 3,9	3,3 3,3
Versuchsgut Hülseberg (Schleswig- Holstein)	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 3,7 kg 2/3 RES + 1/3 SE 2,5 kg + 1,5 kg	34,6 35,3	3,7 3,7	3,2 3,2

Alle Rationen wurden mit maisbetonten Rationen durchgeführt. Es zeigt sich, dass bei vollständigem Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot vergleichbar hohe oder höhere Milchleistungen bei Leistungen von über 30 kg je Kuh und Tag erreicht werden können.

Der Versuch im Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden wird von ENGELHARD UND KLUTH (2003) ausführlich beschrieben. Die Zusammensetzung der TMR-Rationen ist in Tabelle 4 angegeben.

Zum Energieausgleich zwischen Sojaextraktionsschrot und Rapsextraktionsschrot wurden der RES-Gruppe circa 220 g (= circa 1 %) pansenstabiles Fett je Kuh und Tag verabreicht.

Die Untersuchungen der Landesanstalt für Landwirtschaft in Köllitsch wurden auf den Einsatz von Rapskuchen in der Milchkuhfütterung erweitert. Im Folgenden werden diese Ergebnisse ausführlicher dargelegt.

Tabelle 4: Zusammensetzung der TMR-Rationen (% T) im Fütterungsversuch des Zentrums für Tierhaltung und Technik Iden (ENGELHARD UND KLUTH, 2003)

Futtermittel (% T)	Sojaextraktionsschrot	Rapsextraktionsschrot
Rapsextraktionsschrot	-	17
Sojaextraktionsschrot	16	-
Futterfett, geschützt	-	1
Gerste	9	8
Lieschkolbenschrotsilage	17	17
Biertrebersilage	7	7
Maissilage	25	24
Grassilage	23	23
Propylenglykol	1	1

Ergänzung mit Mineral- und Wirkstoffmischung

3 Einsatz von Rapskuchen in der Milchkuhfütterung in Köllitsch

3.1 Versuchsanstellung

In einem Fütterungsversuch (Anbindehaltung) erhielten jeweils neun Kühe während der gesamten Laktation als Eiweißfuttermittel ausschließlich Rapsextraktionsschrot beziehungsweise Rapskuchen über die Totale Mischration angeboten. Der Versuch begann im Mittel am 9. und endete am 301. Laktationstag. **Im zweiten Laktationsdrittel wurden die Kühe einzeln gefüttert. Im ersten und dritten Laktationsdrittel musste Gruppenfütterung durchgeführt werden.** Der eingesetzte Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot hatte 00-Qualität (9,6 µmol/g beziehungsweise 9,3 µmol/g).

Es wurden folgende Futtermittel eingesetzt (Tabelle 5).

Die verwendeten Kraftfuttermittel wiesen die für sie charakteristischen Rohnährstoffgehalte auf. Rapskuchen enthielt mit 15,1 % Rohfett gegenüber Rapsextraktionsschrot etwa die 3fache Menge an Rohfett.

Maissilage und Heu wurden unter Einhaltung der für diese Futtermittel optimalen Schnittzeitspannen geerntet. Das weisen die Rohfasergehalte aus. Das Ausgangsmaterial für die Grasanweilksilage war beim Schnitt bereits überständig.

Alle Futtermittel waren sensorisch nicht auffällig. Die Glucosinolatgehalte der Rapsverarbeitungsprodukte lagen deutlich unter den neuen von der EU-Marktordnung vorgegebenen Grenzwerten.

Tabelle 5: Futtermittelkenndaten der Rationskomponenten bei vergleichender Prüfung von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen als Eiweißfuttermittel für Milchkühe in Köllitsch

Futtermittel	T g/kg	in 1.000 g Trockenmasse (T)												
		XA	OM	XP	XL	XF	NFE	ADL	ADF	NDF	nXP	RNB	NEL MJ	
Grasanweilksilage (1. Schnitt)	388	100	900	196	38	304	389	61	353	493	134	10	5,58	
Maissilage	322	45	95,5	76	36	170	673	19	197	349	130	-9	6,52	
Wiesenheu (1. Schnitt)	860	81	919	139	23	244	500	43	256	428	145	-1	6,71	
Rapskuchen	916	65	935	348	151	139	298	n.b.	n.b.	n.b.	246	16	8,58	
Raps-Extr.-Schrot	874	74	926	390	56	152	372	n.b.	n.b.	n.b.	229	27	7,25	
Wintergerste	891	25	975	128	29	58	761	n.b.	n.b.	n.b.	169	-7	8,42	
Weizenkleie	895	54	946	182	48	100	621	n.b.	n.b.	n.b.	151	5	6,02	
Trockenschnitzel	891	106	894	102	16	188	588	n.b.	n.b.	n.b.	148	-7	7,08	

T=Trockenmasse, XA=Rohasche, OM=Organische Masse, XP=Rohprotein, XL=Rohfett, XF=Rohfaser, NFE=Stickstofffreie Extraktstoffe, ADL=acid detergent, Lignin, ADF=Säure-Detergentien+Faser, NDF=neutral detergent fiber, nXP=nutzbares Rohprotein, RNB=ruminale Stickstoffbilanz, NEL=Nettoenergie-Laktation

Die Zusammensetzung der Futtermischung (Tabelle 6) blieb - dem Prinzip der totalen Mischration folgend - während der gesamten Versuchszeit gleich, auch um ggf. einen Langzeiteffekt der Versuchsfuttermittel (Rapskuchen, Rapsextraktionsschrot) feststellen zu können.

Tabelle 6: Zusammensetzung der täglichen Futtermischung (Totale-Misch-Ration)

Gruppen-Versuchsfutter (TMR)	Rapskuchen kg T	Rapsextraktionsschrot kg T
Grundfutter		
Grasanweilsilage	2,51	2,51
Maissilage	5,48	5,48
Heu	0,86	0,86
Kraftfutter		
Gerste	8,02	8,02
Weizenkleie	0,90	0,90
Trockenschnitzel ¹⁾	1,78	1,78
Rapskuchen	2,29	
Rapsextraktionsschrot		2,01
MSG 004	0,20	0,20
Blattin	0,20	0,20

¹⁾ bis durchschnittlich 87. Versuchstag Pressschnitzelsilage

Zur Ermittlung der Milchleistung wurden 14tägig Einzelkuhkontrollen durchgeführt. Der Gehalt der Milch an Fett, Eiweiß, Harnstoff und die Zellzahl wurden im Abstand von vier Wochen bestimmt.

3.2 Trockenmasse- und Roh Nährstoffaufnahme

Trockenmasse (T)- und Roh Nährstoffaufnahme (RN) sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Durchschnittliche Trockenmasse- und Roh Nährstoffaufnahme je Kuh und Tag (100-tägiger Einzelfütterungsabschnitt)

T- und RN- Aufnahme (kg)	Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Trockenmasse	20,41	20,53
Trockenmasse/100 kg LM	3,14	3,00
Rohprotein	2,94	2,89
Rohfett	0,91	0,71
Rohfaser	3,05	3,08
Strukturwirksame Rohfaser	2,15	2,20
Strukturwirksame Rohfaser/100 kg LM	0,32	0,32
NFE	12,26	12,38

Der Rapsextraktionsschroteinsatz erhöhte im Vergleich zum Rapskucheneinsatz die tägliche TM-Aufnahme der Kühe um durchschnittlich 120 g. Bereits nach 122 Laktationstagen konnte bei allen Kühen eine Lebendmassezunahme registriert werden, die sich in den folgenden Monaten fortsetzte (Tabelle 8).

Tabelle 8: Lebendmasseentwicklung der Kühe während der Laktationsperiode

Parameter (kg)	Rapskuchengruppe	Rapsextraktionsschrotgruppe
Lebendmasse zu Versuchsbeginn	626	660
Lebendmasse am 216. Versuchstag	677	697
LMZ	51	37

Am durchschnittlich 28. Tag nach dem Abkalben wurde in den beiden Versuchsgruppen im Mittel nahezu die gleiche Milchmenge gemessen (Abbildung 1).

In der Rapsextraktionsschrotgruppe blieb sie bis zur Probenahme am 87. Tag post partum fast gleich. Danach fiel die Milchmenge in beiden Gruppen kontinuierlich bis zum Versuchsende ab. In der Rapskuchengruppe stieg die durchschnittliche Milchmenge je Kuh und Tag bis zur Kontrolle am 87. Laktationstag weiter an; der Kulmunationspunkt lag zwischen dem 87. und 119. Laktationstag.

Die Kühe der Rapskuchengruppe erreichten mit 9.260 kg die höchste durchschnittliche Milchleistung in der Laktation. In der Rapsextraktionsschrotgruppe wurden durchschnittlich 8.430 kg als Laktationsleistung registriert. Trotz der geringeren Milchmenge produzierten die Kühe der Rapsextraktionsschrotgruppe in 301 Laktationstagen mehr Milchfett (368 kg) als die Kühe der Rapskuchengruppe (351 kg).

In der Rapsextraktionsschrotgruppe wurden ab der Milchkontrolle am 119. Laktationstag Milchfettgehalte um etwa 4 % gemessen, die dann - in der Regel Laktationsstand bedingt - kontinuierlich bis zum Versuchsende weiter anstiegen. In der Rapskuchengruppe erreichte der Milchfettgehalt die „4-%-Grenze“ erst am 238. Laktationstag. Auch in dieser Gruppe stieg der Milchfettgehalt weiter an, blieb aber immer deutlich unter dem der Rapsextraktionsschrotgruppe zurück (Abbildung 2).

In der Rapskuchengruppe wurde gegenüber der Rapsextraktionsschrotgruppe ab dem 56. Laktationstag bis zum Ende des Versuches (301. Laktationstag) kontinuierlich ein geringerer Milcheiweißgehalt gemessen (Abbildung 3). Unter 3,5 % lag der Eiweißgehalt der Milch in der Rapsextraktionsschrotgruppe bis zur Milchkontrolle am 56. Laktationstag, in der Rapskuchengruppe hingegen bis zum 119. Tag nach dem Abkalben. Offenbar besteht in der Rapskuchengruppe trotz des aus Futterraufnahme und Analysekenndaten errechneten über den Empfehlungen liegenden Rohproteinverzehr ein Aminosäuredefizit für die Milchproteinsynthese.

Die Rapskuchengruppe und Rapsextraktionsschrotgruppe erzeugten - trotz der bestehenden Milchmengendifferenz - die gleiche Milcheiweißmenge (320 beziehungsweise 319 kg).

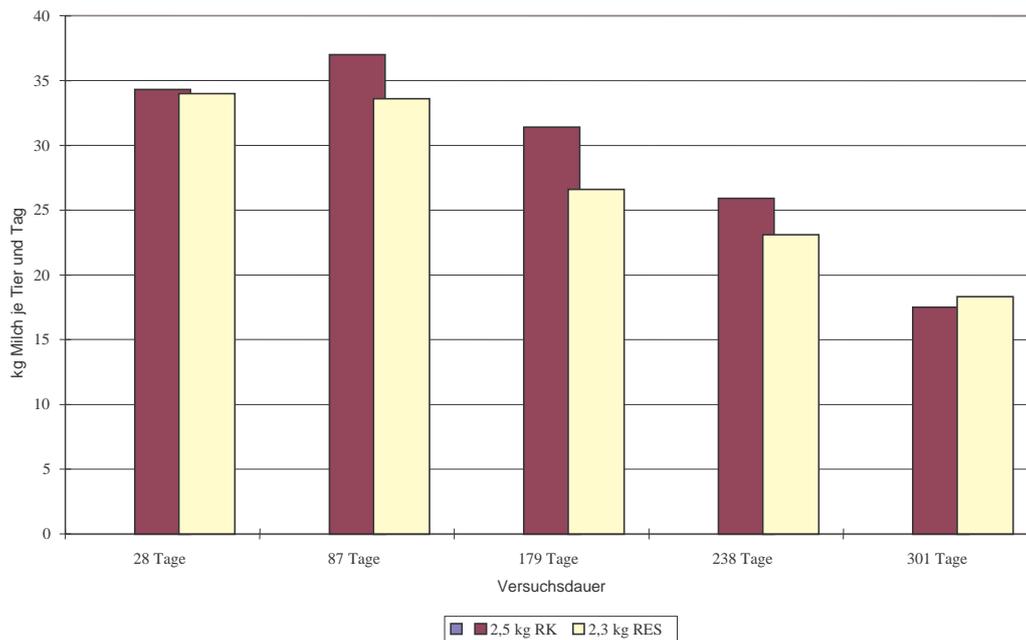


Abbildung 1: Veränderung der Milchmengenleistung im Versuchsverlauf

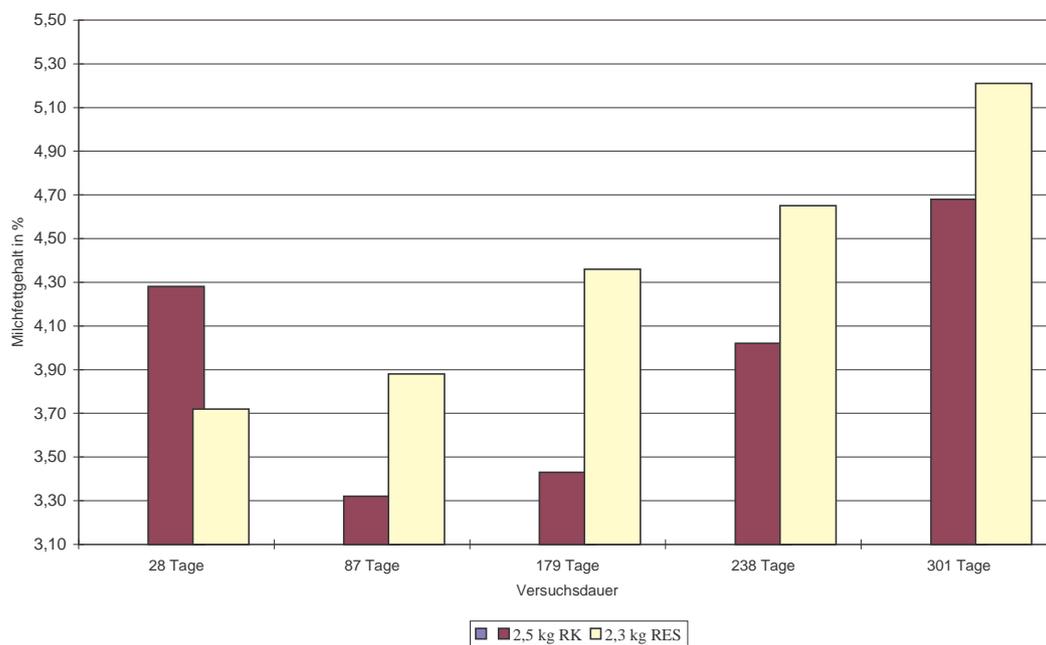


Abbildung 2: Veränderung des Milchfettgehaltes im Versuchsverlauf

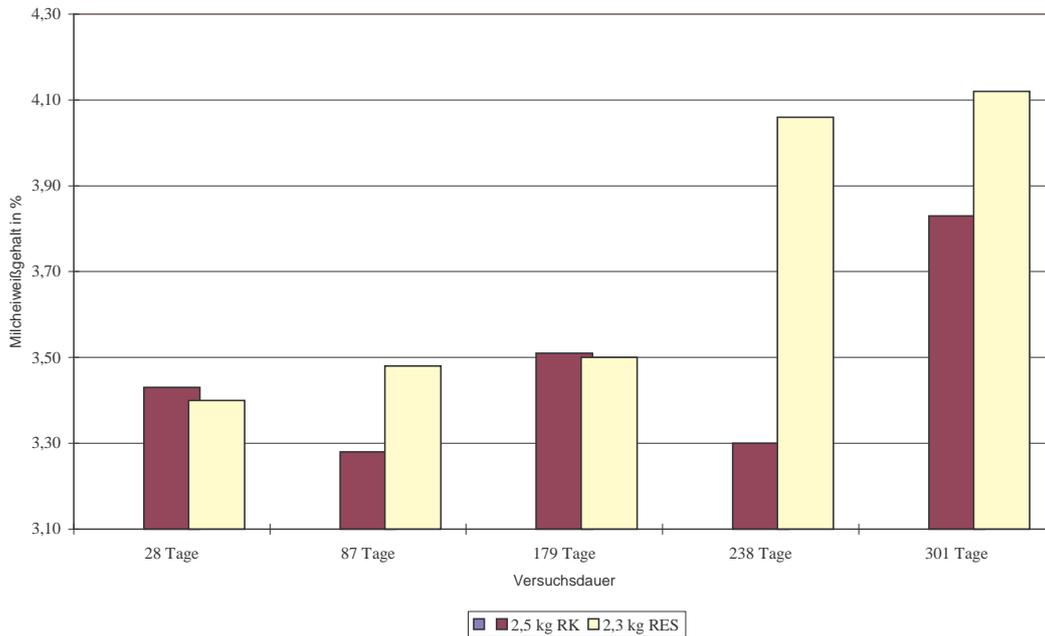


Abbildung 3: Veränderung des Milcheiweißgehaltes im Versuchsverlauf

Die durchschnittliche Milchleistung, der durchschnittliche Fett- und Eiweißertrag und die durchschnittlichen Gehalte an Laktose und Harnstoff sind in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9: Durchschnittswerte von Milchleistung, Fett- und Eiweißertrag, Laktose und Harnstoffgehalt im Versuchszeitraum

Versuchsfutter			Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Anzahl Kühe n			9	9
Parameter				
Milchmenge	kg	Ø	9.260,00	8.430,00 ⁺
		s	227,00	264,00
Fett	%	Ø	3,79	4,37
		s	0,77	0,72
Eiweiß	%	Ø	3,46	3,78
		s	0,32	0,36
Lactose	%	Ø	4,84	4,85
		s	0,22	0,26
Harnstoff	mg/l	Ø	171,00	184,00
		s	51,00	51,00
Fett	kg	Ø	351,00	368,00 ⁺
		s	71,00	61,00
Eiweiß	kg	Ø	320,00	319,00
		s	29,00	31,00

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Der Grad der Proteinversorgung wird im Harnstoffgehalt der Milch sichtbar. Für den geprüften Zeitraum (2. Laktationsdrittel) gilt bei einem Eiweißgehalt von > 3,2 % für ausgewogene Fütterung ein Milchwarnstoffgehalt von 150 bis 250 mg/l. Beide Fütterungsgruppen liegen in diesem Bereich.

Der Laktosegehalt der Milch lag im Referenzbereich. Es bestanden keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Rapsextraktionsschrotgruppe blieb bei den Kontrollen am 56., 119., 150. und 179. Laktationstag unter 200.000 Zellen je ml Milch. In der Rapskuchengruppe wurde diese Toleranzgrenze im Verlauf der Laktation teilweise erheblich überschritten.

3.3 Zusammenfassung

Der in der Biodieselanlage Großfriesen bei Plauen als Nebenprodukt anfallende Rapskuchen wurde in der Milchkuhfütterung - als Bestandteil der totalen Mischration - vergleichend zum Rapsextraktionsschrot aus der Ölmühle Riesa, während der gesamten Laktationszeit eingesetzt.

Es wurden folgende durchschnittliche Milchleistungen erzielt:

Variante	Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Milchmenge	9.260 kg	8.430 kg
Milchfettmenge	351 kg	368 kg
Eiweißmenge	320 kg	319 kg

Die höheren Erträge im Milchfett bei Einsatz von Rapskuchen sind auf die erhöhte Milchmengenleistung in dieser Gruppe zurückzuführen. **Rapskuchenfütterung senkt die Milchfett- und Eiweißgehalte. Durch die erhöhte Milchmenge bei der Rapskuchenfütterung wird jedoch die gleiche Milcheiweißmenge produziert.**

Einfluss von Rapsöl auf die Milchfettqualität

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch,
Dr. Dr. Ernst Boldt, Dr. José Ross Dayves, Prof. Dr. Jürgen Gropp, Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

1 Einleitung

Butter ist mit 6,8 kg (= 5,7 kg Reinfett/Person und Jahr) am Pro Kopf-Verbrauch von 27 kg Nahrungsfett zu einem Fünftel beteiligt (BMELF, 1997). Das Fettsäuremuster von Butterfett besteht zu zwei Drittel aus gesättigten Fettsäuren. **Streichfähig wird Butter durch kurz- und mittelkettige Fettsäuren**, d. h. Buttersäure, Capronsäure, Caprylsäure, Caprinsäure, sowie einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren, besonders Ölsäure (C 18:1 bis 9). Weniger streichfähige Butter enthält relativ viel gesättigte Fettsäuren, wie Laurinsäure (C 12:0) und Myristinsäure (C 14:0), besonders aber Palmitinsäure (C 16:0). **Streichfähige Butter wird ernährungsphysiologisch günstiger beurteilt als harte Butter.**

Das Rapsöl der heutigen 0- oder 00-Sorten ist überwiegend aus ungesättigten Fettsäuren zusammengesetzt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Durchschnittlicher Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren im Milchfett (%) bei Rapskuchen bzw. Rapsextraktionsschrotfütterung

Fettsäure		Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
C 14:1	Myristolein n5	1,29 ± 0,32	1,43 ± 0,21
C 16:1	Palmitolein n7	2,02 ± 0,22	2,27 ± 0,19
C 17:1	Heptadecen n7	0,29 ± 0,07	0,34 ± 0,07
C 18:1	Elaidin n9 tr.	0,62 ± 0,18	0,31 ± 0,02 [†]
C 18:1	Vaccens. n7 tr	3,26 ± 1,61	1,07 ± 0,23 [†]
C 18:1	n12 Petrosellin	0,43 ± 0,09	0,30 ± 0,04
C 18:1	Ölsäure n9 cis	18,61 ± 1,69	14,61 ± 0,59 [†]
C 18:1	Vaccens. n7 cis	1,07 ± 0,23	0,90 ± 0,11
C 20:1	Eicosensäure n9	0,12 ± 0,04	0,05 ± 0,01 [†]
C 22:1	Erucasäure n9	0,08 ± 0,01	0,04 ± 0,02

[†]signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Erstens dominiert bei der Bereitstellung von Fettsäuren für das Milchfett immer die Eigensynthese, inbegriffen ein Zufluss von Fettsäuren, die ihren Ursprung im Körperfettdepot haben. Die aus dem Dünndarm absorbierten und in das Milchfett eingebauten Fettsäuren können den körpereigenen Fettsäureanteil aus Synthese bzw. Lipolyse lediglich mindern.

Das Milchfett besteht normalerweise zu ca. 50 % aus kurz- und mittellangkettigen Fettsäuren, die im Euter synthetisiert werden, 35 % der Fettsäuren - vorwiegend langkettige - stammen direkt vom Futterfett und der Rest (15 %) wird dem Euter aus abgebautem Körperfett (überwiegend Ölsäure) zugeführt.

Die veränderten Fütterungsbedingungen der letzten Jahre, gekennzeichnet durch fettarme und stärkereiche Futtermittel wie Maissilage, Getreide-Ganzpflanzen-Silage und hofeigene Getreidemischungen, tragen dazu bei, dass der Anteil mittellangkettiger Fettsäuren aus der Eutereigensynthese zunimmt und weniger ungesättigte, langkettige Fettsäuren, vom Futter stammend, ins Milchfett übergehen. Als Folge davon können die Molkereien trotz spezifischer Techniken besonders im Winter keine Butter mit ausreichender Streichfähigkeit produzieren.

Während der Pansenpassage werden die ungesättigten Fettsäuren in ihrer Isomeren-Konfiguration (Transfettsäurenbildung) und im Sättigungsgrad (Hydrierung) verändert. Die verbleibenden ungesättigten Bindungen in den Fettsäuren führen nach der Absorption in den Tierkörper zu einer deutlichen Erhöhung des Gehaltes an einfach ungesättigten Fettsäuren (C 18:1) im Milchfett auf Kosten der gesättigten Palmitinsäure.

Der zunehmende Marktanteil der irischen Butter begründet sich in der wesentlich besseren Streichfähigkeit aufgrund des fast ganzjährigen Weidens der Kühe bzw. des hohen Grassilageeinsatzes (höherer Anteil ungesättigter Fettsäuren). Mit der Verfütterung von Rapskuchen kann die Beeinflussung der Fettsäurezusammensetzung des Milchfettes in diese Richtung noch effektiver erfolgen.

2 Versuchsanlage

Im unter Punkt „Einsatz von Rapsprodukten auf Futtermittelverzehr, Milchleistung und Milchinhaltsstoffen bei Kühen“ beschriebenen Versuch wurden von fünf Kühen jeder Versuchsgruppe Milchproben entnommen (aliquote Gemische aus Morgen- und Abendmilch). Sie dienten zur Bestimmung des Fettsäuremusters im Milchfett.

3 Versuchsergebnisse und Diskussion

Das Milchfett der Kühe, deren TMR Rapskuchen enthielt (RK-Gruppe) wies gegenüber den Kühen mit proteinäquivalenten Anteilen an Rapsextraktionsschrot einen um 8,3 % geringeren Gehalt an gesättigten Fettsäuren auf.

Im Einzelnen betrifft das folgende - meist kurzkettige - Fettsäuren:

Buttersäure (C 4:0), Capronsäure (C 6:0), Caprinsäure (C 10:0), Undecansäure (C 11:0), Laurinsäure (C 12:0), Tridecansäure (C 13:0), Myristinsäure (C 14:0), Pentadecansäure (C 15:0), Palmitinsäure (C 16:0) und die Margarinsäure (C 17:0).

Dagegen waren im Milchfett der Rapskuchengruppe die verzweigt-kettigen Fettsäuren (C 14:0 und C 17:0 - Fettsäuren) sowie die C 18:0 (Stearinsäure), C 19:0 (Nonadecansäure) und die C 20:0 (Arachinsäure) zu größeren Anteilen enthalten als die im Milchfett der Rapsextraktionsschrotgruppe (Tabelle 2).

Tabelle 2: Durchschnittlicher Anteil gesättigter Fettsäuren im Milchfett (%)

Fettsäure		Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
C 4:0	Buttersäure	3,25 ± 0,43	3,46 ± 0,50
C 6:0	Capronsäure	2,33 ± 0,38	2,58 ± 0,13
C 8:0	Caprylsäure	1,57 ± 0,22	1,69 ± 0,04
C 10:0	Caprinsäure	3,28 ± 0,63	3,35 ± 0,42
C 11:0	Undecansäure	0,45 ± 0,10	0,66 ± 0,13
C 12:0	Laurinsäure	4,47 ± 0,80	4,86 ± 0,62
C 13:0	Tridecansäure	0,39 ± 0,08	0,53 ± 0,12
C 14:0	iso verzweigtk	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01
C 14:0	anteiso verzwk	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,02
C 14:0	Myristinsäure	12,16 ± 0,64	12,28 ± 1,02
C 15:0	iso verzweigtk	0,16 ± 0,02	0,16 ± 0,03
C 15:0	anteiso verzwk	0,49 ± 0,04	0,47 ± 0,03
C 15:0	Pentadecansäure	1,80 ± 0,28	2,60 ± 0,50
C 16:0	Palmitinsäure	25,71 ± 2,17	33,35 ± 2,49
C 17:0	iso verzweigtk	0,39 ± 0,04	0,33 ± 0,02
C 17:0	anteiso verzwk	0,22 ± 0,02	0,17 ± 0,02
C 17:0	Margarinsäure	0,82 ± 0,08	1,04 ± 0,10
C 18:0	Stearinsäure	8,44 ± 0,39	7,03 ± 0,32
C 19:0	Nonadecansäure	0,33 ± 0,15	0,16 ± 0,02
C 20:0	Arachinsäure	0,15 ± 0,01	0,12 ± 0,01
C 22:0	Behensäure	0,07 ± 0,00	0,06 ± 0,01
C 23:0	Tricosansäure	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,01

Da die Pansenmikroben die Ölsäure in hohem Maße hydrieren, gelangen ungesättigte Fettsäuren nicht in vollem Umfang in den Dünndarm. Ausdruck einer ruminalen Hydrierung der im Rapsöl dominierenden ungesättigten C 18:1 Fettsäuren dürfte der bei der Rapskuchenfütterung signifikant erhöhte Stearinsäureanteil (C 18:0) sein.

Die einfach ungesättigten Fettsäuren waren im Milchfett der Rapskuchengruppe insgesamt höher als in der Rapsextraktionsschrotgruppe. Das betraf insbesondere folgende Fettsäuren: C 18:1 (Elaidin n9), C 18:1 (Vaccensäure n7), C 18:1 (Petroselin n12), C 18:1 (Ölsäure n9), die Eicosensäure und die Erucasäure (Tabelle 1).

Butter mit einem engeren Palmitinsäure - Ölsäureverhältnis besitzt nach SCHÖNE et al. (1998) eine bessere Streichfähigkeit. In den vorliegenden Untersuchungen bewirkte der Rapskucheneinsatz ein derartig engeres Verhältnis als bei Einsatz von Rapsextraktionsschrot.

Aus den cis-Formen entstehen durch die Umlagerung der Doppelbindung die trans-Isomere. Diese weisen aufgrund der veränderten räumlichen Anordnung der Atome ein unterschiedliches chemisch-physikalisches Verhalten auf. **Die trans-Isomere können die Funktionen der essentiellen**

Fettsäuren nicht erfüllen (z. B. bei Umwandlung der Linolsäure in die trans-Form). **Große Mengen an trans-Fettsäuren können die cis-Formen der essentiellen Fettsäuren aus den Enzymen verdrängen.** Weitere Wirkungen der verschiedenen trans-Fettsäuren sind noch nicht bekannt. Trans-Fettsäuren verhalten sich im Hinblick auf das LDL-Cholesterin wie gesättigte Fettsäuren, senken aber auch das HDL-Cholesterin. Trans-Fettsäuren werden wie die cis-Fettsäuren über die β -Oxidation verstoffwechselt.

Trans-Fettsäuren werden bei der partiellen Härtung von ungesättigten Fettsäuren gebildet (z. B. gehärtete Öle bei der Margarineherstellung).

Trans-Fettsäuren entstehen auch bei der mikrobiellen Hydrierung im Pansen von Wiederkäuern. Praktisch frei von trans-Fettsäuren sind alle Pflanzenöle bzw. Fette von Tieren, die keine Wiederkäuer sind (z. B. Schweine- und Gänsefett). Auch Diät- und Reformhausmargarinen sind praktisch frei bzw. enthalten kaum trans-Fettsäuren.

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren fanden sich im Milchfett der Rapskuchengruppe ebenfalls zu größeren Anteilen als im Milchfett der Rapsextraktionsschrotgruppe; es handelt sich dabei vor allem um drei Formen der C 18:2-Fettsäure (Tabelle 3).

Tabelle 3: Durchschnittlicher Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren im Milchfett (%)

Fettsäure		Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
C 18:2	n6,9 trans/cis	0,25 ± 0,03	0,16 ± 0,03
C 18:2	n6,9 cis/trans.	0,25 ± 0,15	0,09 ± 0,01
C 18:2	n6,9 all-cis	1,78 ± 0,40	1,71 ± 0,08
C 18:3	Linolensäure n6	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,02
C 18:3	Linolensäure n3	0,40 ± 0,07	0,34 ± 0,01
C 20:3	Eicosatrien n6	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,02
C 20:3	Eicosatrien n3	0,05 ± 0,00	0,11 ± 0,00
C 20:4	Arachidons. n6	0,13 ± 0,02	0,15 ± 0,02
C 20:5	Eicosapentaen	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,00

Eine zusammenfassende Übersicht liefert Tabelle 4.

Tabelle 4: Durchschnittlicher Anteil gesättigter, einfach ungesättigter und mehrfach ungesättigter Fettsäuren im Milchfett (%)

Versuchsfutter Anzahl Kühe	Rapskuchen 9	Rapsextraktionsschrot 9
Gesättigte Fettsäuren	66,72 ± 8,78	75,08 ± 6,57 ⁺
einfach ungesättigte Fettsäuren	27,79 ± 4,46	21,32 ± 1,48 ⁺
mehrfach ungesättigte Fettsäuren	3,04 ± 0,71	2,78 ± 0,19 ⁺

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Der nachgewiesene höhere Fettgehalt an einfach und zweifach ungesättigten Fettsäuren im Milchfett nach Rapskuchenfütterung korrespondiert mit verringerter Milchfetthärte. **Die Milchsensiorik wurde weder durch Rapskuchen- noch durch Rapsextraktionsschrotfütterung nachteilig beeinflusst** (Tabelle 5).

Tabelle 5: Sensorische Parameter¹⁾, Milchfetthärte¹⁾ und Acetongehalt der Milch²⁾

Parameter Probenanzahl	Rapskuchen 15	Rapsextraktionsschrot 13
Aussehen	5	5
Geruch	5	5
Geschmack	4,53	4,38
Milchfetthärte (Kraftpenetrometer) PE-Wert MLUA-0)	144[†] ± 89	218 ± 131
Acetongehalt mmol/l	0	0

[†] **p < 0,05** **Punkte nach DLG**

Aussehen: milchweiße Flüssigkeit, einwandfrei, produkttypisch 5
 Geruch: rein, einwandfrei, produkttypisch 4 bis 5
 Geschmack: rein, einwandfrei, produkttypisch 5

¹⁾ Milchwirtschaftliche Lehr- und Untersuchungsanstalt Oranienburg e.V.

²⁾ LKV Sachsen

Wenn das Kraftfutter Rapskuchen enthält, kann offenbar eine besser streichfähige Butter erzeugt werden, als bei proteinäquivalenter Verwendung von Rapsextraktionsschrot. Von kardiophysiologischem Interesse ist, dass die Milch von Kühen mit Rapskuchen im Kraftfutter deutlich höhere Werte an Omega-6-Fettsäuren enthält (Tabelle 6).

Tabelle 6: Durchschnittlicher Gehalt an Omega-3- und Omega-6- Fettsäuren im Milchfett

Versuchsfutter	Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Anzahl Kühe	9	9
Omega-3-FS	0,45 ± 0,03	0,45 ± 0,01
Omega-6-FS	2,53 ± 0,11	2,28 ± 0,03
Summe	2,98 ± 0,09	2,73 ± 0,05

Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren sind als essentielle Nahrungsbestandteile lebensnotwendig, die Empfehlungen liegen bei 10 g bzw. 1 g pro Tag. Darüber hinaus haben diese Fettsäuren auch eine präventive Wirkung im Sinne der Verhütung von Arteriosklerose und Krebs.

Der wachsende Organismus benötigt höhere Mengen langkettiger Omega-3-Fettsäuren als Strukturbestandteile des Nervengewebes. Beim Erwachsenen kann der Bedarf an Omega-3-Fettsäuren in Form von α -Linolensäure gedeckt werden, aus der die langkettigen Omega-3-Fettsäuren gebildet werden können (WOLFRAM, 1989).

Aus Tierexperimenten, Untersuchungen an Kulturen menschlicher Zellen und einigen klinischen Studien kann abgeleitet werden, dass das derzeitige Verhältnis von Omega-6- und Omega-3-

Fettsäuren in unserer Ernährung von 8:1 auf das Verhältnis 5:1 verändert werden sollte. Die Zufuhr an Omega-6-Fettsäuren sollte auch höher als die von Omega-3-Fettsäuren sein, da die Affinität zu den kettenverlängernden Enzymen bei den Omega-6-Fettsäuren geringer ist als bei den Omega-3-Fettsäuren. Das Verhältnis beider Fettsäuren zueinander ist oberhalb der Bedarfsdeckung wichtiger als die absoluten Mengen. Deshalb sollte die Zufuhr von Omega-3-Fettsäuren-haltigen Ölen bevorzugt werden (Rapsöl, Sojaöl, Seefische).

Durch den Einsatz von Rapskuchen in der Milchküfütterung gelang es, den Anteil an gesättigten Fettsäuren (Laurinsäure, Myristinsäure, Palmitinsäure) im Milchfett zu senken. Der Anteil an ungesättigten Fettsäuren (Ölsäure, Linolsäure), und der Anteil an ernährungsphysiologisch als wertvoll einzuschätzenden Stearinsäure konnten wesentlich erhöht werden.

Durch die Rapskuchenverfütterung kann für den Verbraucher ein verbessertes Milchfett mit hohem Qualitätsstandard angeboten werden, das sich vorteilhaft auf die Ernährung auswirkt.

Die Molkereigenossenschaft Schwarza e. G. Thüringen hat ein Verfahren zum europaweiten Patent angemeldet, um aus dem durch Rapsöl beeinflussten Milchfett spezielle Produkte unter der Marke „Herzgut“ zu vermarkten. Mit der Entwicklung und Einführung der „Herzgut“-Produkte beabsichtigt die Molkereigenossenschaft Schwarza e. G. die Wertschöpfung bei der Milchverarbeitung zu erhöhen. Der Produzent der „Herzgut“-Milch erhält in Abhängigkeit von der Verbesserung der Fettsäurenstruktur einen Zuschlag für die Rohmilch.

Dadurch gelingt es, eine stärkere Bindung zwischen landwirtschaftlicher Primärproduktion und Verarbeitungsindustrie mit dem Ziel einer höheren Wertschöpfung zu schaffen.

4 Zusammenfassung

Es wird über den Einfluss der Rapskuchenfütterung bei Milchkühen auf die Fettsäurezusammensetzung des Milchfettes berichtet.

Ab 350 g Rapsöl je Milchkü und Tag (2,3 kg Rapskuchen mit 15 % Fett), wird im Milchfett eine Verringerung der gesättigten und eine Erhöhung der ungesättigten Fettsäuren erreicht. Daraus kann besser streichfähige „Rapsbutter“ hergestellt werden, die im Hinblick auf die Gesundheit des Verbrauchers günstiger eingeschätzt werden kann.

Einsatz von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen bei Milchkühen unter besonderer Berücksichtigung des peripartalen Zeitraumes sowie Beurteilung der Kolostrumqualität und Kälberentwicklung

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Zielstellung

Prüfung des Langzeiteinflusses der Verfütterung von Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot auf Milchleistung und Gesundheit der Kühe, sowie auf sensorische und analytische Milchqualitätsparameter (einschließlich Kolostrumqualität), auf Geburtsgewicht, Vitalität und Gesundheit der Kälber.

2 Material und Methoden

2.1 Milchkühe

Tabelle 1 enthält Angaben zum Versuchsaufbau.

Tabelle 1: Versuchsanlage

Fütterungsvariante	Kuhzahl	Fütterung 2 x täglich	Haltung
Rapskuchen ¹⁾ (RK)	15 ²⁾	TMR ³⁾	Laufstall Köllitsch
Rapsextraktionsschrot ¹⁾ (RES)	15 ²⁾	TMR ³⁾	Betonspaltenboden und Mattenliegeflächen

¹⁾ Die Kühe wurden 3 Wochen vor dem Abkalben mit Rapskuchen- bzw. rapsextraktionsschrothaltigem Kraftfutter angefüttert. Die Kraftfuttergabe wurde wöchentlich um 1 kg gesteigert.

²⁾ Einzeltierwägung zu Versuchsbeginn und danach im vierwöchigen Abstand, Blutprobennahme von jeweils 10 Kühen der Rapskuchen- und Rapsextraktionsschrotgruppe, 3 Wochen a.p., 10, 20 und 40 Tage p.p., dreimalige Pansensaftentnahme in der 1. und 2. Laktationshälfte.

³⁾ Zusätzlich leistungsbezogene Kraftfutterzuteilung über Transponderabrufstation.

Das TMR Restfutter wurde wöchentlich zweimal gruppenweise erfasst. Sammelproben der eingesetzten Futtermittel wurden vierwöchentlich auf ihren Rohnährstoffgehalt analysiert. Der Glucosinolat- und Isothiocyanatgehalt der Rapsprodukte wurde einmal je Charge untersucht.

Die Milchleistung aller Versuchskühe wurde durch die vierwöchentliche Milchleistungsprüfung des LKV Sachsen erfasst.

Die Zusammensetzung der Totalen-Misch-Ration (TMR) zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Durchschnittliche Zusammensetzung der TMR (kg T je Kuh und Tag)

Futtermittel	1. Laktationshälfte	2. Laktationshälfte
Maissilage	5,6	7,5
Grassilage	4,0	4,6
Pressschnitzelsilage	1,9	2,2
Heu	1,4	1,0
Gerste	3,4	1,0
Weizenkleie	0,4	1,0
MLF 18/4	1,6 ¹⁾	1,0 ²⁾
Sojaextraktionsschrot	1,3	-
RK bzw. RES	1,8/1,7	1,2/1,0
Mineralfutter	0,15	0,12
Summe (Angebot)	21,6/21,5	19,6/19,4

¹⁾ leistungsabhängig über Transponderabruf mit 20 % Rapskuchen bzw. 18 % RE-Gehalt

²⁾ Bestandteil der TMR

Die entsprechenden Futtermittelkennndaten enthält Tabelle 3. Die Glucosinolatgehalte der eingesetzten Rapskuchen- bzw. Rapsextraktionsschrotchargen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 3: Trockenmasse-, Nährstoff- und NEL - Gehalt der eingesetzten Futtermittel

	T g/kg	in 1.000 g Trockenmasse (T)										NEL MJ
		XA g	OM g	XP g	XL g	XF g	NFE g	nXP g	RNB g			
Wiesengrassilage	Ø	94,0	906,0	154,0	47,0	300,0	406,0	132,0			3,5	5,70
	S	6,6	6,5	15,3		21,8	34,4	1,1			2,2	0,10
Maissilage	Ø	43,0	957,0	81,0	31,0	185,0	660,0	133,0			-8,0	6,70
	S	2,0	2,0	1,1		9,5	10,5	1,6			0,4	0,10
Wiesenheu	Ø	70,0	930,0	97,0	24,0	319,0	490,0	113,0			-3,0	4,80
	S	0,9	0,9	3,7		3,4	5,1	0,8			0,5	0,20
Pressschnitzel	Ø	48,0	952,0	98,0	11,0	208,0	635,0	15,0			-8,0	7,60
	S	13,2	12,8	6,9	3,1	13,2	16,5					
Sojaextr.schrot	Ø	68,0	932,0	503,0	25,0	96,0	308,0	292,0			34,0	8,67
	S	0,8	0,9	7,3	4,6	5,4	12,5					0,00
Rapskuchen	Ø	78,0	922,0	342,0	157,0	159,0	265,0	204,0			22,0	8,52
	S	24,1	24,1	13,2	19,7	11,2	29,8					0,28
Rapsextr.schrot	Ø	77,0	923,0	393,0	45,0	158,0	327,0	242,0			24,0	7,42
	S	3,5	3,5	15,9	3,7	7,5	17,1					
Wintergerste	Ø	26,0	924,0	135,0	31,0	69,0	739,0	166,0			-5,0	8,07
	S	0,4	0,4	4,3	4,5	10,9	10,0					0,30
Weizenkleie	Ø	55,0	945,0	171,0	49,0	119,0	605,0	148,0			4,0	5,99
	S	3,9	3,9	8,3	3,1	22,6	30,8					0,02
Milchleistungsfutter	Ø	64,0	936,0	205,0	37,0	75,0	618,0	155,0			3,0	6,90
	S	2,3	2,3	3,3	2,5	7,5	8,7					
Rapskuchen-Pellets	Ø	62,0	938,0	167,0	39,0	76,0	585,0	153,0			2,0	8,27
	S	1,8	1,8	11,0	15,0	14,4	54,2					
Rex-Pellets	Ø	63,0	937,0	172,0	34,0	93,0	638,0	149,0			0,0	7,97
	S	1,1	1,2	4,1	2,5	7,3	7,1					

T=Trockenmasse, XA=Rohasche, OM=Organische Masse, XP=Rohprotein, XL=Rohfett, XF=Rohfaser, NFE=Stickstofffreie Extraktstoffe, nXP=nutzbares Rohprotein, RNB=ruminale Stickstoffbilanz, NEL=Nettoenergie-Laktation

Tabelle 4: Glucosinolatgehalte in µmol/ Gramm Rapskuchen bzw. Rapsextraktionsschrot (Einzelglucosinolatgehalte nach EG - HPCL - Methode, SCHUMANN, 1998)

Material	Pr. Datum	Alkenyl-Glucosinolate					Indol-Glucosinolate					Sonstige	Ges.-Glucosinol.		Iso-Thiocyanat
		PRO	GNL	GNA	GBN	Summe	4-OH	GBC	NEO	Summe	LT ¹⁾		T ²⁾		
RK(Ch1)	31.01.00	7,4	0,2	2,6	0,6	10,8	2,8	0,1	0,1	3,0	0,0	13,8	13,8	208,0	
RK(Ch2)	02.05.00	9,0	0,4	3,4	1,0	13,8	1,9	0,1	0,1	2,1	0,3	16,2	15,6	500,0	
RK(Ch3)	17.07.00	7,1	0,6	2,9	0,6	11,2	1,4	0,1	0,1	1,6	5,1	17,8	17,9	339,0	
RK(Ch4)	01.02.01	9,7	0,5	3,5	1,5	15,2	2,9	0,3	0,1	3,3	0,7	19,2	19,1	540,0	
RK(Ch5)	07.03.01	6,8	0,3	2,5	1,0	10,6	3,6	0,2	0,1	3,9	0,1	14,6	14,6	310,0	
RK(Ch6)	24.04.01	6,6	0,3	2,5	1,1	10,5	3,7	0,3	0,1	4,1	0,3	14,9	14,9	240,0	
Mittelwert		7,8	0,4	2,9	1,0	12,0	2,7	0,2	0,1	3,0	1,1	16,1	16,0	356,2	
s		1,2	0,1	0,4	0,3	1,8	0,8	0,1	0,0	0,9	1,8	1,9	1,9	124,1	
RES(Ch1)	31.01.00	6,0	0,2	2,1	0,4	8,7	0,5	0,1	0,1	0,7	0,2	9,6	10,1	285,0	
RES(Ch2)	02.05.00	5,2	0,2	2,0	0,6	8,0	0,3	0,1	0,1	0,5	0,1	8,6	8,3	285,0	
RES(Ch3)	17.07.00	9,0	0,5	3,3	0,7	13,5	0,7	0,1	< 1%	0,7	0,6	14,9	15,3	441,0	
RES(Ch4)	24.04.01	6,0	0,3	2,1	0,8	9,2	0,5	0,1	0,1	0,7	0,3	10,2	10,4	360,0	
Mittelwert		6,6	0,3	2,4	0,6	9,9	0,5	0,1	0,1	0,7	0,3	10,8	11,0	342,8	
s		1,5	0,1	0,5	0,1	2,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	2,4	2,6	64,5	

¹⁾ Lufttrockene Substanz; ²⁾ bez. auf 91 % Trockensubstanz

Anmerkung: Abkürzungen der Einzelglucosinolate

PRO	Progolitin	4-OH	4-Hydroxyglucobrassicin	sonst. GSL
GNL	Glucopololeitrin	GBC	Glucobrassicin	Glucosyls'in
GNA	Glucanapin	NEO	Neoglucobrassicin	Glucosasturin
GBN	Glucobrassicinapin			nicht identifizierte GSL

2.2 Kälber

Entgegen der im LVG Köllitsch üblichen täglich zweimaligen Verabreichung von Kolostrum, wurden die Kälber o. g. Versuchskühe an den ersten fünf Lebenstagen täglich viermal getränkt (je Mahlzeit wurden 2 l Kolostrum angeboten). Die Kälber wurden in Iglus gehalten und zur Geburt, am 5., 10., 20. und 28. Lebenstag gewogen.

2.3 Ergebnisse

Entwicklung der Lebendmasse der Milchkühe

Während sich die Lebendmassen beim Einsatz der rapskuchenhaltigen Ration in den ersten 90 Laktationstagen nicht veränderten, verringerten sie sich bei Einsatz der rapsextraktionsschrothaltigen Ration bis dahin um durchschnittlich 16 kg.

Tabelle 5: Lebendmasseentwicklung der Kühe nach dem Abkalben (kg) bei Fütterung von Rapskuchen bzw. rapsextraktionsschrothaltiger Ration

Fütterungsvariante	Tage nach dem Abkalben			
	30	60	90	120
RK (13 Kühe)	628 ± 58	622 ± 45	631 ± 41	636 ± 48
RES (13 Kühe)	627 ± 61	615 ± 54	611 ± 61	626 ± 63

Bereits nach 120 Laktationstagen wurde aber bei allen Kühen ein Lebendmasseanstieg registriert.

2.3.1 Futteraufnahme und Rationskennzahlen

Die Mischration der ersten und zweiten Laktationshälfte unterscheidet sich nur geringfügig (Tabelle 6). Während der ersten Laktationshälfte zeigte sich in der Rapskuchen - Gruppe ein um durchschnittlich 0,9 kg geringerer Trockenmasseverzehr als in der Rapsextraktionsschrot - Gruppe. Das betriebsübliche zusätzliche Anfeuchten der Mischration in den Sommermonaten wirkte hier offensichtlich nachteilig. In der ersten Laktationshälfte wurde das Milchleistungsfutter leistungsabhängig über Transponderabruf zugeteilt. In der zweiten Laktationshälfte wurde darauf verzichtet und die TMR enthielt kein Sojaextraktionsschrot (Tabelle 2).

Das Restfutter wurde wöchentlich zweimal zurückgewogen. Die durchschnittlich aufgenommene Rapskuchenmenge betrug in der ersten Laktationshälfte täglich durchschnittlich 2,12 kg T. Dabei kamen 1,8 kg T über die Mischration und 0,320 kg über das Milchleistungsfutter (Transponderfütterung). Der Rapskuchen enthielt durchschnittlich 15,7 % Fett. Demnach stammten von den insgesamt täglich aufgenommenen 915 g Fett 333 g aus dem Rapskuchen.

Tabelle 6: Durchschnittliche Kennzahlen der angebotenen Ration und Futteraufnahme je Kuh und Tag in Köllitsch

Parameter	1. Laktationshälfte		2. Laktationshälfte	
	RK - Variante	RES - Variante	RK - Variante	RES - Variante
Trockenmasseangebot (kg)	21,6	21,5	19,6	19,4
dav. Aufgenom. (kg)	20,1	21,0	19,3	19,3
RNB (g)	23,0	24,2	-36,0	-36,0
NEL (MJ)	149,0	146,0	129,0	126,0
Ca (g)	154,0	137,0	117,0	117,0
P (g)	91,0	86,0	68,0	68,0
Rohprotein (g)	3.517,0	3.569,0	2.550,0	2.533,0
UDP (% vom XP)	26,4	26,4	23,0	24,7
Rohprotein i.T. (%)	16,3	16,6	13,0	13,1
NEL je kg T (MJ)	6,9	6,8	6,6	6,5
Rohfaser (g)	3.891,0	3.873,0	3.966,0	3.965,0
dav. Strukturwirksam	2.683,0	2.683,0	3.086,0	3.086,0
Rohfett (g)	915,0	709,0	802,0	659,0
Rohfett (%)	4,29	3,3	4,09	3,4

2.3.2 Durchschnittliche Milchleistung und Milchinhaltsstoffe im Verlauf des Versuches

Aus den Abbildungen 1 bis 3 wird deutlich, dass sich die rapskuchenspezifischen Wirkungen, Steigerung der Milchleistung, Abfall der Milchfett- und Eiweißgehalte bei erhöhtem Milchfett- und Eiweißertrag, auch in der Folgelaktation zeigen.

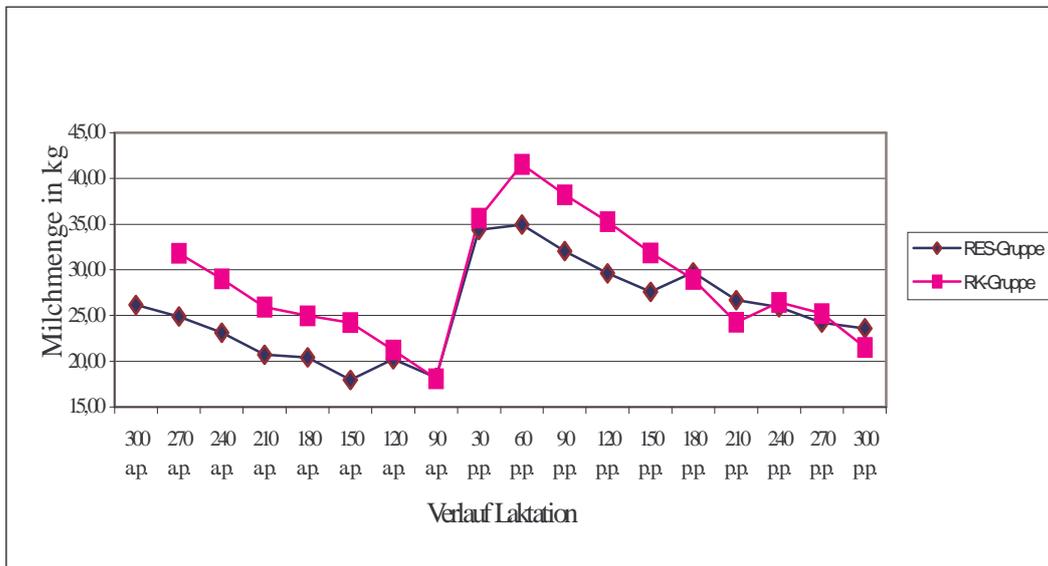


Abbildung 1: Milchleistung im Verlauf der Laktation

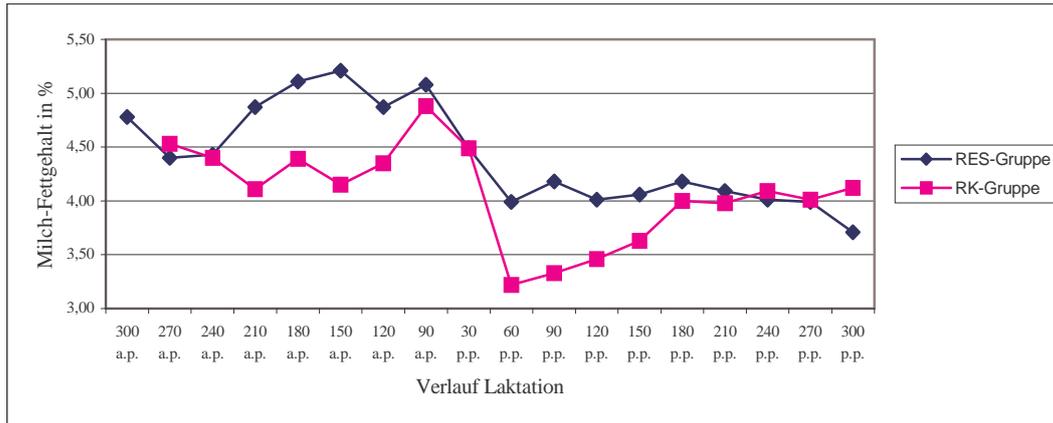


Abbildung 2: Milchfettgehalt im Verlauf der Laktation

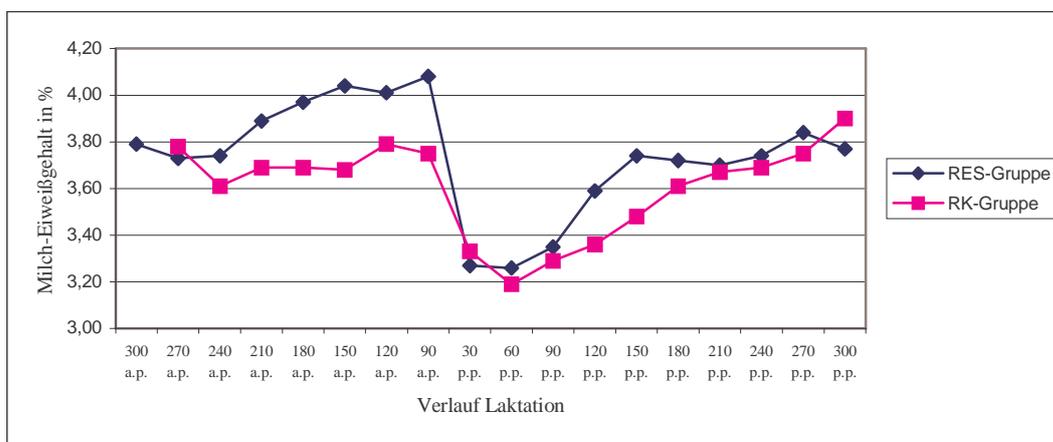


Abbildung 3: Milcheiweißgehalt im Verlauf der Laktation

Die Rapskuchen beziehungsweise Rapsextraktionsschrotfütterung wirkte sich nicht unterschiedlich auf den Milchharnstoffgehalt aus (Abbildung 4).

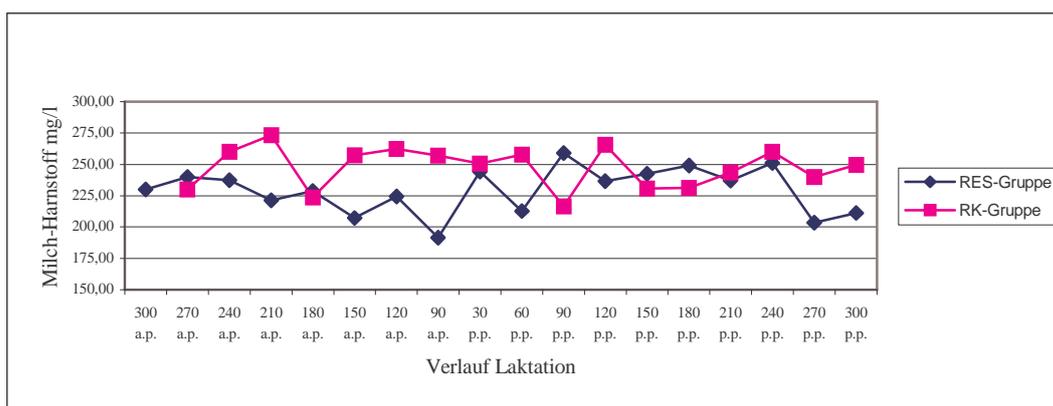


Abbildung 4: Vergleich Milchharnstoffgehalt im Verlauf der Laktation

Tabelle 7: Durchschnittliche Milchleistung und Milchinhaltssstoffe im Verlauf des Versuches

Tag	Milchmenge (kg)	Rapskuchen Variante		Rapsextraktionsschrot Variante		
		Fett %	Eiweiß %	Milchmenge (kg)	Fett %	Eiweiß %
300 a.p.	31,80	4,53	3,78	26,15	4,78	3,79
270 a.p.	29,00	4,40	3,61	24,88	4,40	3,73
240 a.p.	25,90	4,11	3,69	23,10	4,43	3,74
210 a.p.	24,96	4,39	3,69	20,70	4,87	3,89
180 a.p.	24,23	4,15	3,68	20,41	5,11	3,97
150 a.p.	21,22	4,35	3,79	17,93	5,21	4,04
120 a.p.	18,07	4,88	3,75	20,20	4,87	4,01
90 a.p.	35,63	4,49	3,33	18,17	5,08	4,08
60 p.p.	41,52	3,22	3,19	34,36	4,49	3,27
90 p.p.	38,23	3,33	3,29	34,92	3,99	3,26
120 p.p.	35,29	3,46	3,36	32,02	4,18	3,35
150 p.p.	31,84	3,63	3,48	29,64	4,01	3,59
180 p.p.	28,94	4,00	3,61	27,60	4,06	3,74
210 p.p.	24,27	3,98	3,67	29,72	4,18	3,72
240 p.p.	26,46	4,09	3,67	26,67	4,09	3,70
270 p.p.	25,22	4,01	3,69	25,93	4,01	3,74
300 p.p.	21,52	4,12	3,75	24,20	3,99	3,84
Ø	28,48	4,07	3,60	23,60	3,71	3,77
s	6,25	0,43	0,20	5,00	4,41	3,74
300 a.p. bis 300 p.p.					0,45	0,24

Tabelle 8: Durchschnittliche Gehalte an Fett, Eiweiß, Laktose und Harnstoff im Kolostrum

Kuhzahl	n	RK - Variante 10				RE - Variante 8			
		Fett %	Eiweiß %	Laktose %	Harnstoff mg/l	Fett %	Eiweiß %	Laktose %	Harnstoff mg/l
1. Tag p.p.	Ø	6,41	13,11	3,34	207	6,26	11,15	3,32	193
	s	3,53	3,57	0,48	110	2,37	4,29	0,60	85
2. Tag p.p.	Ø	8,17	6,69*	3,51	183	5,96	6,89*	3,68	173
	s	3,58	1,82	0,30	82	2,11	2,09	0,29	46
3. Tag p.p.	Ø	8,03	5,71	3,65	143	6,61	5,64	3,80	154
	s	4,11	0,97	0,29	41	1,5	0,89	0,63	36
4. Tag p.p.	Ø	6,39	5,61	3,82	115	6,57	5,22	3,78	165
	s	1,85	0,37	0,31	48	0,50	0,34	0,20	43
5. Tag p.p.	Ø	7,39	5,32	4,14	168	6,54	4,80	3,82	203
	s	3,06	1,06	0,70	63	0,51	0,31	0,11	58

*In beiden Fütterungsvarianten signifikanter Abfall der Eiweißgehalte vom 1. zum 2. Tag p.p. (p < 0,05)

2.3.3 Kolostrumaufnahme und Lebendmasseentwicklung der Kälber

Die durchschnittliche Kolostrumaufnahme und die Lebendmasseentwicklung der Kälber wurden durch die unterschiedliche Fütterung der Kühe nicht beeinflusst.

Tabelle 9 zeigt die durchschnittliche Kolostrumaufnahme während der ersten fünf Lebenstage, Tabelle 10 zeigt die Lebendmasseentwicklung der Kälber.

Tabelle 9: Durchschnittliche Kolostrumaufnahme (l/Kalb)

	1. Tränke	2. Tränke	3. Tränke	4. Tränke	gesamt
RK-Variante					
1. Tag p.p.	1,4 ± 0,53	1,5 ± 0,50	1,5 ± 0,46	1,9 ± 0,28	5,8 ± 1,01
2. Tag p.p.	1,8 ± 0,59	1,5 ± 0,56	1,6 ± 0,61	1,9 ± 0,50	6,3 ± 1,02
3. Tag p.p.	1,8 ± 0,56	1,5 ± 0,65	1,6 ± 0,62	1,9 ± 0,28	6,2 ± 1,20
4. Tag p.p.	1,9 ± 0,28	1,8 ± 0,35	1,9 ± 0,51	1,8 ± 0,48	6,7 ± 0,92
5. Tag p.p.	1,8 ± 0,31	1,9 ± 0,22	2,0 ± 0,00	1,9 ± 0,41	6,8 ± 0,80
RE-Variante					
1. Tag p.p.	1,9 ± 0,73	0,9 ± 0,54	1,7 ± 0,44	1,4 ± 0,58	5,6 ± 0,92
2. Tag p.p.	1,6 ± 0,63	1,4 ± 0,60	1,7 ± 0,44	1,8 ± 0,41	6,1 ± 1,26
3. Tag p.p.	1,8 ± 0,35	1,6 ± 0,69	1,7 ± 0,45	2,0 ± 0,06	6,7 ± 1,21
4. Tag p.p.	1,9 ± 0,29	1,5 ± 0,66	1,9 ± 0,43	1,7 ± 0,45	6,6 ± 1,14
5. Tag p.p.	1,9 ± 0,31	1,8 ± 0,33	1,7 ± 0,62	1,7 ± 0,74	6,7 ± 1,10

Tabelle 10: Durchschnittliche Lebendmasseentwicklung der Kälber (kg)

	RK-Variante	RES-Variante
Kälberzahl n	12	11
Geburtsgewicht	45,5 ± 4,2	43,9 ± 5,2
Gewicht am 5. Lebenstag (nach Kolostralmilchperiode)	49,3 ± 4,3	47,4 ± 3,4
Gewicht am 28. Lebenstag (Ende der Einzelhaltung)	61,5 ± 5,6	58,5 ± 4,4

3 Zusammenfassung

Auch beim Einsatz über zwei Laktationen hinweg zeigte sich die spezifische Wirkung des Rapskuchens auf die Milchleistungsparameter (Steigerung der Milchmenge, Abfall der Milchfett- und Milcheiweißgehalte).

Das Anfüttern mit rapskuchenhaltigem Futter in den letzten drei Wochen vor dem Abkalben führte zu einer erhöhten Milchmengeneinsatzleistung im Vergleich zur Anfütterung mit einer rapsextraktionschrothaltigen Ration.

Während der ersten Laktationshälfte zeigte sich in der Rapskuchengruppe ein um durchschnittlich 0,9 kg geringer Trockenmasseverzehr als in der Rapsextraktionsschrotgruppe.

Die Kühe der Rapskuchengruppe zeigten nur bis 60 Tage nach dem Abkalben ein leicht verringertes Lebendgewicht. Bei den Kühen der Rapsextraktionsschrotvariante war dies noch 90 Tage nach der Abkalbung festzustellen.

Kolostrumqualität, Kälbergesundheit und -entwicklung wurden durch Einsatz von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen in den vorliegenden Untersuchungen nicht beeinträchtigt.

Einfluss von Rapsprodukten auf Verdaulichkeit und Parameter der Tiergesundheit

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

Dr. Dr. Ernst Boldt, Dr. José Ross Dayves, Prof. Dr. Jürgen Gropp, Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

1 Versuchsanstellung

Gleichlaufend zum beschriebenen Milchkuhfütterungsversuch mit eingeschobener Einzelfütterungsperiode im 2. Laktationsdrittel, wurde an jeweils sechs Kühen die Verdaulichkeit der rapsextraktionsschrot- bzw. rapskuchenhaltigen Totalen-Misch-Ration geprüft.

2 Verdaulichkeitsbestimmungen

2.1 Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe

Tabelle 1 zeigt die Trockenmasse- und Roh Nährstoffaufnahme im Verdauungsversuch. Bedingt durch die Unterschiede im Rohfettgehalt nahmen die Kühe deren Ration Rapskuchen enthielt, täglich 190 g Rohfett mehr auf, als die Kühe, deren Ration proteinäquivalent mit Rapsextraktionsschrot ergänzt wurde.

Tabelle 1: Trockenmasse- und Roh Nährstoffaufnahme im Verdauungsversuch (in kg/Kuh/Tag)

	T	OS	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	NfE
Rapskuchen (n = 5)	19,65	18,29	2,72	0,86	2,81	11,99
±	1,61	1,47	0,26	0,08	0,34	0,65
Rapsextr.schrot (n = 5)	19,66	18,27	2,76	0,67 ⁺	2,87	12,00
±	1,12	1,02	0,18	0,05	0,28	0,53

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Die Roh Nährstoffquotienten der geprüften Rationen werden in Tabelle 2 angegeben. Die Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohproteins, der stickstofffreien Extraktstoffe und insbesondere der Rohfaser war in der Futtermischung mit Rapskuchen in der Tendenz bis signifikant (Rohfaser) geringer als in der Ration mit Rapsextraktionsschrot.

Tabelle 2: Verdaulichkeit der Trockenmasse und der Roh Nährstoffe der geprüften Futtermischungen (%)

	T	OS	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	NfE
Rapskuchen (n = 5)	70,6	73,5	64,3	71,6	44,5	82,8
±	1,3	1,1	3,0	2,7	4,8	0,1
Rapsextr.schrot (n = 5)	74,6 ⁺	77,2 ⁺	68,4	72,8	54,0 ⁺	85,1 ⁺
±	1,1	1,0	0,2	0,1	0,3	0,5

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

2.2 Umsetzung der Fettsäuren im Verdauungstrakt

Die Berechnungen zur Umsetzung der gesättigten Fettsäuren, der einfach, der doppelt und der mehrfach ungesättigten Fettsäuren, der Summe der ungesättigten Fettsäuren sowie der Summe aller gaschromatographisch bestimmten Fettsäuren sollen lediglich die an der Rationskomponente Fett im Magen-Darmkanal ablaufenden umfangreichen Umwandlungsprozesse - vor allem die Hydrogenierungen in den Vormägen - demonstrieren. Die Aufnahme an Fettsäuren zeigt Tabelle 3, die Umsetzung Tabelle 4.

Tabelle 3: Fettsäureaufnahme (g/Kuh/Tag)

	Fettsäuren					
	gesättigt	einfach	zweifach	mehrfach	Gesamt	Gesamt
	ungesättigt					
Rapskuchen (n = 6)	145	259	299	92	681	836
±	15	18	20	11	18	25
Rapsextr.schrot (n = 5)	131	134 ⁺	262 ⁺	72 ⁺	467 ⁺	707 ⁺
±	10	5	11	12	16	147

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Tabelle 4: Umsetzung der Fettsäuren im Verdauungstrakt der Kühe (in %)

	Fettsäuren					
	gesättigt	einfach	zweifach	mehrfach	Gesamt	Gesamt
	ungesättigt					
Rapskuchen (n = 6)	0,29	89,6	95,9	95,1	97,2	90,3
±	22,00	1,3	0,7	0,9	0,4	0,3
Rapsextr.schrot (n = 5)	26,90	81,8	94,7	93,4	94,9 ⁺	88,8
±	11,70	3,6	1,1	1,1	0,2	2,1

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Die „Verdaulichkeit“ aller mit dem Futter aufgenommenen, nach dem Sättigungsgrad der Fettsäuren vorgenommenen Gruppierungen, stieg mit dem Grad der Nichtsättigung an und war bei den ungesättigten Fettsäuren in der Rapskuchen-Gruppe zahlenmäßig immer und bei der Gesamtheit aller ungesättigten Fettsäuren auch signifikant größer als in der Rapsextraktionsschrot-Gruppe. Die gegenüber der Rapsextraktionsschrot-Gruppe signifikant höhere „Umsetzung“ der Summe aller ungesättigten sowie die deutlich geringere scheinbare Umsetzung der gesättigten Fettsäuren durch die Kühe der Rapskuchen -Gruppe steht im Zusammenhang mit der von diesen Kühen aufgenommenen erheblich größeren Menge an ungesättigten Fettsäuren (Tabelle 3). Die Hydrierung der ungesättigten Fettsäuren führte bei diesen zu einem Anstieg der „Verdaulichkeit“ und ist auch die Ursache für die ausgewiesene extrem niedrige „Verdaulichkeit“ der gesättigten Fettsäuren. Die hier dargestellten Werte repräsentieren nicht die wirkliche Verdaulichkeit der angeführten Fettsäurefraktionen; sie werden vielmehr durch die mikrobiell bedingten Umwandlungen im Verdauungstrakt geprägt. Am Beispiel der C18-Säuren (Stearinsäure C 18:0, Ölsäure C 18:1, Linolsäure C 18:2 und

Linolensäure C 18:3) soll versucht werden, diese sehr eindrucksvollen Umsetzungen noch anschaulicher zu zeigen. Der Verzehr dieser Fettsäuren wird in Tabelle 5 angegeben. Die Rapskuchen-Gruppe nahm im allgemeinen signifikant mehr der oben genannten Fettsäuren auf, als die Rapsextraktionsschrot-Gruppe. Dabei war der Verzehr an Öl- und besonders an Linolsäure - mit Abstrichen auch an Linolensäure - gegenüber der gesättigten Stearinsäure um ein vielfaches höher. Die „scheinbare Verdaulichkeit“ stieg ebenso wie bei den Fettsäuregruppierungen (Tabelle 4) von der gesättigten Stearinsäure zu den ungesättigten V18-Säuren sprunghaft an und nahm mit der Anzahl der Doppelbindungen in den Fettsäuren zu (Tabelle 6). Diese Feststellung gilt unabhängig von der aufgenommenen Menge an Fettsäuren.

Tabelle 5: Aufnahme an Stearin-, Öl-, Linol- und Linolensäure (g/Kuh/Tag)

	Stearinsäure C 18:0	Ölsäure n9 cis C 18:1	Linolsäure C 18:2	a-Linolensäure n3 C 18:3
Rapskuchen (n = 6)	14,8	221,0	296,9	86,4
±	1,4	15,8	20,5	11,4
Rapsextr.schrot (n = 5)	11,4 ⁺	110,6 ⁺	260,2	66,5 ⁺
±	0,8	4,6	11,3	12,4

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Durch die Hydrierung der ungesättigten Fettsäuren wurde deren „Verdauungsquotient“ erhöht und es wurde im Kot mehr Stearinsäure gefunden als aufgenommen wurde, die „scheinbare Verdaulichkeit“ der einzelnen Fettsäuren verdeutlicht dies (Tabelle 6):

Tabelle 6: Umsetzung von Stearin-, Öl-, Linol- und Linolensäure im Verdauungstrakt (%)

	Stearinsäure C 18:0	Ölsäure n9 cis C 18:1	Linolsäure C 18:2	a-Linolensäure n3 C 18:3
Rapskuchen (n = 6)	-388,9	94,6	96,3	98,0
±	165,0	0,7	0,7	0,3
Rapsextr.schrot (n = 5)	-162,2 ⁺	90,0 ⁺	95,4	97,3
±	45,6	2,3	1,2	0,6

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

3 Kenndaten der Pansenflüssigkeit

Die in der Pansenflüssigkeit gemessenen Parameter sind charakteristisch für eine krafftutterreiche Fütterung (Tabelle 7). Von besonderem Interesse ist der in der Rapskuchen-Gruppe gegenüber der Rapsextraktionsschrot-Gruppe um 2,86 mol % geringere Azetatanteil in der Gesamtsäure der Pansenflüssigkeit. Diese kann - ebenso wie die gemessene geringere Rohfaserverdaulichkeit - als Aktivitätshemmung der zellulolytischen Bakterienarten durch das Rapskuchenfett gedeutet werden. Hingewiesen sei auch auf den in der Rapskuchen-Gruppe zahlenmäßig größeren molaren Propionsäureanteil. Auffällig ist der wesentlich geringere Ammoniakgehalt in der Pansenflüssigkeit der Rapsextraktionsschrotgruppe.

Tabelle 7: Kenndaten der Pansenflüssigkeit

Kuhzahl	n	Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
		5	5
pH-Wert	Ø	6,52	6,57
		± 0,25	± 0,19
Essigsäure	mol %	55,32	56,88
		± 3,26	± 4,17
Propionsäure	mol %	28,55 ⁺	27,38 ⁺
		± 5,78	± 4,93
i-Buttersäure	mol %	0,70	0,72
		± 0,17	± 0,17
n-Buttersäure	mol %	11,68	12,65
		± 2,86	± 2,61
i-Valeriansäure	mol %	1,19	1,15
		± 0,38	± 0,25
n-Valeriansäure	mol %	1,65	1,47
		± 0,28	± 0,60
n-Caprinsäure	mol %	0,19	0,24
		± 0,14	± 0,09
Ammoniak	mmol/l	4,67	5,80
		± 2,28	± 2,92

⁺signifikanter Unterschied zur Rapskuchen-Gruppe (p < 0,05)

4 Blutparameter

In Anbetracht der Bedeutung der Fütterung und der Umsetzung des Futters im Verdauungstrakt für die Gesundheit der Kühe empfehlen sich periodische Kontrollen aussagefähiger Parameter in Blut, Harn und Milch.

Im Blut bieten sich dazu Parameter zum Kohlenhydrat-, Eiweiß- und Fettstoffwechsel an.

4.1 Parameter des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels

Ausgewählte Parameter zum Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel werden in Tabelle 8 dargestellt. Die untersuchten Parameter lagen im Referenzbereich. Dabei fällt jedoch auf, dass der GLDH-Gehalt im Serum der Rapskuchen-Gruppe gegenüber der Rapsextraktionsschrot-Gruppe durchgehend höher lag. Signifikant waren die Unterschiede jedoch nur bei den Probenahmen am 120. und 160. Laktationstag.

Die Toleranzbereichsobergrenze für GGT beträgt nach FÜRLL (1998) 40 U/l. In der Rapsextraktionsschrot-Gruppe lagen die Mittelwerte bei allen Probenahmen im Mittel unter diesem Wert, bis zum 55. Tag nach dem Abkalben auch bei der Rapskuchen-Gruppe. Bereits am 55. Tage post partum wurde jedoch in letzterer eine deutlich höhere γ -GT Aktivität festgestellt als in der Rapsex-

traktionsschrot-Gruppe. Bei den weiteren Probenahmen stieg die γ -GT Aktivität im Serum der mit Rapskuchen gefütterten Kühe zunächst weiter an und blieb dann im allgemeinen bis zum Versuchsende über der Toleranzobergrenze.

Tabelle 8: Bilirubin und ausgewählte Serumenzyme

Versuchsfutter Anzahl Kühe n		Rapskuchen 6				Rapsextraktionsschrot 6			
Parameter Tage p.p.		Bilirubin $\mu\text{mol/l}$	ASAT U/l	γ -GT U/l	GLDH U/l	Bilirubin $\mu\text{mol/l}$	ASAT U/l	γ -GT U/l	GLDH U/l
25	Ø	2,14	47,26	20,60	27,44	2,12	43,47	19,63	14,40
	±	0,66	12,06	3,27	21,38	0,60	9,20	4,51	9,33
55	Ø	1,30	64,30	36,90	55,22	1,13	62,88	26,62	24,93
	±	0,31	29,36	13,19	46,75	0,54	17,07	7,06	16,61
90	Ø	2,03	62,13	43,22	46,57	1,33	68,43	31,70	23,80
	±	1,25	32,17	19,40	39,70	0,41	15,30	7,93	10,09
120	Ø	2,23	71,57	47,50	73,23	1,97	67,33	35,45	25,05 ⁺
	±	1,04	25,43	22,65	40,10	0,34	21,12	11,02	9,99
160	Ø	1,85	65,38	47,48	36,17	2,20	61,57	31,18	15,50 ⁺
	±	0,16	22,56	16,82	13,35	0,93	20,45	8,06	6,95
200	Ø	1,93	77,62	42,30	46,98	2,70	51,37	27,42	11,12
	±	0,18	35,65	15,25	21,74	2,28	5,15	7,16	5,06

+signifikanter Unterschied zur Rapskuchen-Gruppe ($p < 0,05$)

4.2 Trijodthyronin (T_3) und Thyroxin (T_4) im Serum

Der Gehalt des Blutserums an Trijodthyronin und Thyroxin geht aus Tabelle 9 hervor.

Tabelle 9: Trijodthyronin (T_3) und Thyroxin (T_4) im Serum ($\mu\text{mol/l}$)

Versuchsfutter Probenahmezeitpunkt		Rapskuchen		Rapsextraktionsschrot	
		T_3	T_4	T_3	T_4
25 d p.p.	Ø	1,98	46,04	2,22	56,02
	±	0,41	5,14	0,25	10,55
55 d p.p.	Ø	2,07	51,15	2,92	66,45 ⁺
	±	0,56	5,55	0,52	9,71
90 d p.p.	Ø	2,47	54,62	2,85	75,30 ⁺
	±	0,35	8,59	0,28	6,88
120 d p.p.	Ø	2,40	52,15	2,85	73,98 ⁺
	±	0,42	12,79	0,48	12,39
160 d p.p.	Ø	2,25	52,13	2,50	61,02
	±	0,45	7,28	0,46	5,05
200 d p.p.	Ø	2,33	52,03	2,18	60,70
	±	0,44	14,98	0,29	8,18

+signifikanter Unterschied zur Rapskuchen-Gruppe ($p < 0,05$)

Im Serum der Rapskuchen-Gruppe wurde bis zum 160. Laktationstag ein geringerer Gehalt an Trijodthyronin als in der Rapsextraktionsschrot-Gruppe gemessen. Die Thyroxinkonzentration im Serum der Rapskuchen-Gruppe lag ständig unter der Rapsextraktionsschrot-Gruppe.

5 Zusammenfassung

Der Rapskucheneinsatz ist bei den Rindern, außer durch den Glucosinolatgehalt, auch durch den Einfluss des Fettes, auf die Pansenfermentation zu begrenzen. Ein Überschreiten von 5 % Fett in der Trockenmasse der Ration, das entspricht 750 bis 1.000 g Gesamtfett je Kuh und Tag, davon maximal 400 g aus Rapsöl, beeinträchtigt die Vormagenverdauung, besonders die der Rohfaser, so dass weniger Essigsäure im Pansen gebildet wird, wodurch die Milchfett- und -eiweißkonzentration stark abfällt.

Bei der Rapskuchenfütterung (2,5 kg je Kuh und Tag) wurde eine erhöhte Aktivität der Leberenzyme (Gammaglutamyltransferase und Glutamatdehydrogenase) im Blutserum festgestellt, die eine Leberbelastung anzeigen.

Einsatz von Rapssaat in der Milchkühhütterung

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Literaturlauswertung

Vor der Verfüterung von Rapssaat an Milchkühe ist eine technologische Aufbereitung der Rapssaat notwendig.

JAHREIS und RICHTER (1993) ersetzten in einem Versuch 1 kg Krafftutter isonitrogen durch geschroteten Vollfettraps. Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der beiden geprüften Milchviehrationen.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Milchviehrationen (JAHREIS und RICHTER, 1993)

		Kontrollgruppe	Rapsgruppe
Maissilage	kg	ca. 31,0 ¹⁾	ca. 31,0 ¹⁾
Wiesenheu	kg	1,0	1,0
Weizen/Gerstenschrot	kg	3,6	2,9
Sojaextraktionsschrot	kg	1,4	1,1
Rapssamen	kg	-	1,0
Vitaminisiertes Mineralfutter (23 % Ca, 7 % P, 9 % Na)	g	150,0	150,0

¹⁾ad libitum

Während der vierteljährlichen Versuchsdauer wurden keine Differenzen in der Trockensubstanzaufnahme festgestellt (Kontrolle 16,7 kg, Raps 16,6 kg). Tabelle 2 zeigt die Auswirkungen der Rapssaatfütterung auf Milchleistung und Milchinhaltsstoffe.

Tabelle 2: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe (JAHREIS und RICHTER, 1993)

		Kontrollgruppe	Rapsgruppe
Milchleistung	kg/Tag	18,40 ± 1,60	20,4 ± 1,40
Milchfettgehalt	%	5,19 ± 0,48	4,60 ± 0,27
Milcheiweißgehalt	%	3,80 ± 0,26	3,43 ± 0,14
Milchlactosegehalt	%	4,66 ± 0,09	4,75 ± 0,07

Rapssaat beeinflusste die Milchmenge positiv, der Gehalt an Milchfett und -eiweiß wurde durch Rapssaatfütterung jedoch signifikant gesenkt. Untersuchungen von ABEL et al. (1993) zeigten, dass die Art der technologischen Behandlung sich sehr differenziert auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe aus Rapssaat für den mikrobiellen Stoffwechsel im Pansen auswirken kann. Der stärkste Einfluss geht von der Verfügbarkeit des Rapsöls aus, die im Hinblick auf die Verträglichkeit im Pansen möglichst niedrig gehalten werden muss.

ABEL et al. (1993) setzten vermahlene Rapssaat als Komponente des Milchleistungsfutters ein. Die Grundration bestand je Kuh und Tag (kg T) aus folgenden Komponenten:

- 7,9 kg Grassilage
- 1,5 kg Maissilage
- 1,8 kg Melasseschnitzel
- 1,8 kg Ausgleichsfutter
- 0,1 kg Mineralfutter

Dazu wurden zwei unterschiedliche Milchleistungsfutter eingesetzt. Die Rapsvariante enthielt 15 % grob vermahlene Rapssaat und 8,5 % Fett in der Trockenmasse. Die Vergleichsmilchleistungsfutter (Typ 18/III) hatte einen Fettgehalt von 5,2 % in der Trockenmasse. Das rapssaathaltige Kraftfutter wurde von den Kühen problemlos aufgenommen. Tabelle 3 enthält die Trockenmasse- und NEL-Aufnahme sowie die erzielte Milchleistung und Futtermittelverwertung in diesem Versuch.

Tabelle 3: Milchleistung und Futtermittelverwertung der Kühe (ABEL et al. 1993)

Parameter Je Kuh und Tag		Vergleichsgruppe (47 Kühe)	Rapsgruppe (40 Kühe)
TM-Verzehr	kg		
- aus GR*		13,10	13,10
- aus MLF**		7,40	7,80
NEL-Aufnahme	MJ		
- aus GR		86,00	86,00
- aus MLF		57,00	64,00
Summe		143,00	150,00
Milchleistung			
- FCM	kg	27,70 ⁺	30,00
- Milchfett	kg	1,13	1,20
- Milcheiweiß	kg	0,86 ⁺	0,95
- Milchfett	%	4,31 ⁺	4,12
- Milcheiweiß	%	3,30	3,25
Futtermittelverwertung			
- FCM aus MLF	kg	18,00	20,20
- FCM aus GR		9,70	9,80

*GR=Grundration, **MLF=Milchleistungsfutter, ⁺signifikant zur Rapskuchengruppe (p < 0,05)

Die in diesem Versuch durchschnittlich eingesetzten 1.200 g Vollfettrapssaat je Kuh und Tag dürften die Obergrenze darstellen. **Zur Vermeidung des Risikos von Verdauungsstörungen empfehlen ABEL et al. (1993) 800 bis 1.000 g Vollfettrapssaat pro Kuh und Tag nicht zu überschreiten.**

2 Versuchsergebnisse zum Einsatz von NaOH behandelter Rapssaat in der Milchkuhfütterung

In einer von der Sächsischen Landesanstalt begleiteten Diplomarbeit (SELL, 2001) wurde untersucht, inwieweit unzerkleinerte, mit NaOH aufgeschlossene Rapssaat („Sodaraps“) für Milchkuhrationen geeignet ist.

2.1 Herstellung von „Sodaraps“

Die Herstellung von "Sodaraps" erfolgte mit einem 8m³ fassenden Keenan Easy - Feeder, etwa drei bis vier Tage bevor der noch vorhandene Sodaraps verfüttert war. Dazu wurden 3 t Raps aus eigener Ernte und 150 kg NaOH 10 Minuten im Mischwagen gemischt, anschließend wurden bei ständigem Mischen 600 l Wasser zugegeben. Am Siloplatz (etwa 3 km vom Stall entfernt) wurde das Gemisch weitere 20 Minuten im Futtermischwagen gemischt und anschließend auf einer Betonfläche verteilt. Während der folgenden zwei Tage wurde der Sodaraps mehrmals mit dem Radlader umgelagert, um Verklumpungen zu vermeiden. Die Herstellung von Sodaraps unterscheidet sich somit nicht von der Herstellung von Sodagrain (mit NaOH aufgeschlossene Getreidekörner), lediglich die zugesetzte NaOH-Menge von 5 % ist etwas höher als bei Getreide (2 - 3 %), ORSKOV *et al.* (1979)

2.2 Zusammensetzung der täglichen Futterrations

In Tabelle 4 ist die Zusammensetzung der täglichen Futterrations dargestellt.

Tabelle 4: Zusammensetzung der täglichen Futterrations (TMR) in der Agrar GmbH & Co. KG „Heideland“ Großwig

Futtermittel	Gruppe 1 kg T	Gruppe 2 kg T	Gruppe 3 kg T
Sojaextraktionsschrot	1,80	1,80	-
Getreideschrot	7,20	5,40	5,40
Harnstoff	0,11	0,11	0,11
Welksilage	2,54	2,54	2,54
Maissilage	4,53	4,53	4,53
Rübenschnitzel	0,64	0,64	0,64
Sodaraps	0,96	0,64	0,64
Rapsextr. schrot	0,44	0,44	0,44
Kleie	0,89	0,89	0,89
Sonnenbl.extr.schrot	-	-	0,96
Mineralstoff	0,32	0,30	0,14
Schaumasil	0,25	0,12	0,03
Salz	0,06	0,05	0,03
Kalk	0,04	0,03	0,03
Summe (Angebot)	19,78	17,49	16,38

2.3 Futtermittelkennndaten

Tabelle 5 enthält die Futtermittelkennndaten der eingesetzten Rationskomponenten.

Tabelle 5: Futtermittelkennndaten (Agrar GmbH & Co. KG „Heideland“ Großwig)

Futtermittel	in 1.000 g Trockenmasse (T)						
	T g/kg	XA g	OM g	XP g	XL g	XF g	NEL MJ
Grassilage	254	110	890	197	-	295	5,9
Maissilage	302	46	954	92		211	6,3
Zuckerrübenschnitzel, frisch	128	172	828	94	-	218	6,2
Sojaextr.schrot	898	68	932	494	21	83	8,5
Getreideschrotmischung	900	20	980	134	26	42	8,5
Rapssaat	897	50	850	236	413	90	10,5
Rapsextraktionsschrot	872	78	922	406	44	150	10,5
Weizenkleie	892	51	949	178	48	97	8,5
Sonnenblumenextr.schrot	959	65	935	289	31	277	8,2

T=Trockenmasse, XA=Rohasche, OM=Organische Masse, XP=Rohprotein, XL=Rohfett, XF=Rohfaser, NEL=Nettoenergie-Laktation

2.4 Milchleistungsprüfung bei Sodarapsfütterung

Tabelle 6: Durchschnittliche Milchleistungsdaten aus der Agrar GmbH & Co.KG „Heideland“ Großwig, (Beginn der Sodarapsfütterung ab MLP August 1999)

Datum	Kuhzahl	Milch-kg	Fett %	Eiweiß %
15.06.99	360	18,43	4,47	3,63
20.07.99	351	18,24	4,31	3,64
31.08.99	320	21,17	4,54	3,46
05.10.99	322	19,89	4,97	3,60
09.11.99	317	20,03	5,02	3,63
14.12.99	310	20,23	4,81	3,65
18.01.00	300	20,06	4,77	3,68
22.02.00	312	20,05	4,78	3,71
21.03.00	322	20,01	4,92	3,60

3 Zusammenfassung

Die Sodarapsfütterung wirkte sich positiv auf die Milchmengenleistung und -inhaltsstoffe aus. **Sodarapsfütterung führte im Gegensatz zum Rapskucheneinsatz nicht zum Abfall der Milch-inhaltsstoffe, sondern es wird ein tendenzieller Anstieg des Milchfettgehaltes registriert, wie er beim Einsatz von geschütztem Rapssamen beobachtet wurde (ASHES et al., 1992).**

Aufgrund der milchleistungsstabilisierenden Wirkung von NaOH behandelter Rapssaat konnte in der Agrar GmbH & Co.KG Heideland Großwig auf den Einsatz von Milchleistungsfutter verzichtet werden, wodurch sich die Rationskosten je Kuh und Tag um 0,40 € verringerten.

Rapsextraktionsschrot, Rapskuchen und Rapssaat in der Bullenmast

Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Tierische Erzeugung Köllitsch

1 Literaturlauswertung

Der erfolgreiche Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot und 00-Rapskuchen in der Rindermast ist durch exakte Fütterungsversuche und Praxiserfahrungen belegt. Als Grundfutter wurde dabei meist teigreife Maissilage eingesetzt (SCHWARZ und KIRCHGESSNER, 1989). Die Leistungen verschlechterten sich bei höheren Glucosinolatgehalten im Rapsextraktionsschrot. Während der Energiegehalt von Rapsextraktionsschrot mit 11,8 MJ ME/kg Trockenmasse im mittleren Bereich liegt, beträgt der Energiegehalt von Rapskuchen, laut DLG-Futterwerttabellen (1997) in Abhängigkeit vom Fettgehalt 12 MJ ME/kg Trockenmasse (bei 4 bis 8 % Fett) beziehungsweise 13 MJ ME/kg Trockenmasse (bei über 12 % Fett). **Die hohen Calcium- und Phosphorgehalte in den Rapsprodukten im Vergleich zum Sojaextraktionsschrot sind besonders bei der intensiven Mast mit klassischen Maisrationen vorteilhaft.**

Rapskuchen und Rapssaat können in der Rindermast grundsätzlich mit gleichen Mischungsanteilen und Mengen eingesetzt werden, wenn dadurch der Fettgehalt in der Gesamtration nicht über 5 % ansteigt. Einen entsprechenden Futterplan für die Mast von Fleckvieh- und Schwarzbunten Bullen mit Rapsextraktionsschrot enthält ein neues CMA-Faltblatt (2003). Die Futterpläne sind in Tabelle 1 beziehungsweise Tabelle 2 enthalten (siehe auch Veredelungsproduktion 1/2003).

1.1 Rapsextraktionsschrot

Tabelle 1: Futterplan für die Mast von Fleckviehbullen mit Rapsextraktionsschrot (Quelle: Veredelungsproduktion 1/2003)

Lebendmasse kg	Zuwachs g/Tag	Trockenmasseaufnahme** kg/Tag	Tägl. Futtermenge je Tier/Tag			Umsetzbare Energie MJ ME/Tag	Rohprotein g/Tag
			Mais-silage* kg	Weizen kg	RES/SES kg		
175 - 250	1.100	4,8	8,0	1,0	0,8/0,5	56	840
250 - 350	1.200	6,1	11,5	1,1	0,8/0,5	70	950
350 - 450	1.500	7,7	16,0	1,1	0,8/0,5	87	1.070
450 - 550	1.400	8,3	17,0	1,5	1,2/-	94	1.060
550 - 625	1.200	8,9	18,0	1,9	1,2/-	102	1.135

RES Rapsextraktionsschrot

SES Sojaextraktionsschrot

*Maissilage: 34 % Trockenmasse, 11,0 MJ ME/kg Trockenmasse, 80 g Rohprotein und 350 g Rohstärke je kg Trockenmasse

**100-120 g Mineralfutter mit 25 % Calcium und 8 % Natrium sind in der Trockenmasseaufnahme berücksichtigt

Tabelle 2: Futterplan für die Mast von Schwarzbunten Bullen mit Rapsextraktionsschrot (Quelle: Veredlungsproduktion 1/2003)

Lebendmasse kg	Zuwachs g/Tag	Trockenmasseaufnahme** kg/Tag	Tägl. Futtermenge je Tier/Tag			Umsetzbare Energie MJ ME/Tag	Rohprotein g/Tag
			Mais-silage* kg	Weizen kg	RES kg		
150 - 250	1.100	4,6	8,0	1,1	0,9	52	660
250 - 350	1.200	6,4	13,5	1,0	1,0	73	840
350 - 450	1.150	7,6	17	1,0	1,0	86	930
450 - 550	1.000	8,7	20	1,0	1,0	97	1010

RES Rapsextraktionsschrot

*Maissilage: 34 % Trockenmasse, 11,0 MJ ME/kg Trockenmasse, 80 g Rohprotein und 350 g Rohstärke je kg Trockenmasse

**100 - 120 g Mineralfutter mit 25 % Calcium und 8 % Natrium sind in der Trockenmasseaufnahme berücksichtigt

Versuche der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub (MAIERHOFER et al. 2000) zeigten, dass in der Bullenmast bei der Zuteilung von Raps- bzw. Sojaextraktionsschrot nach Rohprotein von Gleichwertigkeit ausgegangen werden kann (Tabelle 3).

Tabelle 3: Versuche zum Vergleich von Soja- (SES) und Rapsextraktionsschrot (RES) in der intensiven Bullenmast (MAIERHOFER, R., 2000)

Versuch I: Fleckviehbullen von 210 bis 660 kg Lebendmasse			
Variante	SES	RES/SES	RES
Futtermittelverzehr, kg TM/Tag			
- Eiweißträger	0,9	0,5/0,5	1,1
- Körnermais	1,6	1,7	1,5
- Maissilage*	5,5	5,9	5,7
Gesamt**	8,4	8,8	8,6
Tageszunahme, g	1.340,0	1.390,0	1.340,0
Versuch II: Fleckviehbullen von 390 bis 680 kg Lebendmasse			
- Eiweißträger	0,8	0,4/0,4	0,9
- Körnermais	2,0	2,0	2,0
- Maissilage*	6,5	6,5	6,1
Gesamt**	9,6	9,7	9,4
Tageszunahme, g	1.470,0	1.500,0	1.470,0

*11,4 MJ ME/kg Trockenmasse TM

**einschließlich Stroh und 130 g Mineralfutter

GEIßLER und BRUDEL (1994) fanden an der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht Ruhlsdorf/Groß Kreuz e.V. in der Intensivmast von Schwarzbunten Bullen bei Einsatz von Rapsextraktionsschrot ein verringertes Wachstum (Tabelle 4).

In der ersten Phase der Mast bis 400 kg wurden von beiden Untersuchungsgruppen hohe Tageszunahmen erreicht. Die Differenz zwischen den Gruppen war unwesentlich. Ab 400 kg lagen die Tageszunahmen bei der Verfütterung von Rapsextraktionsschrot deutlich niedriger, so dass über

die Gesamtperiode gerechnet, die Gruppe mit Sojaextraktionsschrot in den Tageszunahmen um 91 g besser war.

Tabelle 4: Tageszunahmen in g nach zusammengefassten Mastabschnitten (GEIßLER und BRUDEL, 1994)

	n	Mastabschnitt			
		171 - 384	384 - 484	484 - 557	171 - 557
RES	10	1.368	990	924	1.144
SES	10	1.386	1.209	981	1.235
Gesamt	20	1.377	1.100	953	1.190

Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass der Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot als alleiniges Eiweißfuttermittel bei der Intensivmast von Jungbulln bis zu einem Endgewicht von über 400 kg Lebendmasse nicht empfohlen werden kann. Die geringeren Tageszunahmen in diesem Bereich führten zu erhöhtem Futterverbrauch je kg Zuwachs und zu einer niedrigeren Lebend- und Schlachtkörpermasse, so dass trotz der geringeren Futterkosten, Verluste entstanden.

1.2 Rapskuchen/-expeller

Die folgenden bilanzierten rapskuchenhaltigen Rationen für Kälber und Mastbullen sind dem von der CMA herausgegebenen **Faltblatt „Rapskuchen in der Rinderfütterung“** entnommen.

Ration für Kälber (150 kg Lebendmasse, 900 g Zunahme je Tag)

Menge in kg	Futtermittel
3,0	Grassilage (35 % Trockenmass)
2,0	Maissilage (30 % Trockenmasse)
1,0	Heu
0,5	Rapskuchen
0,5	Weizenschrot
0,1	Mineralfutter
MJ ME je kg T	10,8
Rohprotein in g je kg T	160,0
Rohfaser in % der T	20,0
Rohfett in % der T	2,8
RNB in g je Tag	+7,0

(Quelle; CMA Falblatt, Schöne und Schwarting, 2002)

An der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf (Versuchsbericht Nr. 5/1993) wurden in einem Mastversuch mit Fleckviehbullen ab 300 kg Lebendmasse durch den Einsatz von Rapsexpeller keine Leistungseinbußen verzeichnet.

Ration für Mastbullen (400 kg Lebendmasse, 1.400 g Zunahme je Tag)

Menge in kg	Futtermittel
15,5	Maissilage (35 % Trockenmasse)
1,0	Heu
1,5	Rapskuchen
0,5	Gerstenschrot
0,1	Mineralfutter
MJ ME je kg T	10,7
Rohprotein in g je kg T	140,0
Rohfaser in % der T	20,0
Rohfett in % der T	3,7
RNB in g je Tag	+1,0

(Quelle; CMA Faltblatt, Schöne und Schwarting, 2002)

1.3 Rapssaat

JAHREIS und RICHTER (1993) prüften Stroh-Kraftfuttermitteln mit gestaffelten Rapssaatanteilen in der Bullenmast. Tabelle 5 zeigt die Rapskuchenanteile in der Ration, die Trockenmasseaufnahme und die Lebendmassezunahmen in diesem Bullenmastversuch.

Tabelle 5: Einfluss der Verfütterung von 00-Rapssaat auf die Leistung von Masthybridbullen (JAHREIS und RICHTER, 1993)

Rapsanteil % in der Ration	T-Aufnahme kg/Tier/Tag	Lebendmasse- Zunahme g/Tier/Tag	Futtermittelaufwand kg T/kg Zunahme
0,0	6,1	1.119 ± 154	5,4
7,1	6,0	1.120 ± 184	5,4
14,2	5,5	935 ± 149	5,9
21,4	5,8	1.025 ± 64	5,7

Ø Lebendmasse Versuchsbeginn 211 kg, 182 Versuchstage

Während 7 % Rapssaatanteil in der Ration keinen Einfluss auf Futtermittelaufnahme und Lebendmassezunahme ausübten, führten die höheren Rapsgehalte zur Reduzierung der Futtermittelaufnahme um 5 bis 10 %, zur Verringerung des Wachstums um 9 bis 16 % und zur Erhöhung des Futtermittelaufwandes.

2 Eigene Versuchsergebnisse zum Einsatz von Rapskuchen in der Bullenmast

In einem Einzelfütterungsversuch mit Schwarzbunten Bullen (ALERT und POPPE, 1994) wurde ausschließlich fettarmer Rapskuchen als Eiweißfuttermittel eingesetzt. Tabelle 6 zeigt den Rohnährstoffgehalt der eingesetzten Futtermittel.

Tabelle 6: Durchschnittlicher Rohnährstoffgehalt der eingesetzten Futtermittel in g/kg Trockensubstanz und Glucosinolatgehalt im Rapskuchen

g Trockensubstanz je kg	Org. Substanz	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	NFE	
Maissilage	235	942	85	17	254	586
Gerstenstroh	840	957	42	8	483	424
Weizen	885	986	145	21	27	793
Rapskuchen ¹⁾	830	927	396	66	123	342
Weizenkleie	840	964	166	36	80	682

In Tabelle 7 ist die Rationszusammensetzung während der einzelnen Mastabschnitte dargestellt.

Tabelle 7: Rationszusammensetzung während der einzelnen Mastabschnitte

Versuchstage von bis	LM kg von bis	Mais-silage	Weizen	Rapskuchen	Kleie	Stroh	Mineralstoff-Gemisch ¹⁾
1 - 28	173 - 199	2.120	650	350	100	200	80
29 - 56	199 - 225	2.220	600	400	100	200	80
57 - 112	225 - 282	3.050	400	600	100	200	100
113 - 196	282 - 365	4.560	400	800	100	200	120
197 - 295	365 - 448	5.810	200	800	440	200	100

1) Zusammensetzung, g/kg: 163 Phosphor, 284 Calcium, 47,3 Natrium, 14 Magnesium, 1,22 Mangan, 0,4 Kupfer, 0,015 Kobalt, 1,14 Zink

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse zur Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme Schwarzbunter Bullen bei Rapskuchenfütterung ausgewiesen.

Tabelle 8: Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme Schwarzbunter Bullen bei Einsatz von Rapskuchen

		Ø	± s
Anzahl der Tiere		17	
Lebendmasse zu Beginn	kg	174,00	9,70
Lebendmasse am Versuchsende	kg	452,00	20,30
Lebendmassezunahme	g/d	949,00	39,00
Trockensubstanzaufnahme	kg/d	5,86	0,49
davon aus Maissilage	kg/d	4,28	0,45

Da in diesen Untersuchungen keine sojaextraktionsschrothaltige Ration geprüft wurde, können die Ergebnisse nicht vergleichend diskutiert werden. Aus begleitenden Pansensaftuntersuchungen ist an der NH₃ Konzentration erkennbar, dass die Rohproteinversorgung der Pansenbakterien nicht ausreichte, obwohl in der Ration stets circa 13 % Rohprotein enthalten waren, die als ausreichend gelten. Dieser Mangel hätte vorzugsweise durch zusätzliche Gaben von bis zu 0,5 kg Sojaextraktionsschrot je Bulle und Tag ausgeglichen werden können, denn im Vorversuch zeigte sich, dass nicht mehr als die in Tabelle 10 angegebenen Rapskuchenmengen aufgenommen wurden. Sicher-

lich spielte dabei der relativ hohe Glucosinolatgehalt eine Rolle (26,5 µmol/g lufttrockene Substanz). **Eine Zusammenstellung von Versuchsergebnissen zum Einsatz von Rapsschrot in der Rindermast hat die CMA 1995 veröffentlicht (Raps in der Tierfütterung, Heft 2).**

3 Zusammenfassung

Rapskuchen und Rapssaat können in der Rindermast grundsätzlich zu gleichen Mischungsanteilen und Mengen eingesetzt werden, wenn dadurch der Fettgehalt in der Rationstrockenmasse 5 % nicht überschreitet. Bis 7 % Rapssaat in der Rationstrockenmasse war kein Einfluss auf Futteraufnahme und Lebendmassezunahme festzustellen, höhere Fettgehalte reduzierten die Futteraufnahme um 5 bis 10 %, führten zur Wachstumsverringering um 9 bis 16 % und erhöhten den Fut-
teraufwand.

Literaturverzeichnis

- ABEL, H.-J., T. MOOREN und U. MAYER, 1993: Physiologische Grundlagen zum Fetteinsatz in der Ernährung von Wiederkäuern, *Fat. Sci. Technol.* 95, S. 546-550
- ABEL, H.-J., MEYER, U. FARIDA, W. ROSA, VAITIEKUNAS, W., 1993: Futterwert von Vollfett-Rapssaat bei Milchkühen, *Raps*, 11 Jg. 4, S. 178-180
- ASHES, R., B. D. SIEBERT, S. K. GULATI, A. Z. CUTHERTSON and T. W. SCOTT, 1992: Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil in to tissue and Serum Lipids of ruminants *Lipids* 27, S. 629-631
- ALERT, H.-J., POPPE, S., 1994: Fütterung von 00-Rapskuchen an Mastbullen, *Infodienst der LfL*, 10, S. 75-77
- AUTORENKOLLEKTIV, 2001: Nachwachsende Rohstoffe im Freistaat Sachsen, 1. Auflage, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 20-27
- BICKEL - SANDKÖTTER, SUSANNE, 2001: Nutzpflanzen und ihre Inhaltsstoffe 45, 481 Seiten
- BILLE, N., O. B. EGGUM, I. JACOBSEN, O. OLSEN and H. SÖRENSEN, 1983: The effects of processing on antinutritional constituents and nutritive value of double low rapeseed meal, *Z. Tierphysiologie, Tierernährung, Futtermittelkunde* 49, S. 148-163
- BOCKEY, D., 2003: Sommerraps hat Chancen, *Bauernzeitung*, 4. Wo., S. 20-21
- CMA, 1995: Rapsschrot in der Rindermast , Raps in der Tierfütterung, H. 2, Zusammenfassung der bisherigen Veröffentlichungen anlässlich der DLG-Tagung der Fütterungsreferenten am 29./30. März 1995 in Fulda
- CMA-Faltblatt, 2003: intensive Bullenmast mit Rapsschrot
- CRAMER, N., 1990: Raps Züchtung - Anbau und Vermarktung von Körnerraps
- DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer 1997: DLG-Verlag, Frankfurt, 212 Seiten
- DLG-Mitteilungen, 2003: Gentechnik: Tore auf? *Agrarmanagement, Trends und Perspektiven*, H 4778, 6
- ENGELHARD, TH., KLUTH, H., 2003: Rapsschrot an Hochleistungskühe? *Bauernzeitung*, 15. Wo., S. 46-47
- FÜRL. M., 1998: Stoffwechselbelastung, -diagnostik und -stabilisierung beim Rind, *Leipziger Sonntagsakademie, Medizinische Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät Leipzig, Akademie für Tierärztliche Fortbildung*
- GEIBLER, B., BRUDEL, H., 1994: Untersuchungen zum Ersatz von Soja- durch Rapsextraktionsschrot in der Intensivmast mit Schwarzbunten Bullen, *Informationsbericht, Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung Ruhlsdorf/Groß Kreuz e.V.*
- HEBER, R., 2001: Persönliche Mitteilung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich landwirtschaftliche Untersuchungen
- HENKEL, H., MOSENTHIEN, R., 1989: Rapssaat und Rapsprodukte in der Tierernährung, *Übers. Tierernährung* 17, S. 139-190
- HENTSCHEL, BARBARA, 2003: Ölsaaten aus der Region gefragt, *Neue Landwirtschaft* 3, S. 78-79
- JACKISCH, W., 2002: Wie weiter mit Raps, Erbse und Co? *Perspektiven des Öl- und Eiweißpflanzenanbaus am Beispiel Sachsens, Neue Landwirtschaft*, 2, S. 36-39

- JAHREIS, G. und G. H. RICHTER, 1983: Untersuchungen zum Einsatz von Rapssaat bei Wiederkäuern, 95 Jahrgang 12
- JEROCH, H., G. FLACHOWSKI und F. WEIßBACH, 1993: Futtermittelkunde, Extraktionsschrot, S. 316-322, Gustav Fischer Verlag Jena
- KRÜGER, MONIKA, SCHRÖDL, W. SEIDLER, T., LINDNER, ANDREA, 2000: Endotoxinassoziierte Erkrankungen bei Hochleistungskühen, Tagungsbericht 4. Symposium zu Fragen der Fütterung von Hochleistungskühen in Neuruppin
- LEBZIEN, P., AULRICH, K., 1993: VDLUFA-Schriftenreihe 37, S. 361-364
- LEIN, K. A., 1970: Quantitative Bestimmungsmethoden für Samenglucosinolate in Brassica-Arten und ihre Anwendung in der Züchtung von glucosinolatarmen Raps, z. Pflanzenzüchtung, 63, S. 137-154
- V. LENGERKEN, J., ZIMMERMANN, K., 1991: Handbuch Futtermittelprüfung, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- LÖÖF, B., 1970: New development in rapeseed breeding in Sweden, Proc. Int. Rapeseed Conf. Quebec, S. 491-515
- LÖWE, R., 2000: Verarbeitung von Rohglycerin im Mischfutter, Veredlungsproduktion 2, S. 46-47
- MAIERHOFER, 2000: In: UFOP-Praxisinformation, Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot beim Wiederkäuer
- MANN, S., 1998: Nachwachsende Rohstoffe, Verlag Eugen Ulmer GmbH, Stuttgart 114, 142 Seiten
- ØRSKOV, E. R., BARNES, B. J., LUKINS, B. A., 1979: A note on the effect of different amounts of NaOH application on digestibility by cattle of barley, oats, wheat and maize, J. agric. Sci., Camb. (1980), 94, S. 271-273
- PÖLL, P., G. WIEDNER, 1993: Eiweißalternativen in der Fütterung, Österreichischer Agrarverlag, Wien, S. 99
- RÖBBELEN, G., RAKOW, G., 1970: Selection for fatty acids in rapeseed, Proc. Int. Rapeseed Conf. Quebec, S. 476-490
- SCHEU, 2000: Persönliche Mitteilung, Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Oldenburg
- SCHMITZ, F., 2000: Trotz GVO - Bestandteilen in Raps: Konsens für den Einstieg in die Gentechnik, Veredlungsproduktion 3, 2000, S. 50-51
- SCHÖNE, F., 1995: Glucosinolatoleranz der Nutztiere, Kraftfutter 6, S. 244-247
- SCHÖNE, F., 1998: Rapssaat und Rapsprodukte im Nahrungsbereich und als Futtermittelqualitätssicherung und Entwicklungen am Beispiel Thüringen, Bericht über Landwirtschaft, Bd. 76 (3), S. 441-457
- SCHÖNE, F., 2001: Rapskuchen in der Nutztierfütterung, REKASAN.Journal, H. 15/16, S. 30-34
- SCHÖNE, F., SCHWARTING, G., 2002: Rapskuchen in der Rinderfütterung, CMA-Faltblatt
- SCHRÖDER, ANGELA, SÜDEKUM, K.-H., WOLFRAM, S., 1999: Bewertung von Glycerin als Komponente in Wiederkäuerrationen, Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, S. 57
- SCHULZ, R., SCHUMANN, W., 1999: Rapsqualität in Abhängigkeit von Umweltfaktoren und Anbautechnik, Raps, 17 Jg 3, S. 128-130

- SCHUMANN, W., 1994: Glucosinolatgehalt der Rapsernte 1992 in Ostdeutschland, Veredlungsproduktion 1, S. 12
- SCHUMANN, W., 2002: Persönliche Mitteilung, Landesforschungsanstalt Mecklenburg Vorpommern
- SCHUSTER, W., 1992: Ölpflanzen in Europa, DLG-Verlags-GmbH Frankfurt am Main, 240 Seiten
- SCHWARZ, F.J., Kirchgessner, M., 1989: Verfütterung verschiedener Leguminosen an Sauen (Ackerbohne, Erbse, Lupine) und Rapsextraktionsschrot aus 0- und 00-Sorten in der Bullenmast, Züchtungskunde 61, S. 71-82
- SELL, H., 2001: Untersuchungen zum Einsatz von unzerkleinerter, mit NaOH behandelter Gersten- und Rapssaat in Rationen für Milchkühe, Diplomarbeit, Fachhochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Tierernährung
- SPIEKERS, H., SÜDEKUM, K.-H., 2002: Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot beim Wiederkäuer, UFOP-Praxisinformation
- SPRICK, PETRA; 2003: Es geht um faire Regeln, Neue Landwirtschaft 3, S. 78-79
- STEFFENSSON, B., R., HAUGEN, F. W., 1964: Selection of rape plants (*B. na pus*) with seed oil practically free from erucic acid. *Canad. J. Plant Sci.* 44, S. 359-364
- SÜDEKUM, K.-H., SPIEKERS, H., 2002: Raps- und Sojaextraktionsschrot neu bewertet, Kraftfutter 2, S. 62-68
- SÜDEKUM, K.-H., 2002: Glycerin als Futtermittel für Rinder, Schweine und Geflügel, In: UFOP-Schriften, Glycerin in der Tierernährung
- TÖPFER, R. 1994: Züchtung maßgeschneiderter Pflanzenöle für die Märkte von morgen, INNOVATION, Das DSV-Magazin für die moderne Landwirtschaft, Juni 1994, S. 12-15
- UFOP-Schriften, 2002: Glycerin in der Tierernährung, H. 17
- Veredlungsproduktion, 2003: Intensive Bullenmast mit Rapsextraktionsschrot, 1, S. 6-7
- Versuchsbericht Nr. 5/1993: Einsatz von 00-Rapsexpeller in der Bullenmast mit Fleckviehbullen ab 300 kg Lebendmasse, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf
- WEINREICH, O., RADEWAHN, P., KRÜSKEN, P., 2002: Futtermittelrechtliche Vorschriften, Textsammlung mit Erläuterungen, AGRIMEDIA, S. 186
- WOLFRAM, G., 1989: Bedeutung der Omega-3 Fettsäuren in der Ernährung des Menschen, Ernährungs-Umschau 36 (1989), S. 319-330

Impressum

Herausgeber	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl
Redaktion	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Fachbereich Tierische Erzeugung Dr. Ute Wanka, Dr. Hans-Joachim Alert, R. Wehlitz Am Park 3, 04886 Köllitsch Telefon: 034222/46-0 Telefax: -109 E-Mail: luise.fiedler@fb08.lfl.smul.sachsen.de Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum Thomas Heidenreich, Dr. Roland Klemm Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät Institut für Agrartechnik und Landeskultur Enrico Sieber, Dr. W. Frosch Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Landtechnik Prof. Wolfgang Büscher IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen Lichtenau Dr. G. Schmidt, K. Reichelt
Endredaktion	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Öffentlichkeitsarbeit Thomas Freitag
Redaktionsschluss	Mai 2003
Bildnachweis	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Satz	Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
Druck	Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
Auflage	1. Auflage, 140 Stück
Bezug	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Öffentlichkeitsarbeit August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden-Pillnitz Telefon: 0351/2612-138 Telefax: 0351/2612-151 E-Mail: thomas.freitag@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
Schutzgebühr	12,78 EUR

Diese Broschüre wurde auf chlorfrei gebleichtem sowie alterungsbeständigem Papier (ISO 9706) gedruckt. Die Alterungsbeständigkeit beträgt laut Zertifikat mehr als 200 Jahre.

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.