

Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft - der Weg zu einer neuen Beurteilungsgrundlage

Michael Kropsch^{1*}, Christoph Lechner², Sigrid Brettschuh¹, Johann Gasteiner¹,
Irene Mösenbacher-Molterer¹, Elfriede Ofner-Schröck¹, Bernhard Rudorfer¹,
Daniela Vockenhuber¹, Eduard Zentner¹

Zusammenfassung

In Österreich gerieten tierhaltende Betriebe als potenzielle Emittenten von Geräuschen und Lärm in den letzten Jahren zunehmend in das Blickfeld des öffentlichen Interesses. Dies betrifft zum einen den Bereich der Nutztierhaltung und zum anderen technische Anlagen in Stallungen und den landwirtschaftlichen Verkehr. Eines der wesentlichen Ziele des hier vorgestellten Projektes war, neben der Sammlung von Lärmemissionsdaten aus den Bereichen des landwirtschaftlichen Verkehrs und dem Sektor der Stalltechnik, die Ermittlung von Lärmemissionsdaten von Nutztieren.

Die Gesamtheit der während der Projektlaufzeit (2009 – 2012) gewonnenen schalltechnischen Daten und Erkenntnisse bildeten die Basis zur Erstellung eines Leitfadens für schalltechnische Sachverständige. Der, in Zusammenarbeit mit dem *Forum Schall*, entwickelte *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* stellt fundierte und umfassende Grundlagen für schalltechnische Beurteilungen von landwirtschaftlichen Betrieben dar. Die Erstellung des Leitfadens konnte im Frühjahr 2013 abgeschlossen werden; die Publikation kann – kostenfrei – über die Homepage des Umweltbundesamtes heruntergeladen werden (UMWELTBUNDESAMT, 2013).

Schlagwörter: Landwirtschaft, Nutztiere, Lärm, Immission, Emission

Summary

Farms in Austria are increasingly focused as potential sources of sounds and noise. Not only livestock husbandry is involved but also technical equipment and traffic related to agriculture. One essential aim of the here presented project was – apart from collecting sound emission data related to agricultural traffic and rural technical equipment – to generate noise emission data from livestock husbandry.

The entirety of collected acoustical data and knowledge which were gained during the project term (2009 – 2013) formed the basis for the creation of a noise expert guideline. In cooperation with *Forum Schall* the *Manual for the assessment of farm noise* was compiled. It represents a solid and wide base for acoustical assessments of farms. The guideline was completed in spring 2013 and can be downloaded free of charge from the homepage of the *Austrian Federal Environment Agency* (UMWELTBUNDESAMT, 2013)

Keywords: Farming, animal husbandry, noise, immission, emission

Einleitung

Im Beitrag des Autors zur letzten Bautagung (KROPSCH, 2011) wurde der 2008 am LFZ Raumberg-Gumpenstein ins Leben gerufene Fachbereich Schalltechnik in der Landwirtschaft vorgestellt. Im Rahmen der Darstellung des Aufgabenbereiches wurde auf ein (damals) laufendes Projekt hingewiesen, das sich mit der Ermittlung von Schall-emissionsdaten aus landwirtschaftlichen Quellen befasste. Mittlerweile sind zwei Jahre vergangen – das Forschungsprojekt konnte Ende 2012 abgeschlossen und in Form eines schriftlichen Leitfadens im Frühjahr 2013 publiziert werden.

Im nachfolgenden Beitrag wird, unter Verweis auf den *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* (UMWELTBUNDESAMT 2013), auf die Darlegung detaillierter Ergebnisse und Berechnungsansätze verzichtet. Vielmehr

soll hier ein genauere Blick auf die Projektarbeiten gerichtet und die Basisarbeiten zur Datengenerierung näher beleuchtet werden. Die dargelegten Informationen wurden weitestgehend dem Projektabschlussbericht (KROPSCH, 2012) entnommen. Mit der Veröffentlichung im vorliegenden Tagungsband sollen die wesentlichen Inhalte einer breiteren Öffentlichkeit zur Kenntnis gebracht werden.

Das Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein entwickelte, gemeinsam mit der Abteilung V/5 des BMLFUW und dem *Forum Schall*, einen Leitfaden für den Umgang mit Lärmemissionen und Lärmimmissionen aus der Landwirtschaft. Der *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* steht schalltechnischen Sachverständigen als Beurteilungsgrundlage zur Verfügung und liefert einen wesentlichen Beitrag zu einer einheitlicheren Bearbeitung von Lärmproblemen in der Landwirtschaft.

¹ LFZ Raumberg-Gumpenstein, Institut für Artgemäße Tierhaltung und Tiergesundheit, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

² Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Emissionen Sicherheitstechnik Anlagen, A-6020 INNSBRUCK

* Ansprechperson: Michael Kropsch, E-mail: michael.kropsch@raumberg-gumpenstein.at



Eine Kernaufgabe des Projektes war es, die Datenlage hinsichtlich landwirtschaftlicher Lärmemittenten und deren Emissionshöhen zu erweitern – mit Hauptaugenmerk auf die Nutztierhaltung. Die Erhebung der Daten erfolgte an Hand von Schallpegelmessungen auf dem Areal und in den Stallungen des LFZ Raumberg-Gumpenstein sowie auf österreichischen landwirtschaftlichen Betrieben.

Material und Methoden

Die Erfassung der Emissionsdaten für die Messgruppen *Landwirtschaftlicher Verkehr, Maschinen und Technik* und *Nutztiere* erfolgte mit einem Echtzeitschallanalysator der Type *nor140*. Dieses norwegische Fabrikat besitzt einen dynamischen Messbereich von 10 – 140 dB, einen integrierten Frequenzanalysator von 0,4 – 20.000 Hz und bietet die Möglichkeit zur direkten Aufzeichnung des Schalls im WAVE-Format. Zur Auswertung der Geräuschmessungen wurden die Software *NorReview* und für die Emissionsmodellierung *CadnaA*, ein etabliertes und leistungsstarkes Programm zur Berechnung von Lärmimmissionen, eingesetzt.

a) Landwirtschaftlicher Verkehr

Schalltechnische Emissionsdaten von landwirtschaftlichen Kraftfahrzeugen wurden bei einer großen Messkampagne im Juni 2010 auf dem Gelände des LFZ Raumberg-Gum-



Abbildung 1: Schalltechnische Emissionserhebung eines Arbeitsvorganges (Mikrofon in rechter mittlerer Bildhälfte)



Abbildung 2: Schalltechnische Emissionserhebung der Vorbeifahrt eines Hofladers (Mikrofon beiderseits des Weges)



Abbildung 3: Schalltechnische Emissionserhebung eines Ziegenmelkraumes



Abbildung 4: Schalltechnische Emissionserhebung einer Güllefassbefüllung (Mikrofon im Hintergrund)

penstein erhoben. Im Rahmen eines simulierten Arbeitsvorganges und einer standardisierten Vorbeifahrt wurden im Gesamten zwei Hoflader und 14 Traktoren, mit Baujahren zwischen 1976 und 2009 und einem Nennleistungsspektrum von 25 kW bis 101 kW, messtechnisch erfasst.

Die Messung der Arbeitsvorgänge erfolgte gemäß ÖNORM EN ISO 3746 auf einem Parkplatz, die Vorbeifahrtsmessungen auf einem Fahrweg in Anlehnung an die EU-RL 2009/63/EG. Für die – im Anschluss – erforderlichen Berechnungen wurden der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) und der Schallexpositionspegel (SEL) in Terzbändern ermittelt. Aus diesen Messparametern können die für Ausbreitungsrechnungen relevanten Schallkenndaten von Kraftfahrzeugen, der A-bewertete Schallleistungspegel (L_{WA}) und der A-bewertete längenbezogene Schallleistungspegel (L_{WA}'), berechnet werden.

b) Maschinen und Technik

Eine große Anzahl an nationalen und internationalen Herstellern bieten landwirtschaftliche Maschinen und Geräte in unterschiedlichen Ausführungen an – eine abschließende Ermittlung eines Referenzwertes der jeweiligen Geräteart ist aus diesem Grunde nur schwer möglich. Im Rahmen der Leitfadententwicklung wurde versucht, jene Gerätschaften bzw. Arbeitsvorgänge messtechnisch zu erfassen, die in der

landwirtschaftlichen Praxis eine bedeutende Rolle spielen. Exemplarisch wurden die A-bewerteten Schallleistungspegel folgender Maschinen / Tätigkeiten ermittelt: Melkstände von Rindern, Schafen und Ziegen (getrennt für Vakuumpumpe und Pulsator), Milchkühlanlage, Getreidequetsche, Ganzkornmühle, Gebläsemühle, Maismühle, Mischanlage, Fütterungsanlage für Schweine, Futtermischwagen, Elevator, Güllemixer, Tauchmotorrührwerk, Dickstoffgüllepumpe, Güllefassbefüllung mittels Vakuumpumpe.

Für jene Maschinen und Geräte, die in Innenräumen von Gebäuden zur Anwendung kommen, wurden die Innenpegel (Schalldruckpegel) in den Standorträumen während eines Betriebszyklus in Form des A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels ($L_{A,eq}$) an mehreren Messpunkten ermittelt. Ergänzend erfolgten eine photographische Dokumentation und die Ausmessung der Räume. Auf Basis der Kenntnis des Innenpegels und der schalltechnischen Eigenschaften eines Raumes, charakterisiert durch seine Gesamtoberfläche (Boden, Decke, Wände), der Oberflächenbeschaffenheit seiner Begrenzungsflächen sowie der Art der Einrichtung, kann der A-bewertete Schallleistungspegel ($L_{w,A}$) der Maschine / des Gerätes berechnet werden.

Für Maschinen, die vorwiegend im Freien zum Einsatz kommen, erfolgte die Erhebung der Emissionsdaten gemäß ÖNORM EN ISO 3746 am jeweiligen Einsatzort.

c) Lüftung und Abluftkamine

Die auf dem aktuellen Stand der Technik stehenden Lärmberechnungsprogramme bieten die Möglichkeit, die Richtwirkung von Abluftkaminen in die Immissionsberechnung miteinzubeziehen. Daraus ergibt sich jedoch für die landwirtschaftliche Lärmmodellierung ein Problem: die in die Berechnung einfließenden Korrekturwerte stammen von Untersuchungen an Schornsteinen mit großen Durchmessern (5 m - 7 m) – diese Datengrundlage kann nicht ohne weiteres auf Landwirtschaftskamine (ca. 0,3 m - 0,9 m) übertragen werden. Im Zuge der Leitfadententwicklung konnte im firmeneigenen Luft- und Geräuschprüfstand eines deutschen Ventilatorenherstellers die spezifische Abstrahlcharakteristik zweier Kamine unterschiedlichen Durchmessers (0,65 m und 0,82 m) ermittelt werden.

Im Abstand von zwei und vier Metern von der Ausblasöffnung wurden im Abstand von je 15° (Kreissegmente) Messpunkte gesetzt; der 0°-Messpunkt befand sich in geradliniger Verlängerung des Kamines. Zwei Ventilatoren mit jeweils einem Durchmesser von 0,63 m und 0,80 m, wurden während des Betriebes unter drei unterschiedlichen Leistungsstufen (100%, 66% und 33%) durchgemessen. Diese Betriebszustände gehen darüber hinaus mit unterschiedlichen Luftraten und Ausblasgeschwindigkeiten einher.



Abbildung 5: Prüfanordnung zur Erfassung der Richtwirkung (Abstrahlcharakteristik) und der Geräuschreduktion

Der Betrieb eines Ventilators unter unterschiedlichen Rotordrehzahlen geht einher mit einer Änderung der Höhe der Geräuschemissionen. Im Rahmen der Messkampagne im kombinierten Luft- und Geräuschprüfstand konnte die Reduktion der Schallemissionen bei verminderter Umdrehungszahl quantifiziert werden. Die erhaltenen Daten sind bspw. unerlässlich für die Immissionsprognose einer landwirtschaftlichen Lüftungsanlage unter Sommer- bzw. Winterluftrate.

d) Nutztiere

Durch das freundliche Entgegenkommen österreichischer Landwirte und Landwirtinnen konnten in insgesamt 105 Nutztierstallungen (Rinder, Schweine, Hühner, Puten, Gänse, Pferde, Schafe und Ziegen) rund 430 Einzelmessungen plus schalltechnischer Befundaufnahmen durchgeführt werden.

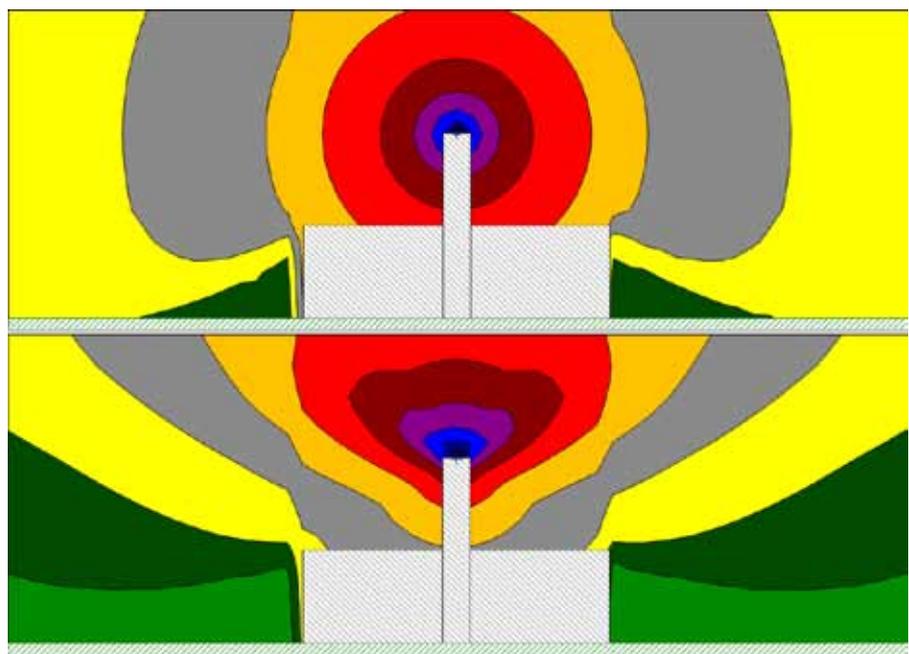


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Abstrahlcharakteristik eines Kamines ohne (oben) und mit (unten) Berücksichtigung der Richtwirkungskorrektur.

Im Bereich der Nutztierhaltung lassen sich - aus schalltechnischer Sicht - Phasen höherer Emissionsintensität (Lautstärke und Dauer) von solchen geringerer unterscheiden. Tierische Vokalisationen mit hohem Lautstärkepegel treten in erster Linie in „emotionalen Phasen“ auf (bspw. Fütterung). Davon können deutlich die „normalen Stallphasen“ unterschieden werden – zeitlich betrachtet (während des Beurteilungszeitraumes) spielen diese die Hauptrolle.

In Mehrfachmessungen (je größer ein Stall, desto höher die erforderliche Anzahl der Messpunkte), wurde der Stallinnenpegel in Form des energieäquivalenten Dauerschallpegels ($L_{A,eq}$) ermittelt und die Tierlaute als WAVE-Dateien aufgezeichnet. In einigen Stallungen konnten zusätzlich 12- bis 24-stündige Dauermessungen durchgeführt werden. Durch Langzeitmessungen lässt sich die zeitliche Variabilität einer Geräuschkulisse dokumentieren; in Abhängigkeit von der Tieraktivität und der Tätigkeiten im Stall können an Hand von Pegelverlaufskurven Tageszeiten höherer und niedriger Stallinnenpegel dargestellt werden.

Um die weiterführenden schalltechnischen Berechnungen durchführen zu können (Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A), schlossen an die Schallpegelmessungen jeweils eine Vermessung der Raumbegrenzungsflächen (Boden, Decke, Wände), die Erfassung der Anzahl der Tiere



Abbildung 7: Messung des Innenpegels ($L_{A,eq}$) in einem Zuchtsauenstall

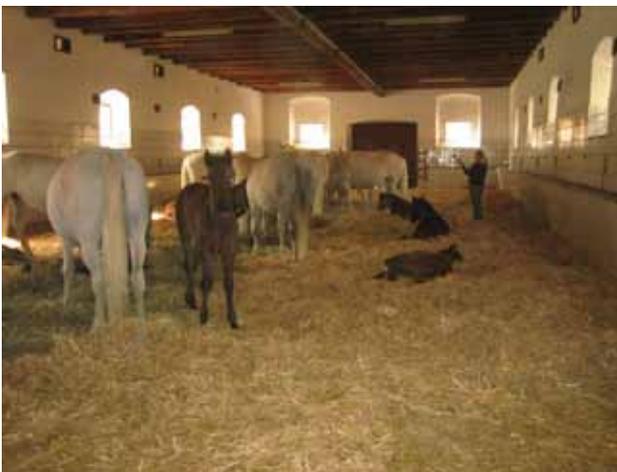


Abbildung 8: Messung des Innenpegels ($L_{A,eq}$) in einem Stall des Bundesgestüts Piber

im Stall sowie eine Abschätzung des mittleren Schallabsorptionsgrades α an.

Ergebnisse

a) Landwirtschaftlicher Verkehr

Die Fahrzeugemissionen im Arbeitseinsatz und während der Vorbeifahrt liegen für sämtliche Messobjekte (2 Hofläder und 14 Traktoren) mit einer hohen Genauigkeit (Standardabweichung $\sigma = 2$ dB) bei einem Schallleistungspegel von $L_{W,A} = 99$ dB bzw. bei einem längenbezogenen Schallleistungspegel für eine Fahrbewegung pro Stunde von $L_{W,A}^{\prime,1h} = 62$ dB. Für die Emissionsmodellierung bedeutet dies, dass zukünftig, ohne genauere Kenntnis der in der Praxis zum Einsatz kommenden landwirtschaftlichen Kraftfahrzeuge (Hersteller, Type, Baujahr, Nennleistung), ausreichend genaue Immissionsberechnungen erstellt werden können.

b) Maschinen und Technik

Auf Basis des ermittelten Rauminnenpegels und der schalltechnischen Eigenschaften des Einsatzraumes (Größe, Oberflächenbeschaffenheit der Begrenzungsflächen, Art der Einrichtung), wurden die A-bewerteten Schallleistungspegel ($L_{W,A}$) der Maschinen bzw. der Geräte berechnet. Die Ermittlung der Schallleistungspegel der im Freien betriebenen Maschinen erfolgte nach ÖNORM EN ISO 3746.

Stehen keine näheren Angaben eines Herstellers zu einem spezifischen Gerät zur Verfügung, so können die im Praxisleitfaden dargelegten exemplarischen Schallleistungspegel als Basis für Ausbreitungsrechnungen herangezogen werden.

c) Lüftung und Abluftkamine

Aus der Subtraktion des Messflächenschalldruckpegels (Mittelung der Schalldruckpegel der einzelnen Messpunkte) vom Schalldruckpegel am jeweiligen Messpunkt, kann das Richtwirkungsmaß DI_1 (von Ausblasöffnung in Richtung der einzelnen Messpunkte), errechnet werden. Deutlich trat eine frequenzabhängige Richtwirkung der Abstrahlcharakteristik der erfassten Kamine (Durchmesser 0,65 m und 0,82 m) zu Tage. Begründet liegt diese im Verhältnis des Rohrdurchmessers zur Wellenlänge; in Frequenzbändern mit Wellenlängen kleiner dem Kamindurchmesser treten deutliche Richtwirkungsunterschiede zu Tage, die in der Emissionsmodellierung zu berücksichtigen sind. Angaben in der Fachliteratur (HENN et al., 2008) decken sich mit diesem Ergebnis.

Ein Betrieb der Testventilatoren (Durchmesser 0,63 m und 0,80 m) mit unterschiedlichen Leistungsstufen zeigte hinsichtlich der resultierenden Geräuschemissionen deutliche Unterschiede: Ein Betrieb der Ventilatoren mit 66% Leistung (gegenüber 100%) zeigte eine Verringerung der Geräuschemissionen (A-bewerteter Schallleistungspegel $L_{W,A}$) um 11 – 13 dB. Ein Vergleich der Betriebsarten unter 33% und 100% Leistung ergab eine Emissionsreduktion von 29 – 31 dB.

d) Nutztiere

Die Ermittlung der Geräuschemissionsdaten von Nutztieren in der dargestellten Form ist ein absolutes Novum. Bis dato

gab es keine eingehenden Untersuchungen zu Lautstärke, Dauer, Häufigkeit und Intensität tierischer Schallemissionen. Eine Hand voll Publikationen beschäftigten sich zwar mit dem Thema Landwirtschaft und Lärm, jedoch vorwiegend aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes (DAVIES et al., 2005; EVANS et al., 2004; FRANKLIN et al., 2002). Die veröffentlichten Daten sind weitestgehend ungeeignet zur Verwendung in der Emissionsmodellierung bzw. Immissionsberechnung.

Durch Verschränkung der messtechnisch erhobenen „normalen“ und „emotionalen“ Stallphasen, unter Miteinbeziehung der tierspezifischen Ethologie, konnten gewichtete Emissionsansätze (Verhältnis „normaler“ zu „emotionaler“ Phasen) für die folgenden Nutztiergruppen bzw. Nutzungsrichtungen generiert werden: Milchviehhaltung, Mutterkuhhaltung, Rindermast, Schweinemast, Schweinezucht, Masthühner, Legehühner, Mastputen, Mastgänse, Sport- und Freizeitpferde, Zuchtpferdehaltung, Milchschafe, Fleischschafe, Milchziegen und Fleischziegen. Ergänzend dazu stellt der Praxisleitfaden fundierte Hintergrundinformationen zur Ethologie der einzelnen Nutztierarten zur Verfügung. Diese kompakte Zusammenstellung ermöglicht, dem nicht landwirtschaftskundigen Sachverständigen, die Entstehung und das Ausmaß von Geräuschemissionen im Rahmen der Nutztierhaltung nachzuvollziehen.

Erstmals steht mit dem *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* eine Beurteilungsgrundlage zur Verfügung, die es erlaubt, detaillierte und die Besonderheiten der Tierhaltung berücksichtigende Prognoserechnungen durchzuführen und verlässlichere Angaben zu Schallimmissionen aus der Nutztierhaltung zu machen.

Diskussion

Der vorgestellte *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* beschränkt sich als Beurteilungsgrundlage auf die schall- und lärmtechnische Behandlung von landwirtschaftlichen Betrieben, insbesondere in Verbindung mit Tierhaltung, unter Voraussetzung guter landwirtschaftlicher Praxis. Tätigkeiten auf Nutzflächen außerhalb der Hofstellen unterliegen nicht der Betrachtung und entziehen sich folglich der Beurteilung durch den Leitfaden.

Im Zuge der Projektplanung war ursprünglich angedacht, auch die Nutztierhaltung auf Freiflächen einer Beurteilung durch den Leitfaden zugänglich zu machen. Im Laufe der Datenerhebung trat jedoch klar zu Tage, dass Nutztiere bei Freilandhaltung zum Teil abweichende Verhaltensweisen (im Vergleich zur Stallhaltung) zeigen; daraus folgt, dass die – ausschließlich – in Stallräumen ermittelten Emissionswerte nicht ohne weiteres auf die Freilandhaltung (z. B. bei Hühnern) übertragen werden können. Für die Miteinbeziehung dieser Geräuschquellen in Emissionsmodellen fehlt somit die Grundlage. Die Klärung dieser Frage ist noch ausständig.

Danksagung

Als Projektleiter darf ich mich an erster Stelle bei den österreichischen Landwirten und Landwirtinnen bedanken, durch deren Entgegenkommen eine Erfassung der

Geräuschemissionen von Nutztieren erst möglich wurde. Ohne die Bereitschaft, schalltechnische Erhebungen in ihren Stallungen durchführen zu lassen, hätte die Fülle an tierischen Emissionsdaten nicht generiert werden können.

In diesem Zusammenhang auch ein herzliches Dankeschön der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark, der Abteilung 10 Land und Forstwirtschaft des Amtes der Kärntner Landesregierung, dem Landesverband der Geflügelwirtschaft Oberösterreich sowie dem Niederösterreichischen Landeszuchtverband für Schafe und Ziegen für die Kontaktherstellung zu zahlreichen Betrieben.

Ein aufrichtiger Dank auch der Firma Ziehl-Abegg AG, Deutschland. Durch die Zurverfügungstellung des kombinierten Luft- und Geräuschprüfstandes konnten im Rahmen der Leitfadenerweiterung Messungen zur Abstrahlcharakteristik von landwirtschaftlichen Abluftkaminen durchgeführt und neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Nur durch die Hilfe und Mitarbeit zahlreicher Kollegen und Kolleginnen, insbesondere sei hier mein Projektpartner Christoph Lechner erwähnt, konnte die Projektabwicklung und die Erstellung des *Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft* erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen werden. Ihnen allen sei an dieser Stelle nochmals ein besonderer Dank ausgesprochen.

Literatur

- DAVIES, H., M. WINTERS, E. MACINTYRE, C. PETERS, J. THOM and K. TESCHKE (2005): Noise and Hearing Loss in Farming. School of Occupational & Environmental Hygiene, University of British Columbia, Vancouver.
- EVANS J. P., R. T. WHYTE, J. S. PRICE, J. M. BACON, D. A. SEMPLE, A. J. SCARLETT and R. M. STAYNER (2004): Practical solutions to noise problems in agriculture. Silsoe Research Institute, Bedford and RMS Vibration Test Laboratory, Shropshire.
- FRANKLIN R. C., J. DEPCZYNSKI, K. CHALLINOR, W. WILLIAMS and L. J. FRAGAR (2002): Farm Noise Hazards: Noise Emissions during Common Agricultural Activities. Australian Centre for Agricultural Health and Safety, School for Rural Health, University of Sydney, Sydney.
- HENN, H., G. R. SINAMBARI, M. FALLEN (2008): Ingenieurakustik. Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele. Springer Verlag, Heidelberg.
- KROPSCH, M. (2011): Landwirtschaft und Lärm – eine Thematik von zunehmender Brisanz. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2011, 18. und 19. Mai 2011, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein 2011, 55-62
- KROPSCH, M. (2012): Abschlussbericht Lärmessung, Projekt Nr. 100483/1, Leitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft, LFZ Raumberg-Gumpenstein
- UMWELTBUNDESAMT (2013): Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft. www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/laerm/forumschall/

Bildnachweis

- CadnaA, Software zur Lärmberechnung, Lärmprognose und Lärmkartierung, Firma Datakustik, Greifenberg, Deutschland (*Abbildung 6*)
- LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning (*Abbildungen 1, 2, 3, 4, 5, 7 und 8*)