

GERHARD MANTEUFFEL und PETER C. SCHÖN

STREMODO, ein innovatives Verfahren zur kontinuierlichen Erfassung der Stressbelastung von Schweinen bei Haltung und Transport

Herrn Professor Dr. Ernst Ritter zum 75. Geburtstag gewidmet

Abstract

Title of the paper: **STREMODO, an innovative technique for continuous stress assessment of pigs in housing and transport**

Vocal utterances of animals are the results of emotional states in specific situations. Therefore, distress calls of pigs can be used as indicators of impaired welfare. An automatic system was developed that responds selectively to stress vocalisations and that registers and records their amount in the time domain. It can be applied in housing systems, during transports and in abattoirs. The patented technique is based on sequential records of the actual sound events in short time windows (92ms) and a parsimonious coding by 12 complex parameters (LPC-coefficients). A subsequent artificial neural network trained with respective parameters from porcine stress vocalisations is able to detect stress utterances with an error rate of less than 5 % even in noisy stables.

Key Words: pig, vocalization, stress, welfare, LPC, neural network

Zusammenfassung

Vokaläußerungen von Tieren resultieren aus emotionalen Erregungen in spezifischen Situationen. Daher können Distress-Schreie von Schweinen als Indikatoren für beeinträchtigtes Wohlbefinden verwendet werden. Es wurde ein automatisches System entwickelt, das selektiv auf Stressvokalisationen anspricht und ihre Anzahl pro Zeiteinheit erfasst und aufzeichnet. Es kann in Haltungssystemen, beim Transport und bei der Schlachtung eingesetzt werden. Das patentierte Verfahren beruht auf der sequentiellen Erfassung der aktuellen Schallereignisse in kurzen Zeitfenstern von je 92 ms und ihrer sparsamen Codierung durch jeweils 12 komplexe Lautparameter (LPC-Koeffizienten). Ein nachgeschaltetes neuronales Netzwerk, das mit den entsprechenden Parametern von Schweinestresslauten trainiert wurde, ist in der Lage, Distressvokalisationen in normalen Ställen auch bei Hintergrundlärm mit einer Fehlerrate unter 5 % zu erkennen.

Schlüsselwörter: Schwein, Vokalisation, Stress, Tiergerechtigkeit, LPC, Neuronales Netzwerk

1. Einleitung

Vokalisationen von Tieren stellen willkürlich erzeugte Äußerungen dar, die spezifische Emotionen ausdrücken. Diese können sowohl intern erzeugt sein als auch auf Einwirkungen äußerer Ereignisse beruhen (JÜRGENS, 1979; WEARY und FRASER, 1995; SCHRADER und TODT, 1998). Im Gegensatz zur menschlichen Sprache, bei der Bedeutungen nicht fest fixiert sind, werden tierische Lautäußerungen in aller Regel nach feststehenden Programmen erzeugt, die im Lauf der Artevolution erworben wurden und sich während der Ontogenese entwickeln. Daher sind in den meisten Fällen tierische Vokalisationen spezifisch und invariant mit inneren Zustandsvariablen verbunden.

Eine Veränderung des emotionalen Status kann sowohl die Ursache als auch die Wirkung veränderter physiologischer oder Verhaltensreaktionen sein. Diese Reaktionen können als Referenzwerte für Vokalisationen herangezogen werden, um z.B. ihre Bedeutung in Bezug auf Wohlbefinden oder Disstress aufzudecken (SCHRADER und ROHN, 1997). Der Bezug von tierischen Vokalisationen zu psycho-physiologischen Zuständen macht daher die Vokalisationsanalyse für das nichtinvasive Einschätzen von Wohlbefinden und Stress zu einem sehr brauchbaren Werkzeug. Dessen Herstellung erfordert grundsätzlich zwei Schritte: Zum Einen die formale Analyse, die die spezifischen Lauteigenschaften beschreibt, zum Anderen die semantische Analyse, mit deren Hilfe die Bedeutung einer bestimmten Lautäußerung auf der Basis von gleichzeitig erfassten physiologischen und ethologischen Reaktionen ermittelt wird.

Haltungsbedingungen und Transport können für Nutztiere stressbelastend sein, wenn ihr biologischer Bedarf nicht erfüllt wird oder akute aversive Reize auf sie einwirken. Besonders Schweine sind leicht stressbar. Psychischer Stress wird sensorisch wahrgenommen, führt dann zur Erregung von Teilen des limbischen Systems im Gehirn (MANTEUFFEL, 2002) und schließlich zur Aktivierung des sympathischen Nervensystems und der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenachse. Parallel dazu kontrollieren motorische Zentren Verhaltensreaktionen auf den Stressor. Eine davon ist unter bestimmten Umständen Vokalisation, ein Verhalten, das durch spezifische Kontraktionen von Muskeln im Pharynx und Larynx bei gleichzeitiger Expiration hervorgerufen wird. Bei Schweinen äußert sich dies in einem verhältnismäßig lang anhaltenden Schrei, der zahlreiche hochfrequente Anteile enthält (Abb.1).

Wir stellen hier ein für das Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere patentiertes Verfahren (Dt. Pat. Nr. 101 297 20) vor, das es erlaubt, Stressvokalisationen von Schweinen auch in Umgebungen mit akustischen Fremdgeräuschen, wie z.B. Ställen, kontinuierlich zu erkennen und zu registrieren (STREMODO: Stress Monitor- und Dokumentationssystem). Es beruht auf der Kombination des "Linear Prediction Coding" (LPC) Modells zur Gewinnung von numerischen Lautparametern und anschließender Klassifikation durch ein künstliches neuronales Netzwerk (SCHÖN et al., 2000; 2001).

2. Material und Methoden

Das LPC Modell nutzt Veränderungen des Eingangssignal, z.B. von einem Mikrofon, an Stelle des Signals selbst. Zu diesem Zweck wird das kontinuierliche analoge Spannungssignal des Mikrophons digitalisiert, und die daraus resultierenden Datenpunkte werden in aufeinanderfolgenden Paketen über ein bestimmtes Zeitfenster zusammengefasst (hier jeweils 2048 Datenwerte, entsprechend einem Zeitfenster von 92 ms bei einer Abtastrate von 22,05 kHz). Aus der Serie der anfallenden Pakete für jeden Laut werden für jedes Paket LPC-Koeffizienten erstellt (eine detaillierte Beschreibung findet sich in SCHÖN et al., 2001).

Das Ergebnis der LPC-Prozedur lässt sich so umformen, dass man formal das Quelle-Filter-Model der Lautproduktion (FANT, 1970) erhält.

$$X(z) = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^q a_k * z^{-k}} * E(z) \quad (1),$$

wobei a_k die LPC-Koeffizienten für ein Zeitfenster darstellen.

Dabei entsprechen die LPC-Koeffizienten den Filterkoeffizienten des Vokaltraktes, $X(z)$ dem abgestrahlten Lautsignal und $E(z)$ dem Anregungs- oder Quellsignal. Der Vokaltrakt wird dabei als Kaskadenfilter betrachtet. Ein Paar LPC-Koeffizienten beschreibt jeweils einen Filter. Das Lautmodell wird somit durch die LPC-Koeffizienten $a_1 \dots a_k$ erstellt.

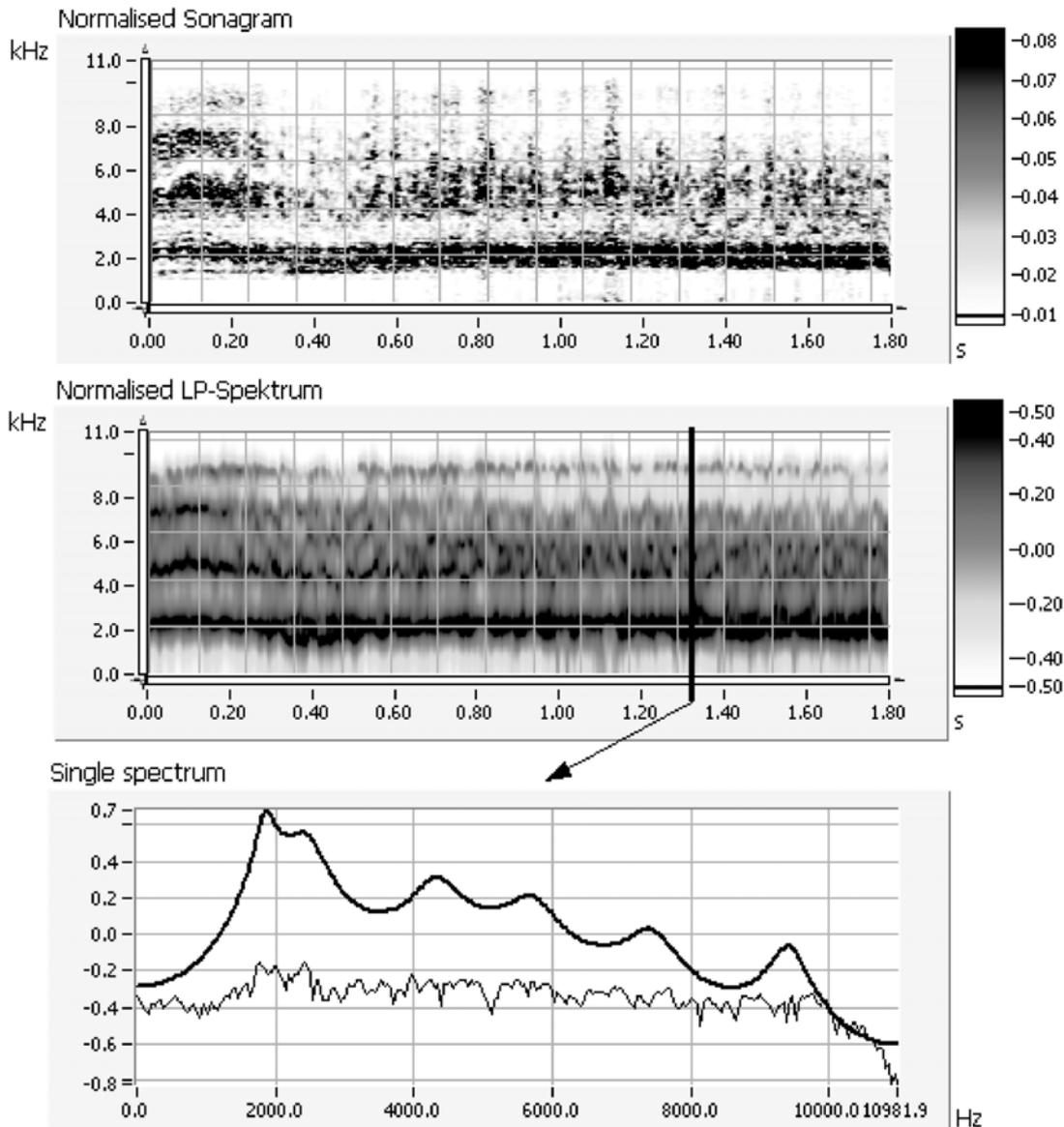


Abb. 1: Stress-Vokalisation eines Schweins. Fourier-Spektrogramm (oben), LPC-Spektrogramm (Mitte) und LPC- (dicke Linie) und Fourier-Spektrum (dünne Linie) zum markierten Zeitpunkt (unten). Die Graustufen der Spektrogramme repräsentieren die jeweilige relative Intensität. Die 6 Gipfel des LPC-Spektrums charakterisieren die Resonanzfrequenzen des Vokaltraktes (Stress vocalization of a pig. Fourier spectrogram (top), LPC-spectrogram (middle) and LPC- (bold line) and Fourier (thin line) spectrum at the indicated time (bottom). The grey scale of the spectrograms represent intensities. The 6 maxima of the LPC spectrum characterize the resonance frequencies of the vocal tract)

Damit reagiert das LPC-Modell empfindlich auf Veränderungen der Resonanzfrequenzen des Vokaltraktes und damit auch indirekt auf die motorische Anspannung, die dafür notwendig ist. Da bei hohen Resonanzfrequenzen höhere Spannungen (Versteifungen) im Vokaltrakt auftreten als bei niederen, ist dieses Modell sehr gut für die Registrie-

zung von Vokalisationen bei belastenden und emotional bedeutsamen Stresssituationen geeignet, die sich entsprechend durch hohe Frequenzbänder im Spektrum auszeichnen. Eine Polynomentwicklung erlaubt die Berechnung von LP-Spektren aus den LPC-Koeffizienten. Das daraus resultierende LP-Spektrogramm ähnelt dem klassischen Sonagramm auf der Basis von Fourier-Spektren, benötigt aber wesentlich weniger Beschreibungsparameter (Abb. 1). Damit ist die LPC-Methode unter den gegebenen Bedingungen sehr gut geeignet, ein kontinuierliches Modell der aktuellen Vokalisationen zu liefern, ohne dabei eine zu große Rechnerleistung zu erfordern.

Zur Erkennung der Stressvokalisationen von Schweinen wurden 12 LPC-Koeffizienten, entsprechend den 6 ersten Resonanzfrequenzen des Vokaltrakts, als optimal für die anschließende Klassifizierung ermittelt (SCHÖN et al., 2001). Diese erfolgt bei der hier vorgestellten Version von STREMODO mit einem 4-lagigen neuronalen Netzwerk des Perzeptron Typs (ROSENBLATT, 1962), das mit den LPC-Koeffizienten von Stressvokalisationen und Störgeräuschen trainiert wurde. Dabei bilden die 12 LPC-Koeffizienten eines Zeitfensters 12-dimensionale Eingangsvektoren für die Knoten ("Neuronen") der Eingangsschicht des Netzwerks. Diese ist vollständig verbunden mit 120 Neuronen der ersten, diese mit 60 Neuronen der zweiten Zwischenschicht. Die Ausgabe erfolgt durch zwei Neuronen (Stresslaut ja / nein). Es wurden sigmoide Aktivierungsfunktionen der Neuronen verwendet. Dies bewirkt bei jedem Neuron eine Normierung, so dass sehr geringe Eingangsgrößen keine Ausgangssignale erzeugen können und sehr große den Ausgangsmaximalwert von 1 nicht überschreiten. Jedes Neuron einer oberen Schicht ist mit jedem der darunter liegenden verbunden, d.h. überträgt seinen Ausgabewert mit einer individuellen Gewichtsfunktion auf dieses. Das Empfängerneuron summiert die gewichteten Eingangssignale und wandelt sie über die Sigmoidfunktion zu seinem skalaren Ausgangssignal, das den Neuronen der Folgeschicht übermittelt wird. Beim Training des Netzwerks werden die Gewichtsfunktionen der Übertragung so lange verändert, bis das gewünschte Netzwerkausgangssignal erhalten wird ("überwachtes Lernen", z.B. Error Backpropagation). Alternativ können auch selbstorganisierende Netzwerke, die die Eingangsvektoren ohne äußeres Fehlersignal klassifizieren (z.B. KOHONEN, 1982), verwendet werden.

Das Netzwerk wird zunächst mit LPC-Vektoren von Stress-Vokalisationen trainiert, bis diese sicher klassifiziert werden. Aufgrund des Generalisierungsvermögens von neuronalen Netzwerken können dann auch ähnliche LPC-Vektoren der antrainierten Klasse zugeordnet werden, falls in den zu klassifizierenden Signalen eine hinreichende Menge von Invarianten auftritt (Abb. 2). Mehrlagige Netzwerke sind dabei in der Lage, auch komplexe Invarianten zu detektieren. Ein Nachteil dieses Ansatzes liegt allerdings darin, dass solche nicht explizit beschrieben werden können, da den einzelnen gewichteten Übertragungen innerhalb des Netzwerkes wegen der typischen sub-symbolischen Informationsverarbeitung in neuronalen Netzwerken keine spezifisch repräsentative Funktion zukommt. Der erhebliche Vorteil liegt in der schnellen Berechenbarkeit, was die Klassifizierung nahezu in Echtzeit ermöglicht.

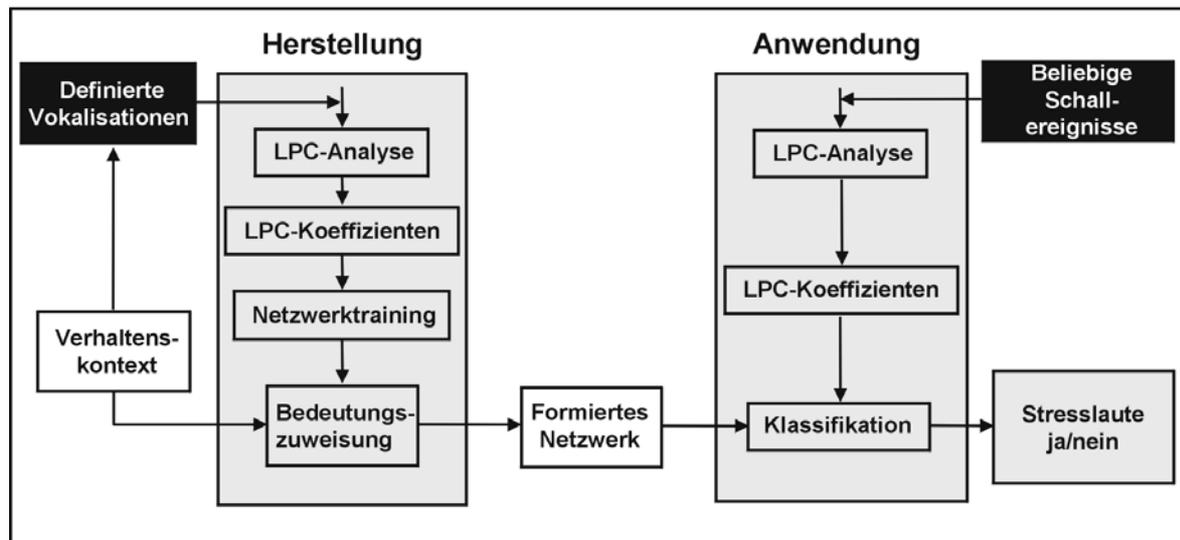


Abb. 2: Prozess der Erstellung des formierten STREMODO Klassifikationsnetzwerks mittels Training auf Stressvokalisationen (links) und der Anwendung (Production of a shaped STREMODO classification network by training for stress vocalizations (left) and its application)

Für das Training des Netzwerks wurden Stressvokalisationen von Schweinen verschiedenen Alters aus der Deutschen Landrasse Zuchtlinie des Forschungsinstituts in Dummerstorf verwendet. Die Vokalisationen wurden in einem schallgedämpften Raum mit einem Sennheiser MKE 46 Mikrophon auf einem Sony DCT-790 DAT-Recorder aufgenommen. Als Stressor wurde in jedem Fall Immobilisierung verwendet. Zwei Wochen alte Ferkel ($n = 10$) wurden aufrecht am Thorax angehoben, fünf Wochen alte Absetzferkel ($n = 10$) wurden auf dem Rücken liegend festgehalten (Backtest), und bei Sauen ($n = 10$) wurde eine Kiefernshlinge verwendet. Diese Stressoren bewirken nicht nur zuverlässig Stressvokalisationen, sondern auch stresstypische hormonelle Reaktionen, wie stark erhöhte Cortisol-, Adrenalin- und Noradrenalinwerte im Blutplasma (KANITZ et al., 1999; OTTEN et al., 2001), sowie bei wiederholter Anwendung stresstypische neurophysiologische und immunologische Veränderungen (KANITZ et al., 1998; TUCHSCHERER et al., 2002).

Das Antrainieren der Stressvokalisationen verschiedener Individuen in unterschiedlichen Situationen ermöglicht dem neuronalen Netzwerk, eine generalisierte Repräsentation der Lautäußerung zu bilden. Zusätzlich wurden LPC-Vektoren anderer Schweinevokalisationen (Grunzen, Säugegrunzen) und von technischem Lärm aus der Schweinehaltung als Beispiele für Laute, die keinen Stress darstellen, trainiert.

Als Ergebnis erhält man ein neuronales Netzwerk, das die LPC-Vektoren von Stressvokalisationen von denen anderer Laute und Geräusche unterscheidet. Nur die als Stresslaut klassifizierten LPC-Vektoren jedes Zeitfensters werden registriert und kontinuierlich bezogen auf eine Zeiteinheit von 10 s (entsprechend 108 Zeitfenstern) ausgegeben. Die Werte werden in einer Liste registriert und können graphisch als prozentualer Anteil in einer Zeiteinheit ($100 \cdot n_{\text{stress+}} / 108$) ausgegeben werden (Abb. 3).

3. Ergebnisse

Ein erster Testlauf des STREMODO Prototyps mit Vokalisationen definierten Typs, die zusammen mit dem Trainingsatz aufgenommen wurden, in diesem jedoch nicht enthalten waren, lieferte Klassifikationsresultate, die immer unter einer Falschklassifi-

zierungsquote von 5 % blieb (Tab.). Dabei wurde jeder einzelne LPC-Vektor bewertet. Falsch klassifizierte Vektoren von Stressvokalisationen führten zu keiner Ausgabe (falsch negativ), falsch klassifizierte Nicht-Stress Vektoren zu einer Ausgabe als Stress (falsch positiv).

Tabelle

Klassifizierungsergebnisse des STREMODO-Prototyps (Classification results of the STREMODO prototype)

Tiere (Alter)	n	Lautart	Klassifizierte LPC-Vektoren	Typ	Klassifikationsfehler (%)
Ferkel (2. Woche)	10	Schreie	1904	Stress	0,58
Ferkel (5. Woche)	7	Schreie	2476	Stress	0,85
Ferkel (2. Woche)	3	Grunzen	171	kein Stress	2,34
Ferkel (5. Woche)	3	Grunzen	245	kein Stress	2,04
Sauen (1. Laktation)	5	Säugegrunzen	60	kein Stress	1,67
Lärm	-	Stallgeräusche	1706	kein Stress	1,23

In einem weiteren Systemtest wurde die Stresslaut-Erkennung von STREMODO mit derjenigen von 6 menschlichen Experten (Techniker und Wissenschaftler mit häufigem Umgang mit Schweinen) verglichen. Dafür wurde jedem der Probanden sowie dem STREMODO-System dieselbe Aufnahme von 10 min Dauer aus einer kommerziellen Schweinehaltung präsentiert. Die Probanden hatten eine Taste zu drücken, immer wenn und solange sie meinten, eine Stressvokalisation zu hören. Die Registrierung der Einschätzungen der Probanden erfolgte in der gleichen zeitbezogenen Liste wie bei STREMODO.

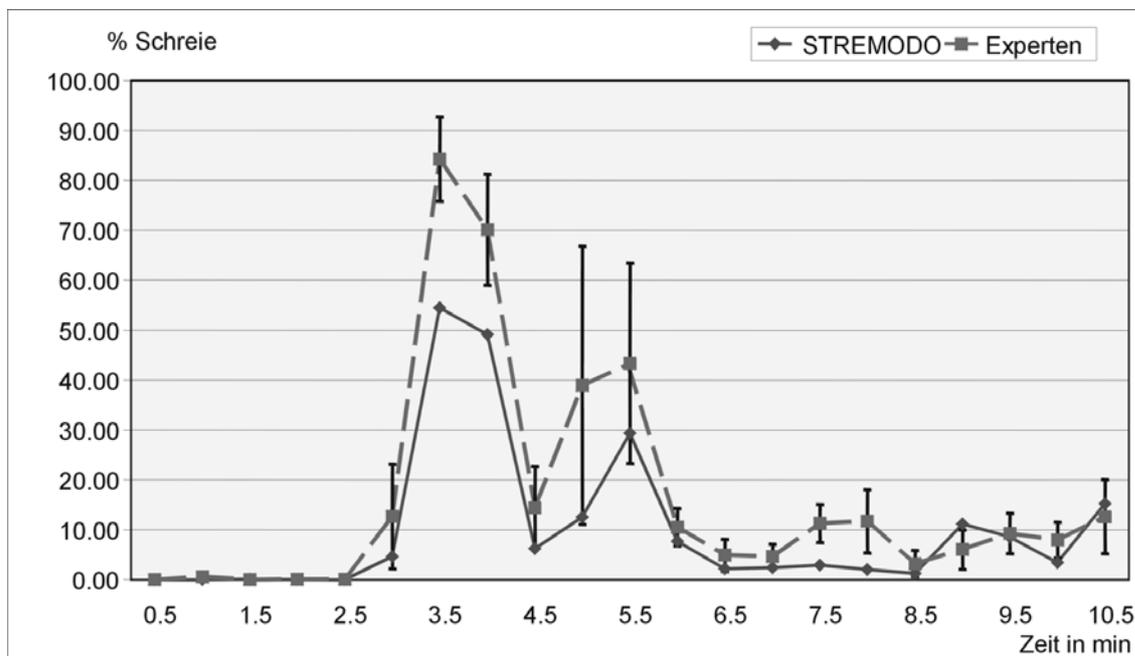


Abb. 3: Einschätzung der Rate von Stressvokalisationen in einem 10 min Beispiel von einer Audio-Video Aufnahme aus einer kommerziellen Schweinehaltung durch sechs unterschiedliche Experten (Mittelwert, Standardabweichung) und STREMODO. Weitere Erläuterungen im Text (Six experts' and STREMODO's estimation of stress vocalization-rate in a 10 min recording from a commercial pig plant (average, standard deviation). For further explanations see text)

Die Korrelation zwischen allen Probanden und STREMODO über die gesamte Aufnahmezeit war 0,84 (Spearman Korrelationskoeffizient, $p < 0,0001$). Die Extremwerte der

Korrelation einzelner Probanden mit STREMODO lagen bei 0,78 und 0,87. Insgesamt tendierten die Probanden dazu, das Aufkommen an Stressvokalisation im Vergleich zu STREMODO leicht zu überschätzen (Abb. 3). Dies lag daran, dass die Menschen Schwierigkeiten hatten, Beginn und Ende der Stressvokalisierungsperioden genau zu bestimmen (Effekt von Reaktionszeiten) und über den Zeitraum der Messung konzentriert zu bleiben.

Ein Praxistest mit STREMODO erfolgte in einer kommerziellen Schweinehaltungsanlage in Mecklenburg-Vorpommern. Das Aufnahmемikrophon war in 2 m Höhe zentral über einer Bucht (4,85 x 3,90 m², Betonspaltenboden) mit 24 Mastschweinen (Durchschnittsgewicht 50 kg) befestigt. Bei einer Troglänge von 1,50 m war ein Tier-Fressplatzverhältnis von 1:6 gegeben. Die Stressvokalisationsaufnahme und Dokumentation erfolgte in Echtzeit. Zusätzlich wurden die Tiere videoüberwacht. Die Auswertung des STREMODO-Protokolls (Abb. 4) ergab einen starken Anstieg in den Stressvokalisationen während der ersten beiden Fütterungszeiten. Die Videoaufzeichnung zeigte, dass dies verbunden war mit einem großen Wettbewerb der Tiere um den Fressplatz. Bei der dritten Fütterungszeit, als wesentlich weniger Stressvokalisationen registriert wurden, war dieser Wettbewerb geringer, vermutlich aufgrund der bis dahin erreichten Sättigung und dem Ruhebedürfnis der Tiere.

Im Vergleich dazu wurde in derselben Anlage in einer anderen Bucht mit einem 1:1 Tier-Fressplatzverhältnis während der Fütterungszeit kein erhöhtes Aufkommen an Stressvokalisationen gemessen.

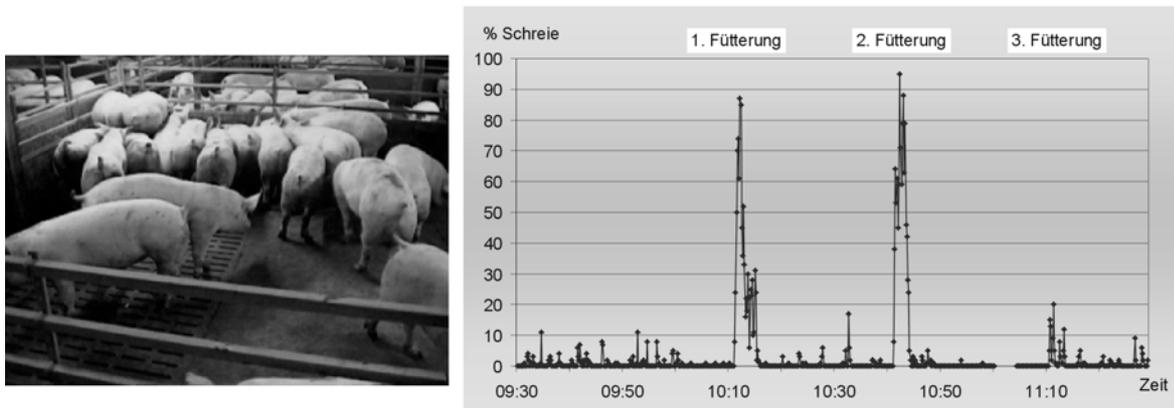


Abb. 4: Aufzeichnung der Stressvokalisationsrate durch STREMODO während der Fütterung in einer kommerziellen Schweineanlage bei einem Tier – Fressplatzverhältnis von 6:1. Weitere Erläuterungen im Text (STREMODO's record of stress vocalization-rate in a commercial pig plant with an animal-to-feeding-place ratio of 6:1 during feeding times. For further explanations see text)

4. Diskussion

Das System STREMODO für die Erkennung und Registrierung von Stressvokalisationen besteht aus einem Teilsystem für die LPC-Analyse, die eine kompakte und sparsame numerische Repräsentation des Lautes liefert, und der anschließenden Klassifikation dieser Daten mithilfe eines neuronalen Netzwerks. Die Leistungsfähigkeit liegt mit einer Fehlerquote unter 5 % in einem guten Bereich (DREYFUS, 1992; GRAMß und STRUBE, 1992). Das System ist daher geeignet, die Stressvokalisationen von Schweinen mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit zu erfassen, wie der Vergleich mit menschlichen Experten und die Anwendung in einem kommerziellen Schweinemastbetrieb zeigten. Das automatisch erstellte Protokoll des zeitbezogenen Aufkom-

mens von Stressvokalisationen liefert ein Werkzeug zur objektiven Darstellung von Belastungen der Tiere in kommerziellen Haltungsanlagen. Daneben kann STREMODO auch in der wissenschaftlichen Forschung eingesetzt werden, wenn in Langzeitbeobachtungen das Auftreten von Stressvokalisationen als Parameter herangezogen werden soll.

Zwei Eigenschaften von STREMODO sind in erster Linie für seine Eignung als universelles und kontinuierlich arbeitendes Überwachungssystem hervorzuheben. Es ist unempfindlich gegenüber Vokalisationen, die keinen Stress von Schweinen anzeigen, wie z.B. Grunzen sowie gegenüber menschlicher Sprache. Daneben ist es als technisches System immer aufnahme- und aufzeichnungsbereit. Durch seine Echtzeitfähigkeit nimmt es zu jedem Zeitpunkt Stresslaute auf und stellt eine Liste bzw. Graphik zur späteren Auswertung bereit.

Durch die Auswahl der Mikrophoncharakteristik und Platzierung ist es daneben möglich, den Aufnahmebereich zu kontrollieren. Die weite räumliche Aufnahmecharakteristik der meisten Mikrophone erlaubt die Überwachung großer Haltungsbereiche, solange eine Mindestlautstärke erreicht wird, deren Wert von der Empfindlichkeit des Mikrophones abhängt. Alle überschwelligen Stressvokalisationen werden in diesem Bereich registriert, unabhängig vom aktuellen Schalldruck am Mikrofon, da die Funktion von STREMODO nicht lautstärkeabhängig ist. Alternativ kann man bei Verwendung von Mikrofonen mit ausgeprägter Richtcharakteristik spezifische Bereiche eines Stalls überwachen.

Das automatisch erstellte Protokoll über das Aufkommen und den Zeitpunkt von Stressvokalisationen macht STREMODO zu einem geeigneten Mittel, die Stressbelastung auch in großen Schweineanlagen routinemäßig zu dokumentieren. Es kann damit z.B. den Verantwortlichen anzeigen, dass überdurchschnittliche Belastungen zu bestimmten Zeiten auftreten. So kann gezielt nach den möglichen Auslösern gesucht werden, um sie, wenn möglich, zu beseitigen. Auf diese Weise kann das System nicht nur besserem Wohlbefinden der Tiere dienen, sondern auch helfen, die Prozessqualität zu erhöhen, da es bekannt ist, dass erhöhtes Stressaufkommen die Immunabwehr schwächen und damit die Krankheitsanfälligkeit von Schweinen vergrößern kann (TUCHSCHERER und MANTEUFFEL, 2000; TUCHSCHERER et al., 2002). Desgleichen kann auch den Verbrauchern geringe Stressbelastung in einer Haltung nachgewiesen werden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen, nach Definition der tolerierbaren, vokal geäußerten Stressbelastung, bei der automatischen und objektiven Überwachung der Tiergerechtigkeit während des Transports und im Warte- und Treibebereich von Schlachthöfen. Hierbei ist die Unempfindlichkeit des Systems gegenüber Hintergrundgeräuschen und Lärm besonders vorteilhaft.

Literatur

DREYFUS, G.:

Neural Networks for the automatic recognition of handwritten digits. In: SCHUSTER, H. G. (ed) Applications of Neural Networks. Verlag Chemie, Weinheim, Germany (1992) pp 35-60

FANT, G.:

Acoustic Theory of Speech Production. Mouton: The Hague, The Netherlands (1970)

GRAMB, T.; STRUBE, H. W.:

Word recognition with a fast learning neural net. In: SCHUSTER, H. G. (ed) Applications of Neural Networks Verlag Chemie, Weinheim, Germany (1992) pp 223-237

- JÜRGENS, U.:
Vocalization as an emotional indicator. A neuroethological study in the squirrel monkey. *Behaviour* **69** (1979), 88-117
- KANITZ, E.; MANTEUFFEL, G.; OTTEN, W.:
Effects of weaning and restraint stress on glucocorticoid receptor binding capacity in limbic areas of domestic pigs. *Brain Res.* **804** (1998), 311-315
- KANITZ, E.; OTTEN, W.; NÜRNBERG, G.; BRÜSSOW, K. P.:
Effects of age and maternal reactivity on the stress response of the pituitary-adrenocortical axis and the sympathetic nervous system in neonatal pigs. *Animal Sci.* **68** (1999) 519-526
- KOHONEN, T.:
Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biol. Cybern.* **43** (1982), 59-69
- MANTEUFFEL, G.:
Central nervous regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and its impact on fertility, immunity, metabolism and animal welfare – a review. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **45** (2002), 575-596
- OTTEN, W.; KANITZ, E.; TUCHSCHERER, M.; NÜRNBERG, G.:
Effects of prenatal restraint stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympatho-adrenomedullary axis in neonatal pigs. *Animal Sci.* **73** (2001), 279-287
- ROSENBLATT, F.:
Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan Books: Washington D.C., USA (1962)
- SCHÖN, P.C., PUPPE, B.; MANTEUFFEL, G.:
Classification of stress calls of domestic pigs (*Sus scrofa*) using LPC-analysis and a self organizing neural network. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **43** (2000) Sonderheft, 177-183
- SCHÖN, P. C.; PUPPE, B.; MANTEUFFEL, G.:
LPC-analysis and Self Organizing Feature Map (SOFM) as tools to classify stress calls of domestic pigs (*Sus scrofa*). *J. Acoust. Soc. Am.* **110** (2001), 1425-1431
- SCHRADER, L.; TODT, D.:
Vocal quality is correlated with levels of stress hormones in domestic pigs. *Ethology* **104** (1998), 859-876
- SCHRADER, L.; ROHN, C.:
Lautäußerungen von Hausschweinen als Indikator für Stressreaktionen. *Landbauforschung Völknerode* **47** (1997), 89-95
- TUCHSCHERER, M.; KANITZ, E.; OTTEN, W.; TUCHSCHERER, A.:
Effects of prenatal stress on cellular and humoral immune responses in neonatal pigs. *Vet. Immunol. Immunopathol.* **86** (2002), 175-203
- TUCHSCHERER, M.; MANTEUFFEL, G.:
Die Wirkung von psychischem Streß auf das Immunsystem. Ein weiterer Grund für tiergerechte Haltung (Übersichtsreferat). *Arch. Tierz., Dummerstorf* **43** (2000), 547-560
- WEARY, D. M.; FRASER, D.:
Calling by domestic piglets: reliable signals of need? *Animal Behav.* **50** (1995), 1047-1055

Eingegangen: 19.11.2003

Akzeptiert: 27.02.2004

Anschrift der Verfasser
Prof. Dr. GERHARD MANTEUFFEL; Dr. PETER C. SCHÖN
FBN-Dummerstorf
FB Verhaltensphysiologie
Wilhelm-Stahl-Allee 2
D-18196 Dummerstorf

E-Mail: manteuff@fbn-dummerstorf.de