

Auf dem Weg zur radarbasierten Rinderüberwachung: Erste Überlegungen, Aufbauten und Ergebnisse

Towards Radar-Based Cattle Monitoring: Initial Considerations, Setups and Results

Markus Ulbricht, Vladica Sark, Rizwan Tariq Syed, Johann Paale Gose

IHP – Leibniz Institut für innovative Mikroelektronik,
Frankfurt (Oder), Deutschland,
[ulbricht | sark | syed | gose]@ihp-microelectronics.com

Gundula Hoffmann

ATB - Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie,
Potsdam, Deutschland,
ghoffmann@atb-potsdam.de

Kurzfassung

Die Überwachung der Gesundheit von Nutztieren ist sowohl für die Agrarwirtschaft als auch aus ethischer Sicht unerlässlich. Automatisierte, sensorbasierte Verfahren können Tierärzte entlasten, eine lückenlose Kontrolle ermöglichen und Behandlungen präziser gestalten. Ein besonders vielversprechender Ansatz ist die Radarüberwachung, die ein kontaktloses, gleichzeitiges Monitoring von Herzfrequenz und Atmung mehrerer Tiere erlaubt. In dieser Arbeit setzen wir zwei ursprünglich für die Humanmedizin entwickelte Radarsysteme bei Kühen ein und präsentieren sowie diskutieren die erzielten Ergebnisse und mögliche Verbesserungen.

Abstract

Monitoring the health of livestock is essential both for the agricultural sector and from an ethical perspective. Automated, sensorbased approaches can ease the workload of veterinarians, enable continuous monitoring, and make treatments more targeted. A particularly promising method is radar-based monitoring, which allows simultaneous, contactless measurement of heart rate and respiration in multiple animals. In this work, we apply two radar systems originally developed for human medicine to dairy cows and present as well as discuss the obtained results and potential improvements.

1 Motivation und Einleitung

Deutschland ist nach wie vor stark von der Agrarwirtschaft geprägt. Im Jahr 2020 entfielen von den exportierten Waren im Gesamtwert von 1.205 Milliarden Euro rund 7 % auf Agrarprodukte. Tierische Erzeugnisse machten dabei etwa 61 % der Verkaufserlöse und rund 46 % des gesamten Produktionswertes der Landwirtschaft aus [1]. Angesichts der großen Zahl an Tieren in diesem Sektor können Krankheiten die Produktionsraten und die Qualität von Produkten wie Milch und Fleisch erheblich beeinträchtigen. Um solche Einflüsse zu vermeiden und zugleich das Wohl der Tiere zu gewährleisten, kommt der Überwachung der Tiergesundheit in der Nutztierhaltung eine zentrale Bedeutung zu. Aktuell findet die Überwachung im Wesentlichen durch den Landwirt selbst, sowie durch veterinärmedizinische Untersuchungen statt. Dies wird jedoch meist händisch an einzelnen Individuen durchgeführt und kann deshalb, aufgrund der Größe der Herde, nur stichprobenartig geschehen, woraus sich gewisse Unsicherheiten und damit potentielle Risiken ergeben. Dabei bietet die frühzeitige Warnung bei individuellen Abweichungen durchaus Vorteile, die sie eine schnelle Handlung und ggfs. Reduktion der Medikamentengaben ermöglicht. Darauf abzielende, automatisierte Methoden, wie z.B. RFID-

oder im Pansen befindliche Bolus-Sensoren haben jedoch die wesentlichen Nachteile, dass sie, je nach Art, entweder invasiv, kostspielig, funktions- oder reichweitenbegrenzt sind. Radarbasierte Lösungen sind hier eine lohnenswerte Alternative. So versprechen aktuell untersuchte Lösungen mit auf FMCW (frequency modulated continuous wave) basierten MIMO (multiple input multiple output) Radaren die kontaktlose Überwachung der Vitalparameter mehrerer Tiere gleichzeitig, womit sie sich ideal für die Überwachung von Tieren in Herden eignet [2]. Das vorliegende Papier untersucht die Eignung zweier radarbasierter Lösungen für die Überwachung von Kühen: das in einem Vorläuferprojekt für die Humanmedizin entwickelte iCampus-Radar und ein kommerzielles und ebenfalls für Menschen entwickeltes Radar von Texas Instruments. Dabei präsentieren wir erste Versuchsaufbauten, zeigen vorläufige Messergebnisse und diskutieren geplante Schritte um die Qualität der bisherigen Messungen zu verbessern.

2 Stand der Technik

Aktuell werden in der Milchviehhaltung vor allem Beschleunigungs- und Temperatursensoren zur Überwachung der Tiergesundheit eingesetzt. Diese sind in

der Regel an einem Halsband oder per Pedometer am Bein der Tiere befestigt. Sie erfassen dabei vor allem das Tierverhalten und informieren den Landwirt, wenn es Abweichungen vom Normalverhalten (z. B. erhöhte Aktivität, reduzierte Wiederkauzeit) gibt. Neuere Entwicklungen ermöglichen jedoch auch die Überwachung von physiologischen Parametern am Einzeltier. So kann per Pansenbolus (z.B. smaXtec, Graz, Österreich) die Körpertemperatur und per Nasenclip (Gouna, Schönwalde) oder Infrarotkamera die Atemfrequenz gemessen werden. Die kontaktlose Überwachung von Nutztieren mittels Funkwellen findet zurzeit noch keinen breiten Einsatz, ist aber aufgrund ihrer wesentlichen Vorteile Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten. Die Aktivitäten erstrecken sich dabei über verschiedene Technologien wie FMCW [3], UWB [4] oder WLAN [5] und zielen darauf ab, je nach Einsatzgebiet – etwa beim Menschen, bei Haus- oder Nutztieren – jeweils angepasste und optimale Ergebnisse zu erzielen. Bei Menschen liegt der Fokus häufig auf kritischen Anwendungsfällen, etwa im Krankenhaus oder im Fahrzeug [6], und teilweise existieren bereits erste kommerzielle Lösungen. Die Qualität der Ergebnisse wird dabei oft durch Verfahren wie Sensorfusion oder KI-basierte Methoden [6] erheblich verbessert. Für Tiere sind solche Systeme jedoch noch nicht etabliert, und es bestehen weiterhin mehrere komplexe Herausforderungen, die es zu lösen gilt.

3 Durchführung & Versuchstiere

Die für die vorliegenden Untersuchungen vorgenommenen Messungen an Kühen wurden in einem Milchviehstall der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht (LVAT) in Groß Kreutz durchgeführt. Bei dieser Anlage handelt es sich um einen Liegeboxenlaufstall mit freiem Kuhverkehr und Spaltenboden. Der Stall beherbergt durchschnittlich 120 laktierende Milchkühe (1. bis 8. Laktation). Die Versuchstiere waren zwei Milchkühe der Rasse Holstein-Friesian: Kuh 138 (geb. 10.10.2019, 4. Laktation, 223. Laktationstag, durchschnittlich 40,1 kg Milch / Tag) und Kuh 251 (geb. 30.9.2021, 2. Laktation, 165. Laktationstag, 34,7 kg Milch / Tag).

4 iCampus-Radar

Im Rahmen des iCampus-Projekts wurde ein Dauerstrichradar (CW-Radar) zur Überwachung menschlicher Vitalfunktionen wie Atmung und Herzaktivität entwickelt. Dieses Radar erfasst minimale Hautverschiebungen, die durch Thoraxbewegungen und herzbedingte Vibrationen hervorgerufen werden. In diesem Beitrag präsentieren wir Testergebnisse, die mit demselben Radarsystem bei Tieren, insbesondere Kühen, erzielt wurden. Auch bei Kühen erzeugen Atmung und Herzaktivität messbare Oberflächenverschiebungen. Bewegungen entlang der radialen Achse des Radars werden beson-

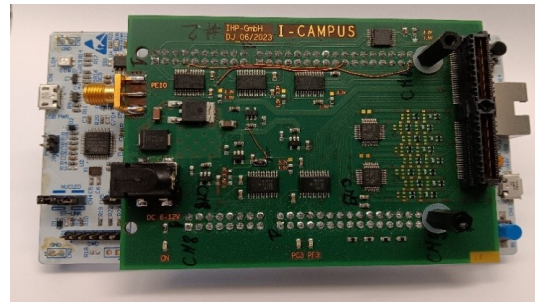


Bild 1: Datenerfassungsplatine

ders gut erfasst und können vom CW-Radar zuverlässig detektiert werden. Die radiale Verschiebung – d. h. die Verschiebung entlang der radialen Achse des Radars – kann wie folgt berechnet werden:

$$\Delta R = \frac{\lambda}{4\pi} \Delta\phi$$

Hierbei ist ΔR die geschätzte radiale Verschiebung des betrachteten Objekts, $\Delta\phi$ die gemessene Phasenverschiebung des empfangenen Radarsignals und λ dessen Wellenlänge. Die Phase des empfangenen Signals ist direkt proportional zur Entfernung zwischen Radar und Ziel. Das CW-Radar-Rücksignal umfasst die durch Atmung und Herzaktivität hervorgerufene Bewegung der Hautoberfläche des Tieres sowie Bewegungen, die durch allgemeine Körperbewegungen entstehen. Die Trennung von Vitalsignalen von Signalen, die durch die grobmotorischen Bewegungen des Tieres verursacht werden, ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Es wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen, darunter die empirische Modenzerlegung, Filtertechniken (z. B. Bandpass- und Kalman-Filter) und maschinelle Lernverfahren. Die Bandpassfilterung ist aufgrund ihrer Einfachheit und Eignung für die Implementierung auf eingebetteter Hardware oft die Methode der Wahl. Beim Bandpassfilterverfahren werden typischerweise zwei Filter entworfen und auf das empfangene Signal angewendet. Der Filter mit der niedrigeren Mittenfrequenz dient der Extraktion des Atmungssignals, während der Filter mit der höheren Mittenfrequenz die Herzaktivität isoliert. Bei dieser Methode ist es wichtig, dass sich Atmungs- und Herzfrequenz nicht überlappen. In Fällen, in denen Überlappungen auftreten können, können zusätzliche Signalverarbeitungstechniken eingesetzt werden, um die Komponenten effektiver zu trennen. Zum Zweck der Überwachung von Vitalparametern wurde ein „Single Input Multiple Output“ (SIMO) (1 TX und 8 RX-Antennen) CW-Radar [7] zusammen mit einem entwickelten Radardaten-erfassungssystem verwendet. Das entwickelte Datenerfassungssystem Bild 1 verfügt insgesamt über 16 analoge Kanäle (bzw. 8 differenzielle) zur Erfassung des analogen Radarsignals sowie über 32 General-Purpose-Input/Output-Kanäle zur Steuerung der Radar-funktionen. Die maximale Abtastrate beträgt 32 kHz pro Kanal. Dieses Datenerfassungssystem wurde in Kombination mit dem oben ge-

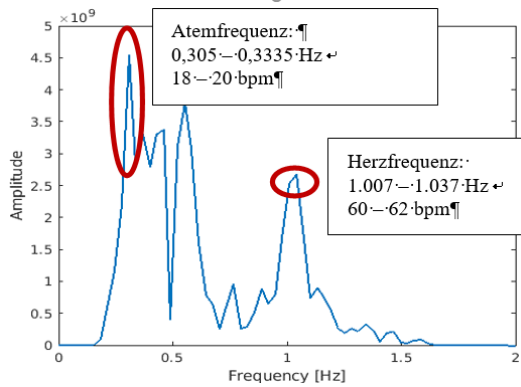


Bild 2: Spektrum des empfangenen Radarsignals

nannten Radar für die ersten Messungen, d. h. die Datenerfassung, eingesetzt. Die ersten Messungen wurden am ATB Potsdam durchgeführt. Der Referenzwert für die Atemfrequenz wurde mithilfe eines Nasenclips (Gouna GmbH, Schönwalde, Deutschland) ermittelt, und der Referenzwert für die Herzfrequenz wurde mithilfe eines Faros 180 (Mega Electronics, Kuopio, Finnland). Die Referenz-Atemfrequenz lag im Bereich von 16 bis 20 Atemzügen pro Minute (bpm) und die Herzfrequenz im Bereich von 58 bis 62 Schlägen pro Minute (bpm). Die vorläufigen Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt. Die Abbildung zeigt das erhaltene Spektrum der Phase des Radarsignals. Es sind deutliche Peaks erkennbar – einer entspricht der Atemfrequenz und ein weiterer der Herzfrequenz. Aufgrund der geringen Frequenzauflösung wird angenommen, dass die tatsächliche Atem- bzw. Herzfrequenz zwischen den beiden höchsten Punkten des jeweiligen Peaks liegt. Die geschätzten Werte für die Atemfrequenz liegen zwischen 18 und 20 bpm und für die Herzfrequenz zwischen 60 und 62 bpm, was hervorragend mit den gemessenen Referenzwerten übereinstimmt.

5 TI Radar

Das Evaluierungsboard AWR1642BOOST von Texas Instruments (TI), das aus einem Ein-Chip-FMCW-Radarsensor besteht, wird zur Messung der Vitalparameter von Kühen verwendet. Radargeräte können winzige Brustbewegungen, die durch Atmung und Herzschlag verursacht werden, aus der Ferne erkennen, sodass keine physischen Sensoren oder tragbaren Geräte erforderlich sind. Durch die Analyse der Phasenänderungen in den reflektierten Radarsignalen kann das AWR1642BOOST die Atemfrequenz und Herzfrequenz in Entfernungen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern ermitteln.

5.1 Firmware und Messungen

Für erste Tests haben wir die von Texas Instruments (TI) bereitgestellte Firmware für Vitalparameter ver-

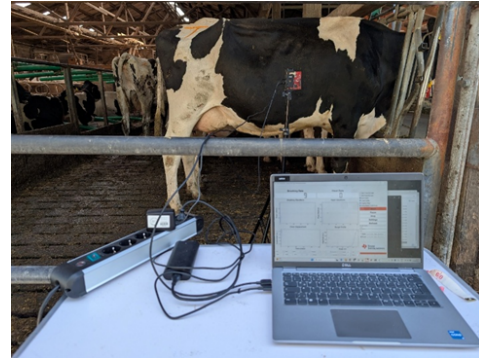


Bild 3: Aufbau zur Messung der Vitalparameter mit dem TI-AWR1642BOOST-Evaluierungsboard

wendet. Die Firmware enthält eine Demo-Binärdatei für die Messung von Vitalparametern und eine grafische Benutzeroberfläche zur Überwachung der entsprechenden Parameter. Die Binärdatei wird auf die Radarkarte AWR1642BOOST geflasht, wo die Rohdaten des Radars auf dem Chip verarbeitet werden. Die Firmware berechnet die Herzfrequenz und Atemfrequenz mithilfe verschiedener Signalverarbeitungsmethoden und überträgt die Ergebnisse über eine UART-Schnittstelle an einen PC. Anschließend werden die gemessenen Herzfrequenz- (HR) und Atemfrequenzwerte (BR) über eine Qt-basierte GUI angezeigt. Die HR- und BR-Daten werden ebenfalls als Binärdatei gespeichert, die zur weiteren Visualisierung und Analyse in MATLAB exportiert werden kann. Die von TI bereitgestellte Firmware schätzt die HR und BR anhand von vier Methoden: 1) FFT-basiert, 2) Peak-Zählung, 3) Erweitertes Frequenzband (4 Hz) und 4) Autokorrelationsbasiert. In dieser Studie wird die Peak-Zählmethode zur Messung der Vitalparameter von Menschen und Kühen betrachtet. Hierbei handelt es sich um eine Zeitbereichsmethode, bei der die Anzahl der Peaks in der gefilterten Wellenform gezählt und die Rate auf der Grundlage eines Zeitfensters berechnet wird. Die Radarplatte wird in einem Abstand von etwa 1,5 Metern zur Kuh platziert, wie in Bild 3 dargestellt. Für die Messungen am Menschen wurden die Experimente in einem Raum durchgeführt, in dem sich die Testperson in einem Abstand von etwa 1,5 Metern zum Radar befand.

5.2 Messungen zu BR und HR

Wir haben Messungen sowohl an Kühen als auch an Menschen durchgeführt. Ein MightySat-Pulsoximeter wurde verwendet, um die Referenzmessungen (Goldstandard) für HR und BR zu erhalten. Bild 4 zeigt die BR- und HR-Messergebnisse für Menschen, während Bild 5 die BR- und HR-Messergebnisse für Kühe zeigt. Eine kontinuierliche goldene Referenz für Herzfrequenz und Atemfrequenz konnte nicht aufgezeichnet werden, da keine speziellen Sensoren verfügbar waren. Im Allgemeinen liegt die Herzfrequenz einer erwachse-



Bild 4: BR und HR Bestimmung beim Menschen

nen Kuh zwischen etwa 48 und 84 Schlägen pro Minute, und die Atemfrequenz liegt typischerweise zwischen 26 und 50 Atemzügen pro Minute, abhängig von der Rasse und den Umgebungsbedingungen. In unserem Aufbau wurde eine einzelne BR-Referenzmessung von 22 bpm mit einem Atmungssensor in der Nähe der Nasenlöcher der Kuh und eine einzelne HR-Referenzmessung von 62 bpm mit einem Stethoskop durchgeführt. Die schattierten Bereiche in Bild 4 und 5 zeigen Zeitintervalle, in denen sich der Mensch/die Kuh bewegte. Bild 4 zeigt die mit der Peak-Counting-Methode geschätzte menschliche BR. Die Peak-Counting-Messungen schwanken um den vom Mightysat-Gerät erhaltenen Referenzwert. Bei der menschlichen HR-Schätzung stabilisiert sich die Peak-Counting-Methode nach einiger Zeit, weist jedoch immer noch einen Fehler von mehr als 20 bpm auf. Im Fall von Kühen zeigt Bild 5 den mit der Peak-Counting-Methode geschätzten BR. Im Vergleich zur einmaligen Referenzmessung von 22 Schlägen pro Minute weist die Peak-Counting-Methode jedoch einen Fehler von etwa 7 Schlägen pro Minute auf. Bei der HR-Schätzung in Bild 5 stabilisiert sich die Peak-Counting-Methode nach einiger Zeit, weist jedoch immer noch einen Fehler von mehr als 10 Schlägen pro Minute auf.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass beide Radare grundsätzlich zur Erfassung von Vitalparametern bei Kühen geeignet sind. Das iCampus-Radar liefert dabei die zuverlässigsten und mit den Referenzwerten übereinstimmenden Ergebnisse. Das TI-Radar ist mit der vorhandenen Firmware nur eingeschränkt nutzbar, ermöglicht jedoch durch den Zugriff auf Rohdaten weitere Verbesserungen. Daher werden wir beide Ansätze weiterverfolgen – das iCampus-Radar zur präzisen Referenz und das TI-Radar als flexible Plattform für zukünftige Signalverarbeitung.

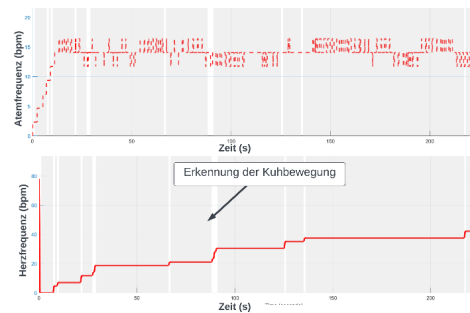


Bild 5: BR und HR Bestimmung beim Kühen

Literatur

- [1] BMLEH, 'Daten und Fakten - Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau', Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat, Jul. 2022. Ac-cessed: Nov. 18, 2025. [Online]. Available: https://www.bmlch.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/daten-fakten-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- [2] Ahmad, J. C. Roh, D. Wang, and A. Dubey, 'Vital signs monitoring of multiple people using a FMCW millimeter-wave sensor', in 2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18), Apr. 2018, pp. 1450–1455. doi: 10.1109/RADAR.2018.8378778.
- [3] Y. Wang, Z. Wang, J. A. Zhang, H. Zhang, and M. Xu, 'Vital Sign Monitoring in Dynamic Environment via mmWave Radar and Camera Fusion', IEEE Trans. on Mobile Comput., vol. 23, no. 5, pp. 4163–4180, May 2024, doi: 10.1109/TMC.2023.3288850.
- [4] P. Wang et al., 'Non-Contact Vital Signs Monitoring of Dog and Cat Using a UWB Radar', Animals, vol. 10, no. 2, p. 205, Jan. 2020, doi: 10.3390/ani10020205.
- [5] J. Liu, Y. Wang, Y. Chen, J. Yang, X. Chen, and J. Cheng, Tracking Vital Signs During Sleep Lever-aging Off-the-shelf WiFi. 2015, p. 276. doi: 10.1145/2746285.2746303.
- [6] A. El Abbaoui, D. Sodoyer, and F. Elbahhar, 'Contactless Heart and Respiration Rates Estimation and Classification of Driver Physiological States Using CW Radar and Temporal Neural Networks', Sensors, vol. 23, no. 23, p. 9457, Nov. 2023, doi: 10.3390/s23239457.
- [7] B. Sütbas, H.J. Ng, M.H. Eissa, C. Carta, G. Kahmen, 'Vital Signs Monitoring using 61.4 GHz CW MIMO Radar Sensor with LO-Scalable Low-Voltage Low-Power SiGe BiCMOS Chipset', Proc. 54th European Microwave Conference (EuMC 2024), 497 (2024)