

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Schlussbericht

für das Verbundprojekt

Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditions- überwachung bei Milchkühen

Zuwendungsempfänger:	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Tierzucht und Tierhaltung Hermann-Rodewaldstraße 6 24118 Kiel
Förderkennzeichen:	FKZ 28-1-53.T05-07
Laufzeit des Vorhabens:	01.03.2008 – 14.10.2012
Projektleiter:	Dr. Wolfgang Junge
Projektbearbeiter:	Monika Berghaus, Dr. Jennifer Salau

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Aufgabenstellung..... 3
2	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde..... 3
3	Planung und Ablauf des Vorhabens 4
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand 6
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen..... 7
6	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 7
6.1	Vorgegebene Ziele..... 7
6.2	Erzielte Ergebnisse 8
	Aufzeichnung von 3D-Kuhprofilen..... 8
	Ermittlung von Referenzwerten (inkl. Tierernährung) 9
	Aufzeichnung, Vorverarbeitung und Speicherung segmentierter 3D-Kuhprofile 17
	Bewertung der Aufnahmen, Festlegen der Region of Interest (ROI) und Ermittlung von Körperkonditionsmerkmalen 17
	Zusammenstellung und Auswertung der Daten 20
	Untersuchungen zur Prognostizierbarkeit der Körperkondition 23
	Analyse von laufenden Tieren bzw. bewegtem Kuhmodell 25
	Implementierung Herdenmanagement und Eignung praktischer Betrieb..... 30
7	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 31
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit..... 32
9	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse 33
10	Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen 36
11	Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse..... 37
	Literaturverzeichnis..... 38

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditionsüberwachung bei Milchkühen“ wurden mehrere Fragestellungen von unterschiedlichen Projektpartnern bearbeitet. Das Gesamtziel des Projektes war die Entwicklung eines Sensorsystems, dass die Körperkondition von Milchkühen im Laktationsverlauf automatisch und genau erfasst und bei Bedarf Warnmeldungen ausgibt, um auf etwaige Fütterungsfehler oder krankheitsbedingte Veränderungen in der Körperkondition schnell reagieren zu können.

Hauptaufgabe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der CAU Kiel war die Entwicklung von Algorithmen zur Überwachung der Körperkondition anhand von TOF-Messungen (time of flight, siehe Kapitel 4). Des Weiteren gehörten auch die Installation einer TOF-Kamera SR3000 später SR4000 zwecks Aufzeichnung der HF-Herde auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm und die regelmäßige Bestimmung von BCS (manuell) und RFD (Ultraschall) der Tiere als Referenzen sowie die Erfassung weiterer Parameter des Herdenmanagements zu den Aufgaben des Instituts. Der dritte Aufgabenschwerpunkt war die Auswertung der Aufzeichnungen aus Grub und Karkendamm im Vergleich zu den manuell erhobenen Körperkonditionswerten.

2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Das Verbundprojekt „Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditionsüberwachung bei Milchkühen“ wurde im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert. Der Projektträger war die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Folgende Partner haben dieses Projekt bearbeitet:

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) /
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE)
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU)
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
- GEA Farm Technologies GmbH (GEA)

Die gut ausgerüsteten Forschungsbetriebe der LfL in Grub und der CAU in Karkendamm stellten mit der vorhandenen Datenerfassung zur Futteraufnahme, Fütterung und Körperkondition der Tiere eine sehr gute Basis für die Entwicklung des Sensorsystems dar. Die

Institute in Grub (ILT / ITE) und Kiel (CAU) lieferten zu den erfassten Daten die notwendigen tierphysiologischen Kenntnisse und statistische Methoden. Das entwicklungstechnische Know-how des industriellen Partners GEA war die Voraussetzung für die technische Realisierung des zu entwickelnden Sensorsystems. Jeder der Projektpartner hatte bestimmte Themenkomplexe abzuarbeiten und die daraus folgenden Erfahrungen den übrigen Partnern mitzuteilen, um somit die Weiterentwicklung des 3D-Sensorsystems gewährleisten zu können. Es bedurfte demzufolge regelmäßiger Projekttreffen und Telefonkonferenzen für den zeitnahen Erfahrungsaustausch. Jeder Projektpartner erhielt ein eigenes Budget für die durchzuführenden Arbeiten.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

In Tabelle 1 ist der ursprünglich geplante und letztendlich durchgeführte Zeitplan für die Erledigung der einzelnen Arbeitspakete dargestellt. Die Verzögerungen kamen wie folgt zustande. Zum einen ging der Zuwendungsbescheid vom 21.02.08 erst kurz vor dem geplanten Projektbeginn (01.03.08) ein, so dass die wissenschaftlichen Mitarbeiter (LfL, CAU) erst verspätet (Mitte des Jahres) eingestellt werden konnten. Weiterhin war das zu testende Kamerasystem erst im September 2008 verfügbar, wodurch die erste größere Verschiebung im Zeitplan verursacht wurde.

Zum anderen kam es während des Praxisbetriebes der 3D-Kamera SR3000 zu diversen Problemen. Die Erkennung der Kuh als Objekt mit der vom Kameralieferanten zur Verfügung gestellten Software funktionierte nicht zuverlässig. So wurden am Ausgang des Melkroboters in Grub weniger als 30% der Kühe erkannt und aufgezeichnet. Weiterhin verlor die Software zeitweilig den Kontakt zur Kamera, so dass die Aufzeichnungen lückenhaft waren. Als der Abgleich mit den in Kiel aufgezeichneten Daten im Jahr 2009 möglich war, wurde festgestellt, dass die Kamera in Grub fehlerhafte Aufnahmen produzierte, die nicht für die Auswertung der Körperkonditionsparameter geeignet waren. Danach wurde eine Austauschkamera für Grub beschafft. Erste Auswertungen von Aufzeichnungen bewegter Tiere wiesen zudem starke Bewegungsartefakte auf, die vor allem bei Farbübergängen des Fells zu Höhengsprüngen in den Kuhprofilen führten und die Ermittlung von Kennwerten zur Konditionsbestimmung erschwerten. Zusätzlich verzögerte die schleppende Kommunikation mit dem Kameralieferanten die Problemlösung erheblich. Deshalb entschieden die Projektpartner einvernehmlich, dass das Projekt ohne externen Partner und mit verbesserter Hardware, auf die direkter Einfluss genommen werden kann, fortgesetzt werden sollte. Zu Beginn des Jahres 2010 wurde demzufolge eine neue Kamera SR4000 von GEA vorgestellt, die für das Erreichen des Projektziels geeignet erschien. Gleichzeitig ergab sich mit dem Wechsel der Kamera und der damit ver-

Projektjahr	2008	2009	2010	2011	2012
WP-5: Alle Eignung der Kamera und der entwickelten Software im praktischen Betrieb					
WP-6: Alle Erstellung Abschlussbericht					
 = ursprünglich geplant laut Vorhabensbeschreibung	 = durchgeführt	 = geändert aufgrund beschriebener Problematik			

Die oben dargestellten Veränderungen und zeitlichen Verschiebungen der einzelnen Arbeitspakete wirkten sich entsprechend auf das Erreichen der geplanten Meilensteine aus.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Im Hinblick auf die Leistung, Gesundheit und Fruchtbarkeit von Milchkühen ist eine optimale Körperkondition vor allem zu den Zeitpunkten des Trockenstellens und der Kalbung von zentraler Bedeutung [21]. Um diese zu ermitteln, stehen grundsätzlich drei Methoden zur Verfügung, die Lebendmasse-Wägung, die Messung der Rückenfettdicke (RFD) und das Body Condition Scoring (BCS).

Die Lebendmasse-Wägung erlaubt auf Grund der veränderlichen Füllungszustände des Verdauungsapparates, wechselnder Organmassen sowie durch das sich ändernde Gewicht der Konzeptionsprodukte keine eindeutige Aussage über die Mobilisation bzw. die Einlagerung von Energie [15]. In der Praxis finden vor allem die Konditionsbewertung nach dem BCS und die RFD-Messung Anwendung. Die Vorzüge der RFD-Messung liegen in der Objektivität und quantitativen Differenzierbarkeit, die eine Vergleichbarkeit der Messwerte zwischen verschiedenen, Betrieben und Rassen gewährleistet [23]. Beide Verfahren sind jedoch sehr arbeits- und zeitintensiv sowie von Gerätetechnik und Messstelle (RFD) sowie dem Beurteiler (BCS) abhängig. Automatische Sensortechnik ist nicht verfügbar [20].

Daher sind geeignete Verfahren zu entwickeln, die eine möglichst objektive automatische Konditionsbeurteilung erlauben und der Praxis kostengünstig zur Verfügung gestellt werden können.

Als optisches Sensorsystem wurde eine TOF-Kamera eingesetzt. Das TOF -Prinzip unterscheidet sich von anderen 3D-Messprinzipien wie z.B. Stereografie oder der Streifenprojektion. Die TOF-Kamera enthält einen Detektor mit integrierter Lichtquelle, welche moduliertes, nicht sichtbares infrarotes Licht aussendet. Aus der Phasenverschiebung zwischen ausgesandtem und reflektiertem Licht, werden für jeden Pixel xyz-Koordinaten berechnet und in Echtzeit ausgegeben [1]. Durch die Kopplung zwischen der Lichtquelle und dem Detektor wird eine Fremdlichtunterdrückung ermöglicht, so dass auch bei schwierigen Lichtverhältnissen exakte Messungen durchgeführt werden können [8].

Ein für den Einsatz bei Lebewesen sehr wichtiger Punkt ist die Unbedenklichkeit der Technik für die Netzhaut der Augen. Dies ist ein Aspekt, warum die z.B. aus der Melkrobotertechnik bekannten Zitzenfindungssysteme auf Basis der Lasertriangulation oder Laserlichtschnittverfahren als indirektes 3D-Messverfahren nicht eingesetzt werden sollten, da die Tiere im Bereich der Bilderfassung je nach Installationsort minutenlang verweilen können.

Die zu Projektbeginn verfügbaren 3D-Kameras hatten eine Bildauflösung von bis zu 176x144 Pixel bei einer Genauigkeit in Z-Richtung von ca. 5 mm bei 7,5 m maximaler Messentfernung [11].

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Kooperation innerhalb des Projektes bestand zwischen den in Punkt 2 erwähnten Projektpartnern. Weiterhin wurde mit folgenden Institutionen bezüglich des Erfahrungsaustausches oder als Partner bezüglich der Futtermittel- und Milchanalysen zusammengearbeitet:

- Zentrallabor der LfL in Grub
- Milchprüfing Bayern e.V.
- Tiergesundheitsdienst Bayern e.V.
- Landeskontrollverband Schleswig-Holstein e.V.
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- Fachhochschule Südwestfalen, Standort Soest
- Mesa Imaging AG, Schweiz
- Technische Universität Berlin
- Institut für Informatik CAU Kiel, Sektion „Multimediale Informationsverarbeitung“
- Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung

6 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

6.1 Vorgegebene Ziele

Das Gesamtziel des Vorhabens war die Entwicklung, Erprobung sowie die Beurteilung eines automatischen optischen 3D-Sensorsystems zur Beurteilung der Körperkondition bei Milchkühen im Laktationsverlauf. Da bis zu Projektbeginn keinerlei Erfahrungen zum Einsatz von TOF-Kameras im Milchviehbereich sowie zur Bestimmung der Körperkondition in der Literatur vorlagen, war eine sehr umfassende Datenerhebung und –beurteilung, Untersuchung von Umwelteinflüssen sowie Einarbeitung in die 3D-Bildverarbeitung notwendig.

Auf den Versuchsbetrieben der LfL und CAU sollte umfangreiches Rohdatenmaterial für die Ermittlung der besten Kameraposition, Verknüpfung der RFID-Erkennung mit Kamerabildern, Überprüfung der mechanischen Stabilität der Kamera, Extraktion von Kennwerten aus Kamerainformationen und Entwicklung von Verarbeitungsalgorithmen gesammelt werden. Weiterhin sollten zahlreiche Kontrollparameter für den Abgleich der extrahierten Bildmerkmalswerte mit den manuell erhobenen Konditionsparametern erfasst werden (RFD, BCS, Milchmenge, Milchinhaltstoffe, Futteraufnahme). Hinsichtlich der Bewertung der ermittelten BCS- und RFD-Daten zum Zusammenhang zur Körperkondition bei der Rasse Fleckvieh waren ergänzende Untersuchungen (Ganzkörperanalysen) angedacht.

Ein weiterer Punkt war die Entwicklung von Verarbeitungsalgorithmen für die erfassten 3D-Informationen zur Analyse von verwertbaren Bildern, bildanalytischen Identifikation von gewünschten Körperstellen, Extraktion von Kennwerten für die Bestimmung der Körperkondition sowie Ermittlung der Körperkondition anhand der 3D-Informationen. In einem nächsten Schritt sollten diese entwickelten Verarbeitungsalgorithmen in das Sensorsystem implementiert werden, so dass vorverdichtete und ausgewertete Informationen an das Herdenmanagementsystem weitergeleitet werden können. Durch die Verknüpfung der Herdenmanagementdaten mit den Konditionsdaten der Kühe sollten dem Landwirt über das Herdenmanagementsystem Warnmeldungen bzw. Handlungsempfehlungen beim Abweichen vom gewünschten Konditionsverlauf gegeben werden.

6.2 Erzielte Ergebnisse

Aufzeichnung von 3D-Kuhprofilen

Die Aufzeichnung der 3D-Kuhprofile wurde, wie geplant auf den Versuchsbetrieben in Grub und Karkendamm durchgeführt. Nach dem Kamerawechsel (SR3000 auf SR4000) und den damit verbundenen notwendigen Programmierarbeiten erfolgte die Aufzeichnung in Karkendamm vollautomatisch. Die Kamera wurde an der Kraftfutterstation installiert, so dass die Tiere beim Besuch der Kraftfutterstation über RFID erkannt wurden und die entsprechende Tiernummer den Bildern in Echtzeit zugeordnet werden konnte. In Karkendamm wurden in regelmäßigen Abständen (ca. 14 tägig) Langzeitaufzeichnungen (bis max. 3 Wochen, auf Grund des hohen Datenvolumens) durchgeführt.

In Grub stand neben der Datenerfassung von 3D-Profilen und den dazugehörigen Konditionsparametern auch die Durchführung von Fütterungsversuchen im Vordergrund. Da die Fütterungsversuche in unterschiedlichen Stallgebäuden durchgeführt wurden, musste auch die Kamera entsprechend flexibel installiert werden. Die Aufzeichnungen erfolgten mit einer von der CAU angepassten Software, so dass diese von Hand gestartet und die

Kuhnummern, der jeweils aufgezeichneten Kuh, eingegeben werden konnte. Die Kühe wurden jeweils in die Wiegebox, über der die Kamera installiert wurde, getrieben und konnten sowohl stehend als auch im Durchlauf aufgezeichnet werden. Während der Versuchsphasen wurden die Kühe wöchentlich aufgezeichnet, um die kontinuierliche Entwicklung der Körperkondition abbilden zu können.

Im Rahmen der Entwicklung des ID-Confirmators (automatischer optischer Kuhzähler) wurden von GEA mit einer eigens entwickelten Software auf einem Praxisbetrieb in Meinerzhagen 3D-Kuhprofile erfasst.

Die Erkenntnisse aus der praktischen Datenaufzeichnung der Projektpartner wurden zeitnah bei Projekttreffen oder Telefonkonferenzen ausgetauscht, so dass die Software dementsprechend angepasst und optimiert werden konnte. Zum Beispiel wurde das automatische Aussortieren von Bildern mit störenden Objekten (Fliegen, Vögel etc.), direkter Sonneneinstrahlung oder kondensiertem Atem der Tiere implementiert.

Ermittlung von Referenzwerten (inkl. Tierernährung)

Um später die aus den 3D-Aufzeichnungen gewonnenen Kennwerte mit der Körperkondition der Kühe abgleichen zu können, wurden in regelmäßigen Abständen der BCS und die RFD von geschultem Personal erfasst. Die Rückenfettdicke wurde in Karkendamm und Grub mit dem gleichen Ultraschallgerät (Tringa Linear, Firma Esaote) und an der gleichen Messstelle nach Staufenberg [22] erhoben, so dass grundlegend die Vergleichbarkeit der gewonnenen Datensätze gewährleistet war. Der BCS wurde in Grub in 0,25-Schritten auf der Basis der „Konditionskarte für Fleckvieh“ nach Jilg und Weinberg [10] nach dem System von Edmonson [6] erfasst. In Karkendamm erfolgte die BCS-Bestimmung ebenfalls nach Edmonson [6] auf einer Skala von 1-5 im 4-wöchigen Rhythmus. Die Ermittlung von Referenzwerten fand in Karkendamm bei der gesamten Milchviehherde statt (ca. 150 Tiere).

Die Hauptaufgabe der LfL im Bereich Tierernährung war es, ergänzende Fragen für die Rasse Fleckvieh zu bearbeiten. Insbesondere ging es um die Beziehung der ermittelten BCS und RFD-Daten zum Gesamtkörperfettgehalt der Fleckviehkühe, da hierzu bisher nur wenige bzw. veraltete Daten in der Literatur vorliegen.

Um eine große Bandbreite von BCS-, RFD- und Kameradaten zu erhalten, wurden verschiedene Fütterungsversuche durchgeführt. In Tabelle 2 sind die während der

Tabelle 2: Aufstellung der erhobenen Daten während der Versuchslaufzeit in Grub

Erhobene Daten	Häufigkeit
Milchmenge	Täglich (außer Versuch 2)
Milchinhaltsstoffe (Tagesgemelk) <ul style="list-style-type: none"> • Fett- und Proteingehalt • Harnstoffgehalt • Zellgehalt 	Wöchentlich
Futteraufnahme <ul style="list-style-type: none"> • Futtermenge • Trockensubstanz • Futterinhaltsstoffe der Komponenten 	Täglich 2x pro Woche Monatlich 2 Rationen
Tierbeurteilung <ul style="list-style-type: none"> • BCS / RFD • BCS mittels 3D-Sensor • Lebendmasse • Muskeldicke • Hautfaltendicke • Körperzusammensetzung mittels bio-elektrischer Impedanzanalyse 	Wöchentlich Wöchentlich Täglich (Versuch 2 wöchentlich) Wöchentlich (nur Versuch 2) Wöchentlich (nur Versuch 2) Wöchentlich (nur Versuch 2)
Managementdaten (Kalbung, Kalbeverlauf, Besamung, TU, Behandlung etc.)	Bei Anfall

Versuchsphasen erhobenen Kennwerte sowie die Häufigkeit der Erhebung in Grub dargestellt. Unabhängig von den erhobenen Daten wurden verschiedene Fütterungsversuche durchgeführt, die im Folgenden erläutert werden. Im ersten Fütterungsversuch wurden 29 Kühe aus der Gruber AMS-Herde gleichmäßig nach Körperkondition, Laktationsstadium und –nummer in zwei Gruppen aufgeteilt und differenziert gefüttert (September – November 2008). Ziel war die gerichtete Veränderung der Körperkondition und die Erfassung entsprechender Kamerainformationen. Gruppe 1 (14 Tiere) wurde während der Versuchszeit in 3 Phasen unter- (-15 MJ NEL/d, 4 Wochen), norm- (± 0 MJ NEL/d, 3 Wochen) und überversorgt (+20 MJ NEL/d, 3 Wochen). Die Gruppe 2 (15 Tiere) wurde während der gesamten Versuchszeit (10 Wochen) mit +20 MJ NEL/d überversorgt. Die festgelegte Energieversorgung setzte sich aus dem Bedarf für die Erhaltung, Milchproduktion und dem Energiezuschlag bzw.-abschlag zusammen und wurde zweimal wöchentlich angepasst.

In Tabelle 3 sind die erzielten Ergebnisse dargestellt. Die Tiere der Gruppe 1 reagierten während der Phase 1 (Unterversorgung) nicht mit einer Erhöhung der Futteraufnahme, sondern mit einer starken Verringerung der Milchleistung von 8,5 kg ECM / Tag. Auch in Phase 2 (bedarfsgerechte Fütterung) sank die Milchleistung um weitere 2,4 kg ECM / Tag. Erst in der anschließenden Überversorgung stieg die Milchmenge wieder auf 19,1 kg ECM / Tag an und auch die Trockenmasseaufnahme erhöhte sich

(Tabelle 3). Gruppe 2 reagierte auf die 10-wöchige Überversorgung mit einer Lebendmassezunahme von durchschnittlich 28 kg.

Tabelle 3: Mittlere Futteraufnahme, energiekorrigierte Milchleistung (ECM) & Lebendmasse der Gruppen zu Versuchsbeginn und zum Ende der jeweiligen Phasen sowie die erreichte mittlere Energiebilanz der Gruppen im Mittel der jeweiligen Phasen

		Versuchsbeginn	Phase 1 (4 Wochen)	Phase 2 (3 Wochen)	Phase 3 (3 Wochen)
Futteraufnahme [kg TM/Tag]	Gruppe 1	16,4±2,4	15,8±4,1	14,2±3,8	18,0±3,5
	Gruppe 2	17,5±3,8	22,2±3,2	21,3±2,4	20,5±3,5
ECM [kg/Tag]	Gruppe 1	25,6±7,4	17,1±8,5	14,7±8,7	19,1±8,0
	Gruppe 2	27,5±6,8	29,0±6,1	26,0±7,1	23,6±6,1
Lebendmasse [kg]	Gruppe 1	688±53	688±56	685±59	695±69
	Gruppe 2	697±59	710±56	718±55	725±55
Energiebilanz [MJ NEL/Tag]	Gruppe 1		-9±9,4	-2±14,3	36±16,4
	Gruppe 2		22±6,8	30±8,6	32±6,7

In

Tabelle 4 sind die beobachteten und die nach Literaturangaben zu erwartenden Veränderungen von BCS und RFD dem entsprechenden Energiesaldo gegenübergestellt. Für die Berechnung der Erwartungswerte wurde der Wirkungsgrad für Fettmobilisation von 84% unterstellt [7].

Die erwartete Entwicklung der Körperkondition der Tiere konnte nur bedingt erzielt werden. In der Phase der energetischen Unterversorgung (Gruppe1, Phase 1,

Tabelle 4) war die Verringerung der BCS und RFD-Werte größer als nach Literaturangaben erwartet. Gleichzeitig brach jedoch die Milchleistung stark ein und wurde demzufolge durch den Abbau von Körpersubstanz nicht kompensiert. In Gruppe 2 konnte trotz starkem Energieüberschuss während der 10 Wochen keine Veränderung der mittels BCS und RFD beurteilten subkutanen Energiereserven verzeichnet werden. Die Zunahme der Lebendmasse der Gruppe 2 (Tabelle 3) deutet jedoch auf eine Anreicherung der viszeralen und muskulären Energiedepots hin. (Näheres zu diesem Versuch siehe [26]).

Tabelle 4: Beobachtete und erwartete Veränderungen (Δ) von BCS & RFD mit dem entsprechenden Energiesaldo (aufsummierte Energiebilanz) für Phase 1 von Gruppe 1 und Phasen 1-3 von Gruppe 2

Gruppe	Phase	Energiesaldo [MJ NEL]	Beobachtungswert		Erwartungswert	
			Δ BCS	Δ RFD [mm]	Δ BCS	Δ RFD [mm]
1	1	-258	-0,25	-3,56	-0,11	-1,5
2	1-3	1926	0,02	0,13	0,72	9,6
Quelle					[31]	[12]

Inwieweit die Tiere auf subkutane oder eher auf viszerale Fettspeicher zurückgreifen und ob man anhand der subkutanen Fettauflagen auf den Gesamtkörperfettgehalt schließen kann, wurde in folgendem Versuch 2 untersucht.

Von Juni 2009 bis Anfang August 2010 wurden insgesamt 30 abgehende Kühe (nicht tragend) für 6 Wochen im Anbindestall in Grub aufgestallt und je nach Ernährungszustand über- bzw. unterversorgt. Es wurden gezielt unterschiedlich konditionierte Tiere in den Versuch aufgenommen, um eine möglichst große Bandbreite an Körperkonditionen untersuchen zu können. Verschiedene Parameter wurden entsprechend Tabelle 2 während der Versuchsphase erfasst. Im Anschluss an die Aufstallung wurden die Tiere geschlachtet und einer Ganzkörperanalyse unterzogen. Diesbezüglich wurden Teilfraktionen beprobt und auf den Gehalt an Fett, Eiweiß, Wasser und Asche untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt. Es konnte zwischen den 30 Versuchstieren eine große Spannweite bezüglich der Lebendmasse ($\bar{\varnothing}$ 742 kg, 416 – 869 kg) und dem Gesamtfettgehalt ($\bar{\varnothing}$ 17,1%, 2,3 – 28,9%) erreicht werden, da die Tiere versuchsbedingt sehr unterschiedlich konditioniert waren.

Tabelle 5: Mittelwerte (MW), Standardabweichung (Std.abw.) sowie Minimum (Min.) und Maximum (Max.) von Lebendmasse, Leergewicht, BCS, RFD und der Zusammensetzung der Kühe (Basis Leergewicht) (n=30)

	MW	Std.abw.	Min	Max		MW	Std.abw.	Min	Max
Lebendmasse (kg)	742	101	416	869	Fett (%)	17,1	5,9	2,3	28,9
Leergewicht (kg)	654	106	340	804	Protein (%)	18,6	1,0	16,4	20,9
RFD (mm)	13,8	6,8	4,5	34,2	Wasser (%)	59,7	4,7	50,7	71,7
BCS	3,73	0,74	1,75	5,00	Asche (%)	4,7	0,4	3,8	5,6

Der Zusammenhang vom Gesamtkörperfettgehalt (%) und BCS lag bei $r = 0,84$ ($p < 0,0001$) und damit etwas höher als der der Rückenfettdicke zum Gesamtkörperfettge-

halt ($r = 0,65$, $p = 0,0001$). Bei beiden Parametern war der Zusammenhang zum relativen (%) und absoluten (kg) Fettgehalt gleich gut. Eine Veränderung von einer BCS-Note entspricht somit 59,8 kg Körperfett (Fettgehalt (kg) = $-106,1 + 59,8 \text{ BCS}$; $R^2 = 0,71$, $\text{RMSE} = 28,5 \text{ kg}$). Ändert sich die Rückenfettdicke um 1 mm, so werden 5,2 kg Körperfett umgesetzt (Fettgehalt (kg) = $44,7 + 5,2 \text{ RFD}$; $R^2 = 0,46$, $\text{RMSE} = 39,0 \text{ kg}$).

Weiterhin wurden das Gewicht und der Fettgehalt der Körperfraktionen (Muskeln, Knochen, Haut etc.) untersucht. Der größte Teil ($52,5 \pm 7,2\%$) des gesamten Körperfetts konnte in den Muskeln und dem anhaftendem Gewebe (Fett und Sehnen) festgestellt werden. Den kleinsten Teil machte das Fett der Nierenpartie aus ($6,1 \pm 2,8\%$).

Dass die BCS-Daten besser mit dem Gesamtkörperfettgehalt korrelieren ist angesichts der subjektiven Methode zunächst erstaunlich. Es liegt jedoch nahe, dass bei der BCS-Bewertung unterbewusst die Bemuskelung der Kühe mit erfasst wird, in der wie oben beschrieben der Großteil des Gesamtkörperfettgehaltes enthalten ist. Im Gegensatz dazu wird bei der RFD-Messung mittels Ultraschall nur die subkutane Fettschicht ermittelt, was die schlechtere Korrelation erklären könnte. (Nähere Informationen siehe [28], [29])

Im Rahmen dieses Versuches konnten, wie folgend beschrieben, weitere wichtige Erkenntnisse für zukünftige Untersuchungen im Hinblick auf den Gesamtkörperfettgehalt von Fleckviehkühen gewonnen werden.

Es wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem Nierenfettgehalt und dem Gesamtkörperfettgehalt ($r = 0,97$) festgestellt. Somit kann bei folgenden Untersuchungen auf die zeit-, arbeits- und kostenintensive Methode der Ganzkörperanalyse von Schlachttieren verzichtet und mittels des beim Schlachtvorgang einfach zu bestimmenden Nierenfettgehalts ein Rückschluss auf den Gesamtkörperfettgehalt des Tieres gezogen werden.

Weiterhin wurde die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA), die im Humanbereich eine etablierte Methode zur Messung der Körperzusammensetzung ist, auf ihre Übertragbarkeit auf Kühe untersucht. Für die BIA wurde ein Multifrequenz-Impedanzanalysator (BIA 2000 M, Data Input GmbH, Frankfurt / Main) verwendet. Bei den wöchentlichen Datenerhebungen wurden jeweils verschiedene Messpunkte bei nüchternen Tieren untersucht. Insgesamt konnte ein enger Zusammenhang zwischen den Messwerten der BIA und dem Gesamtkörperfettgehalt von $r = 0,96$ festgestellt werden. Somit kann die BIA bei ausgewachsenen Fleckviehkühen (im Versuch nicht tragend) zur objektiven Ermittlung des Fettgehaltes bei lebenden Tieren eingesetzt werden. Inwieweit die Ergebnisse auch auf andere Rassen übertragen werden können, muss in weiteren Untersuchungen noch geprüft werden. (Nähere Informationen siehe [30]).

Da sich in den zuvor beschriebenen Fütterungsversuchen die gezielte energetische Über- bzw. Unterversorgung der Tiere nur bedingt in den messbaren Veränderungen der Körperkondition widerspiegelte, sollte im Versuch 3 die natürliche Mobilisation von Körpersubstanz zu Laktationsbeginn beobachtet und für den Abgleich mit den mit Hilfe der Kamera erfassten Kenngrößen genutzt werden. Dazu wurden 30 Tiere (20 Kühe, 10 Färse) aus der Gruber AMS-Herde über einen Zeitraum von 17 Wochen (2 Wochen a.p. bis 15 Wochen p.p.) untersucht. Die Datenerfassung verlief wie in den Versuchen 1 und 2 nach dem dargestellten Schema in Tabelle 2. Die Tiere wurden während des Versuchszeitraumes nach Norm [7] versorgt. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Mittel- und Randwerte der erhobenen Daten. Es konnte wiederum eine große Spanne an unterschiedlich konditionierten Tieren untersucht werden und somit eine umfangreiche Datenbasis für die Entwicklung eines automatischen Konditionsbestimmungssystems geschaffen werden. Die große Spanne zwischen den Daten ergibt sich aus den Unterschieden zwischen den Tieren und den starken Veränderungen der Körperkondition in den ersten 100 Laktationstagen.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichung der erhobenen BCS, RFD, Lebendmasse

	N	Mittelwert	Std.abw.	Minimum	Maximum
BCS	502	3,74	0,43	2,50	5,00
RFD [mm]	502	2,09	0,75	0,79	5,28
Lebendmasse [kg]	500	742	73	585	965

Neben der Korrelation zwischen den Merkmalen BCS, RFD, Energiebilanz und Lebendmasse zu den Kennwerten aus den 3D-Kamerainformationen sollte auch die Beziehung zwischen den genannten Merkmalen geschätzt werden. In Tabelle 7 sind die Korrelationen zwischen der aufsummierten Energiebilanz und den Veränderungen des BCS, der RFD und der Lebendmasse über verschiedene Zeitabschnitte dargestellt. Frühere Auswertungen zeigen, dass grundsätzlich signifikante Beziehungen zwischen der Energiebilanz und dem BCS sowie der RFD bestehen [19]. Demgegenüber sind die in Tabelle 7 dargestellten Korrelationen bei Betrachtung kürzerer Zeiträume (1-4 Wochen) zwar signifikant, gemessen an den absoluten Zahlen jedoch nicht als hoch einzustufen. Über den gesamten Zeitraum von 17 Wochen sind die Korrelationen jedoch als befriedigend hoch einzustufen. Erklärbar ist dies dadurch, dass über einen längeren Zeitraum die absolute Veränderung in der Körperkondition größer wird, so dass Mess- und Beurteilungsungenauigkeiten weniger ins Gewicht fallen. Darüber hinaus werden über längere Zeiträume hinweg auch Einflussgrößen auf die Energiebilanzen (z.B. Schwankungen in der täglichen Futteraufnahme, Futteranalysenfehler, etc.) nivelliert. Insgesamt ergibt sich, dass

über längere Zeiträume hinweg die Veränderungen in der Körperkondition die kalkulierten Energiebilanzen widerspiegeln.

Tabelle 7: Zusammenhang zwischen Energiebilanz den dazugehörigen Veränderungen in BCS, RFD und Lebendmasse

Korrelationen zwischen Energiebilanz und dazugehörigen Veränderungen			
Zeitraum zwischen aufsummierten Energiebilanzen	Δ BCS	Δ RFD	Δ Lebendmasse
Wöchentlich	0,14 p = 0,0027	0,22 p < 0,0001	0,24 p < 0,0001
2-wöchig	0,19 p = 0,0089	0,28 p < 0,0001	0,31 p < 0,0001
4-wöchig	0,29 p = 0,0064	0,42 p < 0,0001	0,51 p < 0,0001
Versuchsanfang bis –ende	0,68 p < 0,0001	0,62 p = 0,0002	0,79 p < 0,0001

Aufzeichnung, Vorverarbeitung und Speicherung segmentierter 3D-Kuhprofile

Die TOF-Kameras waren für die Aufzeichnungen so installiert, dass sich der für die Körperkonditionsbestimmung benötigte hintere Rücken der Kuh im Blickfeld des Sensors befand. Da die Kamera durchgehend in Betrieb war (CAU), wurden auch Bilder der leeren Gasse, sowie die Kühe in allen Phasen des Hinein- und Herausgehens aufgezeichnet. Eine Sortierung der Aufnahmen war somit nötig. Die von CAU entwickelte Software beginnt nach Inbetriebnahme des Systems mit einer Vermessung der Szenerie. Die Lage der Wände und die Tiefenwerte des Bodens liefern Informationen, anhand derer bei den weiteren Aufnahmen sofort bestimmt werden kann, ob der gewünschte Bereich der Kuh abgebildet ist. In diesem Fall, wird in Echtzeit die Kuh vom Hintergrund separiert. Auch hierbei werden die Szenerie-Informationen sowie ein Histogramm über die vorhandenen Tiefenwerte genutzt. Die Software legt automatisch einen Ordner pro Tier und Aufzeichnungstag an und speichert die segmentierten Aufnahmen. Zur Reduzierung des Datenvolumens werden alle übrigen Aufnahmen sofort gelöscht.

Bewertung der Aufnahmen, Festlegen der Region of Interest (ROI) und Ermittlung von Körperkonditionsmerkmalen

Am Ende des Aufzeichnungstages werden die Kuhordner nacheinander von der Software weiterverarbeitet. Jedes Bild wird in einem mehrstufigen Verfahren auf seine Verwendbarkeit getestet und bewertet. Es wird zunächst überprüft, ob die Kuh den Bildrand berührt, oder ob die Kontur des Tieres unsauber ist (z.B. durch aufgelegte Köpfe anderer

Kühe oder nicht weggeschnittene Wandreste). Anschließend wird anhand des Schwerpunktes die Symmetrie des abgebildeten Tieres und die Ausprägung der Sitzbeinhöcker-rundungen bewertet. Letztere Information nimmt Einfluss auf das Verfahren, mit dem die Koordinaten von Sitzbeinhöckern, Schwanzwurzelgruben und Schwanzansatz der Kuh festgelegt werden. Die verschiedenen Beckenformen der beiden im Projekt vertretenen Rassen erfordern hierfür unterschiedliche Verfahren.

Aufnahmen, die einen der Tests nicht bestanden haben, werden nicht zur nächsten Stufe weitergereicht. An allen zur Weiterverarbeitung geeigneten Aufnahmen werden die Wirbelsäule, Hüfthöcker, Sitzbeinhöcker, Schwanzwurzelgruben und der Schwanzansatz identifiziert (siehe Abbildung 1). Anhand der Lage der errechneten Koordinaten zueinander wird erneut überprüft, ob die Punkte mit der Anatomie einer Kuh vereinbar sind.

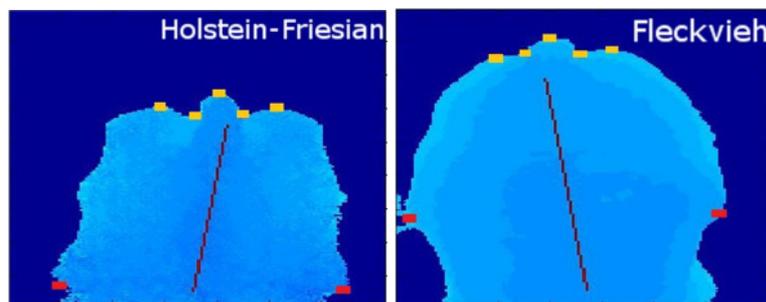


Abbildung 1: Region of Interest (ROI) bestimmt an beiden im Projekt vertretenen Rassen

Die visuelle Kontrolle von ca. 163.000 in Karkendamm aufgezeichneten Bildern ergab eine Fehlerrate von 1,5% bei der automatischen Bestimmung der Sitzbeinhöcker. Zur Überprüfung der Qualität von aus TOF-Aufnahmen errechneten Größen, wurden die Wiederholbarkeiten der Abstände zwischen den Sitzbeinhöckern bzw. den Hüften herangezogen (Tabelle 8). Ein Fleckvieh-Testdatensatz wurde aus 68.479 in Grub über mehrere Wochen aufgezeichneten Bildern zusammengestellt. Für HF-Kühe wurden die Abstände an den in der Tabelle 8 aufgeführten Karkendamm-Aufnahmen berechnet.

Tabelle 8: Wiederholbarkeiten bei der Berechnung von Sitzbein- bzw. Hüfthöckerabständen aus TOF-Aufnahmen sowie Korrelationen zu manuellen Messwerten

Testdatensatz	R ²	Korrelation	R ²	Korrelation
	Abstände Sitzbeinhöcker		Abstände Hüfthöcker	
Grub (mehrere Wochen)	68,35%	-24,70%	52,83%	42,10%
Karkendamm 24./25.01.11	48,36%	-	39,07%	-
Karkendamm 20./21.04.11	79,26%	-5,20%	-	-
Karkendamm 11.05.11	-	-	69,11%	7,40%

Die Korrelationen zwischen manuell erfassten Abständen und anhand der Bilddaten errechneten sind ebenfalls in Tabelle 8 dargestellt. Aus jedem Bild, auf dem die oben genannten Körperstellen identifiziert werden konnten, werden Merkmale zur Körperkondition berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass ein Abfleischen der Kuh mit einer Absenkung der Oberfläche zwischen festen Knochenpunkten einhergeht. Ein Schnitt durch das 3D-Profil ergibt die Oberflächeninformationen der Kuh entlang der Schnittlinie. An den im Folgenden genannten Schnittprofilen wird bewertet, wie weit sie sich gegenüber der direkten räumlichen Verbindungsgeraden zwischen den festen Knochenpunkten absenken.

Folgende Profile mit den entsprechenden Kennwerten werden aus den Bildern extrahiert:

- 1.) Profil entlang der Verbindungslinie zwischen den Hüfthöckern. Berechnet werden die Fläche zwischen diesem Profil und der waagerechten Tangente am höchsten Punkt. (Merkmal: hip2hip, siehe Abbildung 2 oben).
- 2.) Profile an den Schwanzwurzelgruben senkrecht zur Wirbelsäule. Hier wird sowohl die Tiefe der Schwanzwurzelgruben relativ zur Schwanzwurzel als auch die Fläche berechnet, die entsteht, wenn Sitzbeinhöcker und Schwanzwurzel verbunden werden (Merkmal: dimples, mit den 4 Ausprägungen Tiefe re/li, Fläche re/li, siehe Abbildung 2 Mitte).
- 3.) Profile entlang der Linien Hüfthöcker-Sitzbeinhöcker bzw. Hüfthöcker-Schwanzwurzelgrube auf beiden Seiten der Kuh. Berechnet werden die eingeschlossene Fläche sowie der größte senkrechte Abstand zwischen Gerade und Profil (Merkmal: pin2hip mit den 8 Ausprägungen Abstand innere/äußere Linie sowie re/li und Fläche innere/äußere Linie sowie re/li, siehe Abbildung 2 unten).

An jeder Aufnahme werden bis zu 13 Kennzahlen errechnet. Die Bewertungen der Aufnahmen aus den mehrstufigen Testverfahren, die Koordinaten der ROI und die oben beschriebenen 13 Kennzahlen werden in Listen pro Tier und Aufzeichnungstag gespeichert.

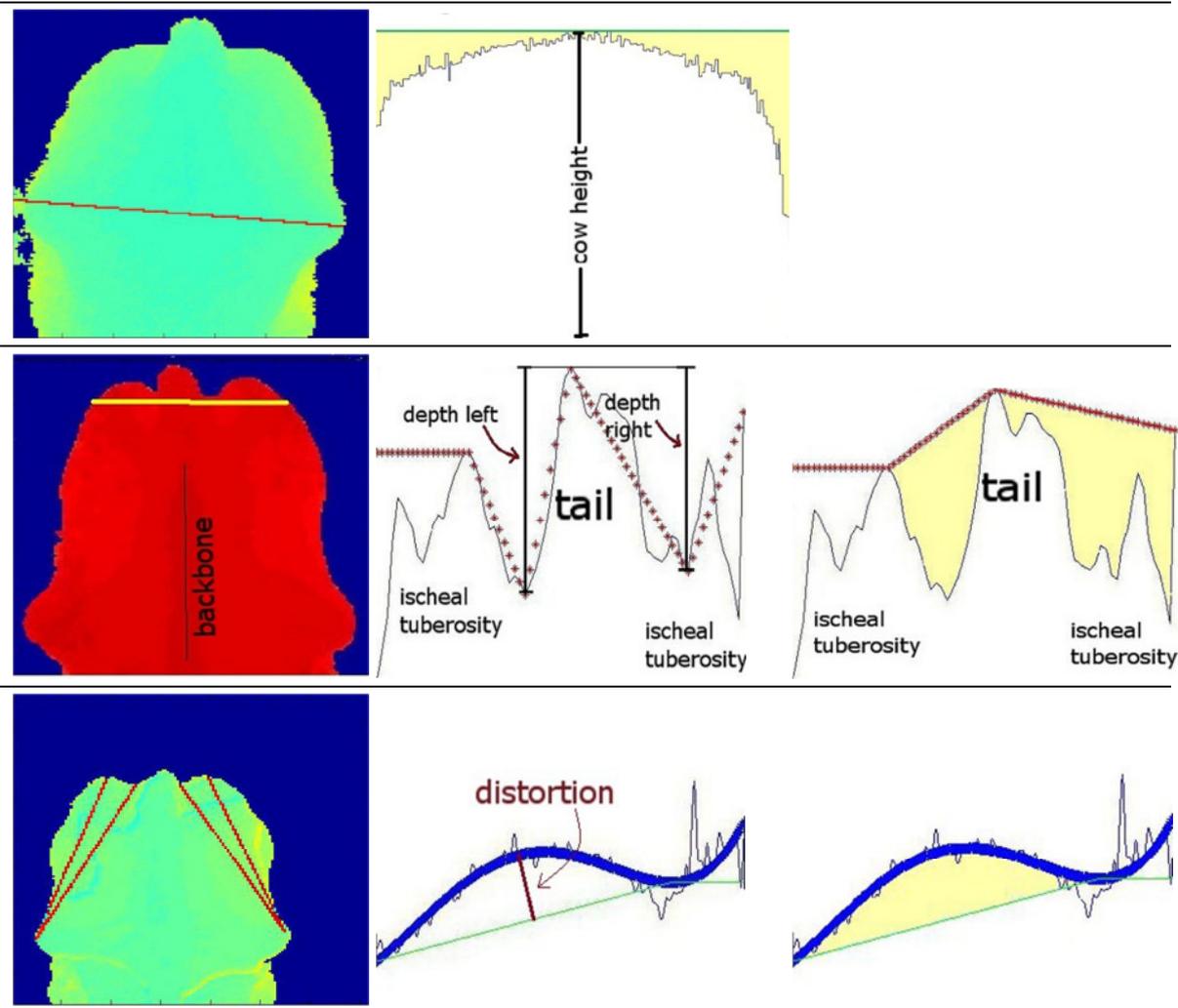


Abbildung 2: Verbindungslinien und daraus gezogene Profile zur Bestimmung der entsprechenden Kennwerte für die Körperkondition

Zusammenstellung und Auswertung der Daten

Obwohl viele Bilder im Laufe des Testverfahrens aussortiert werden, können bei den meisten Kühen noch an einer großen Anzahl von Bildern Kennwerte errechnet werden. Diese werden auf Kuh- und Tagesebene von Ausreißern bereinigt und verdichtet, so dass eine Liste mit einem Wert pro Kennwert, Kuh und Tag entsteht. Zur Auswertung wurden zunächst die Daten aus dem Herdenmanagement (manuell erhobener BCS, RFD, Laktationsnummer und -tag) und die errechneten Kennwerte gemerget. Aufgrund der wöchentlichen (monatlichen) Bestimmung von RFD (BCS) in Karkendamm wiesen diese Variablen große Lücken in einem auf Tagesbasis gestalteten Datensatz auf. Außerdem war in Karkendamm die Berechnung von Kennwerten aus den TOF-Aufnahmen abhängig vom Besuchsverhalten der Tiere in der Kraftfutterbox. Somit lagen Werte für diese Kennzahlen nicht äquidistant und unter Umständen auch nicht an den Tagen vor, an denen die Referenzwerte erhoben worden waren. Der Datensatz wurde daher auf

Wochenbasis umgestaltet: Die Werte wurden in Wochenblöcke eingeteilt, so dass jeder Block einen RFD-Wert enthielt. Innerhalb jeder der 13 Kennzahlen wurden die Werte in diesem Block gemittelt. Kühe, bei denen dennoch Lücken von 5 oder mehr Werten in den Kamerakennwerten auftraten, wurden nicht berücksichtigt. Eine deskriptive Statistik dieses Datensatzes sowie weiterführende Informationen sind in folgender Veröffentlichung zu finden (siehe Kapitel 11; Usage of the SR4K Time-Of-Flight-Camera in Cow Barns for automated monitoring of Body Condition).

Der BCS wurde als Zielmerkmal in der Auswertung für Karkendamm nicht berücksichtigt, da durch die monatliche Erhebung trotz der Datensatzumgestaltung Lücken von 4-5 Werten auftraten. Da in Grub einmal wöchentlich sowohl die Aufzeichnungen mittels TOF-Kamera als auch die RFD- und BCS-Erhebung am selben Termin stattfand, lag der Datensatz ohnehin auf Wochenbasis vor. Beide Zielmerkmale waren hier lückenlos vorhanden und wurden dementsprechend in der Auswertung berücksichtigt.

Statistische Tests zeigten, dass die Variable „Kuh“ einen signifikanten Effekt sowohl auf das Zielmerkmal als auch auf die Kennzahlen aus den TOF-Aufnahmen hat und daher im Modell berücksichtigt werden muss. Insbesondere bedeutet dies, dass die aus dem Modell geschätzten Koeffizienten nicht zwingend auf beliebige Herden übertragbar sind.

Die Gesamtlaktation gliedert sich in drei Bereiche innerhalb derer die Körperkondition idealerweise jeweils linear verläuft (siehe Abbildung 3). Das verwendete Modell ("partielles" Modell) schätzt daher für jeden der drei Laktationsabschnitte ein eigenes lineares Modell unter Verwendung der manuell erhobenen RFD bzw. BCS als Zielvariable.

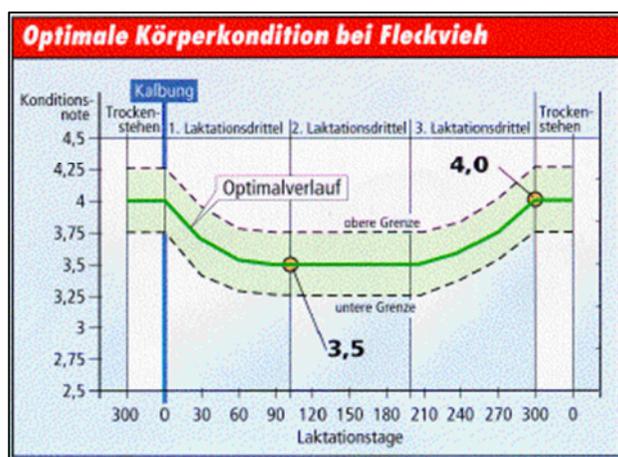


Abbildung 3: Optimaler Verlauf der Körperkondition im Laktationsverlauf [10]

Der Schätzer für den gesamten Laktationsverlauf wird dann aus den Teilschätzern zusammengesetzt. In jedes Teilmodell gehen die abhängigen Variablen:

- Kuh (als ordinale "Dummy"-Variable),
- Laktationsnummer
- Laktationswoche,
- Kalenderwoche und ausgewählte Kennwerte ein.

Im Modell werden Kennwerte berücksichtigt, die eine hohe Korrelation zum Zielmerkmal aufweisen und möglichst linear unabhängig voneinander sind. Die ausgewählten Kennwerte sind je nach Datensatz (Karkendamm oder Grub) unterschiedlich.

Die Ergebnisse der Korrelationen des mittels o.g. Modells geschätzten BCS bzw. der geschätzten RFD zu den manuell erfassten Zielmerkmalen sind in Tabelle 9 dargestellt. Es wurden nur Kühe betrachtet, für die jeweils eine Mindestanzahl an Beobachtungen vorlag (Tabelle 9). Die Korrelationen zwischen geschätztem und manuell erfasstem BCS bzw. RFD über alle Beobachtungen liegen im Bereich von 0,59 – 0,84.

Tabelle 9: Spannweite der Korrelationen zwischen geschätzten und manuell erfassten Körperkonditionsmerkmalen (BCS/RFD)

	Karkendamm	Grub
Anzahl Kühe	96	30
Mindestanzahl Beobachtungen je Kuh	20	16
Korrelationen über alle Beobachtungen		
Schätzer zu BCS		0,81
Schätzer zu RFD	0,84	0,59
Korrelationen für Einzeltiere		
Schätzer zu BCS		-0,09 – 0,87
Schätzer zu RFD	-0,26 – 0,99	-0,32 – 0,85

Werden jedoch die Korrelationen für die einzelnen Kühe betrachtet, sind deutliche Unterschiede erkennbar. Unklar ist noch, warum bei einzelnen Kühen eine sehr hohe Korrelation zwischen den geschätzten und manuell erfassten Konditionsmerkmalen besteht und bei anderen Tieren kein Zusammenhang. Mögliche Ursachen könnten, neben den unten beschriebenen, die sehr unterschiedlichen Beckenformen sowie die tierindividuelle Fettanlagerung bzw. –mobilisation an unterschiedlichen Körperstellen sein. Weiterhin haben sich die Tiere während der Aufzeichnungen unterschiedlich stark bewegt, wodurch die Bildqualität und entsprechend auch die Kennwerte beeinflusst worden sein können (siehe unten). An der großen Spannweite der tierindividuellen Korrelationen lässt sich erkennen, dass das System keine tierunabhängige automatische Konditionsbestimmung erlaubt. Das heißt, momentan ist ein Anlernen des Systems mit manuell erfassten Konditionsparametern der Kühe notwendig (siehe Untersuchungen zur Prognostizierbarkeit der Körperkondition).

Anhand des Karkendamm-Datensatzes wurde mittels Varianzanalysen versucht, Gesetzmäßigkeiten für die individuelle Approximationsgüte ausfindig zu machen. Als potentielle Einflussgrößen dienten "Anzahl vorhandener Werte", "Alter", "Größe", "Gewicht" und "Farbe der Schwanzwurzelgruben". In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Vari-

anzanalyse dargestellt. Die Farbe der Schwanzwurzelgruben (gruppiert nach beide einfarbig bzw. beide gemischt farbig) hat einen signifikanten Einfluss auf die Approximationsgüte. Andere Gruppierungen nach der Schwanzwurzelgrubenfarbe üben keinen signifikanten Einfluss aus.

Tabelle 10: Ergebnisse der Varianzanalysen zur Gesetzmäßigkeit der Approximationsgüte

Gruppierungsmerkmal	p-Wert
Alter, Größe, Gewicht	Kein Einfluss
Farbe der Schwanzwurzelgruben (beide einfarbig–beide gemischt farbig)	p = 0,075
Anzahl vorhandener Werte	p = 0,038

Weiterhin konnte für die Anzahl der vorhandenen Werte ein signifikanter Einfluss auf die Approximationsgüte festgestellt werden. Bei Kühen mit mehr als 30 vorhandenen Werten ist die Approximationsgüte im Mittel 0,73, gegenüber 0,61 bei der Gruppe mit weniger als 30 Werten. Dementsprechend wurde im Folgenden der Karkendamm-Datensatz auf die 57 Kühe eingeschränkt, die 30 oder mehr Werte aufweisen.

An der CAU wurde außerdem eine Untersuchung durchgeführt, bei der aus den Aufnahmen stehender Tiere die Bilder gestrichen wurden, bei denen sich das Tier zu stark bewegt hat. Berechnet man nur an diesen "unbewegten" Bildern Kennwerte, so sind im Mittel über alle Kühe die Standardabweichungen signifikant kleiner, als wenn an allen Bildern Kennwerte berechnet werden. Die Beschränkung auf "unbewegte" Bilder hat hingegen keinen Effekt auf die verdichteten Kennwerte (ein Wert pro Kuh und Tag). Auch wenn alle Bilder in die Auswertung eingehen, werden vor der Verdichtung die stark streuenden Werte durch die Ausreißerbereinigung gestrichen.

Untersuchungen zur Prognostizierbarkeit der Körperkondition

Für ein System zur Überwachung der Körperkondition ist die Möglichkeit einer guten Approximation wesentlich. Es muss aber geklärt werden, inwieweit das System aus wenigen Werten den weiteren Verlauf der Körperkondition prognostizieren kann. Hierzu wurden nur die ersten Werte jedes Laktationsabschnitts im Modell verwendet und die Koeffizienten auf den gesamten Datensatz übertragen. Die Korrelationen zwischen dem so gewonnenen Schätzer und dem Zielmerkmal ist ein Maß für die Genauigkeit, mit der aus den ersten Werten auf den Gesamtverlauf geschlossen werden kann. Diese Untersuchung wurde nur am Karkendamm-Datensatz durchgeführt, da hier die Beobachtungszeiträume länger waren. Die Anzahl der verwendeten Werte wurde sukzessive von 1 auf 15 gesteigert.

gert (Abbildung 4). Bereits bei 4 verwendeten Werten erhält man eine Korrelation von 0,8 zur RFD, bei der Verwendung von 6 Werten pro Laktationsabschnitt erhält man nahezu die gleiche Approximationsgüte wie bei Verwendung des vollständigen Datensatzes.

Zusätzlich wurde untersucht, ob aus Informationen über eine Gruppe von Kühen der Gesamtzustand der Herde prognostiziert werden kann. Es wurden in fünf Durchgängen zufällig jeweils Kuhgruppen der Größen $1/3$, $1/2$, $2/3$ bzw. $3/4$ der Kuhgesamtanzahl ausgewählt. Unter Verwendung aller für diese Kühe vorhandenen Werte wurde das partielle Modell geschätzt und die Koeffizienten auf alle Kühe übertragen.

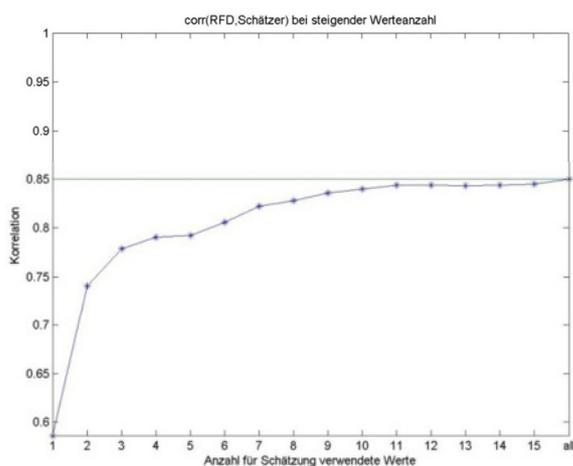


Abbildung 4: Verlauf der Prognostizierbarkeit, Korrelation der aus den Anfangswerten gewonnenen Schätzer zur RFD

Für verschiedene zufällige gewählte Kuhgruppen der Größe "1/3 aller Kühe" schwankt die Korrelation zwischen dem so gewonnenen Schätzer und dem aus allen Kühen errechneten Schätzer (bzw. RFD) zwischen 0,87 und 0,98 (0,73 und 0,82) und unterscheidet sich kaum von den Korrelationen bei größeren Gruppenstärken (Tabelle 11). Für die Schätzung der Koeffizienten ist somit die Verwendung von einem Drittel der Kühe ausreichend, um den Körperkonditionsverlauf aller Kühe gut prognostizieren zu können.

Tabelle 11: Korrelationen der aus einer zufälligen Gruppe von Kühen gewonnenen Schätzer auf den aus allen Kühen gewonnen Schätzer (bzw. RFD)

Größe der Kuhgruppe	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4	Durchgang 5
1/3 aller Kühe	0,98 (0,82)	0,86 (0,73)	0,95 (0,80)	0,96 (0,81)	0,94 (0,80)
1/2 aller Kühe	0,98 (0,82)	0,98 (0,82)	0,95 (0,81)	0,97 (0,82)	0,96 (0,81)
2/3 aller Kühe	0,97 (0,82)	0,97 (0,82)	0,97(0,82)	0,97 (0,82)	0,98 (0,83)
3/4 aller Kühe	0,96 (0,81)	0,99 (0,84)	0,98 (0,83)	0,95 (0,81)	0,95 (0,81)

Analyse von laufenden Tieren bzw. bewegtem Kuhmodell

Neben der Körperkonditionsbeurteilung von stehenden Tieren war für GEA vor allem die Bewertung von 3D-Kuhprofilen von bewegten Tieren für die Realisierung eines marktfähigen Produktes von großem Interesse. Zeitgleich zu den Softwareentwicklungen in Kiel wurden deshalb bei GEA ebenfalls verschiedene Verfahren zur Segmentierung, Detektion von anatomischen Merkmalen und Extraktion von Informationen zur Körperkondition für bewegte Tiere entwickelt [4].

Im Rahmen dieser Arbeiten konnte von GEA der ID-Confirmator entwickelt werden, der durch das Erkennen und Zählen von Kühen eine existierende Durchlauferkennung auf RFID-Basis unterstützt. Wird ein Tier nicht mit der Durchlauferkennung erkannt, jedoch mittels Kamera gezählt, so wird das Melksystem über den Durchlauf der nicht erkannten Kühe informiert. Eine folgende falsche Platz-Kuh-Zuordnung auf Basis der RFID-Erkennung z.B. im Reihenmelkstand wird vermieden. Alle nachfolgenden Tiere in derselben Melkstandreihe, die aufgrund einer von der RFID-Antenne nicht erkannten Kuh dem falschen Melkplatz zugeordnet würden, werden richtig zugeordnet. Es können lediglich der nicht erkannten Kuh keine Melkdaten zugeordnet werden. Mit dieser Anwendung können auch stark überlappende Kühe (beim Zutrieb) separiert und gezählt werden. Eine prinzipielle Anordnung von RFID-Erkennung und Kamera ist in Abbildung 5 dargestellt. Der ID-Confirmator nutzt zunächst die 3D-Informationen der Kamera, um Tiere im Bild zu segmentieren. Ein statisches leeres Hintergrundbild und eine Hintergrundsubtraktion mit der aktuellen Szene liefert das dreidimensionale Profil eines Tieres. In einem weiteren Schritt erfolgt die Reduktion der 3D-Information zu einem Binärbild (0 = Hintergrund, 1 = Tier), welches Ausgangspunkt für das entwickelte Verfahren zur Tierzählung ist.

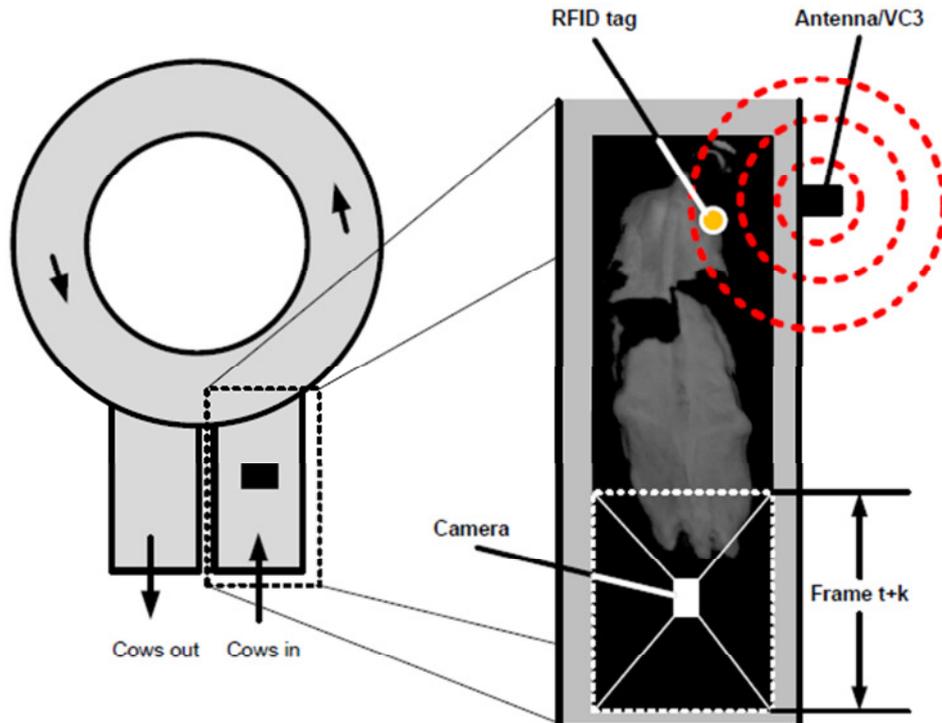


Abbildung 5: Prinzipielle Anordnung von Kamera und RFID-Antenne beim Eingang des Melkkarussells

Mittels Distanztransformation wird das Binärbild so modifiziert, dass der hintere Teil des Tieres identifiziert wird (Abbildung 6). Eine zeitliche Analyse der detektierten Position im Einzelbild wird genutzt, um die Tiere zu zählen (Abbildung 7).

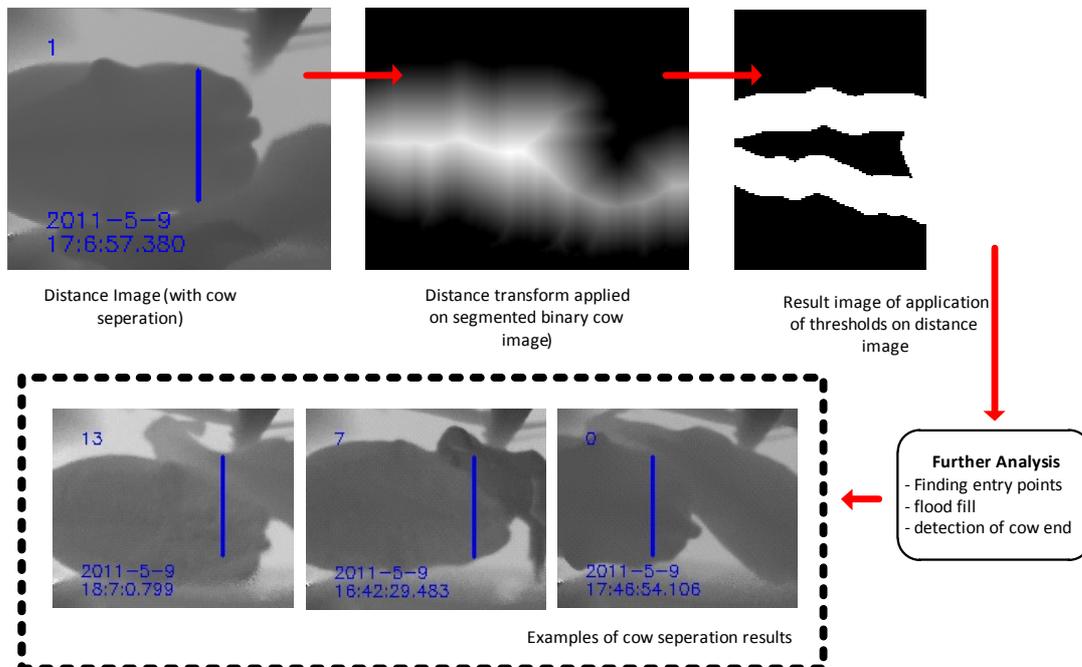


Abbildung 6: Teil-Visualisierung der Prozesskette ID-Confirmator: Detektion & Separierung von überlappenden Tieren

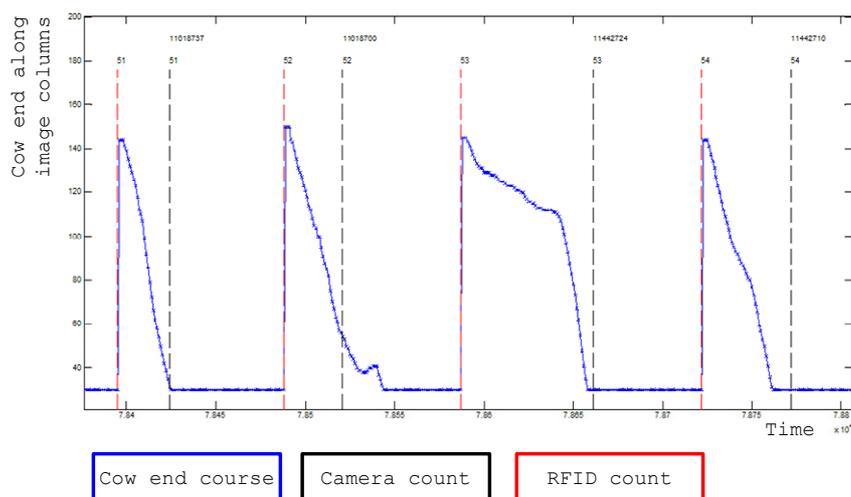


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf von Kühen (Kuhenden) entlang der Bildzeile

Auf einem Praxisbetrieb in Meinerzhagen der mit der RFID-Durchlauferkennung vor dem Melkstand arbeitet, wurde eine TOF-Kamera installiert und der entwickelte ID-Confirmator getestet. Nach der Optimierung verschiedener verfahrensbedingter Parameter konnten Zählraten von annähernd 100% erreicht werden. Tabelle 12 zeigt die tatsächlich erreichten Zählraten:

Tabelle 12: Tatsächlich erreichte Zählraten des 3D-Sensors bei verschiedenen Versuchsdurchgängen

Versuchsdatensatz	Anzahl durchlaufender Tiere	Zählrate Kamera
A	1600	99,5%
B	3447	99,3%
C	460	99,6%

Die gemittelte Zählrate des ID-Confirmators liegt bei 99,46%. Somit würden durch die TOF-Kamera 0,54% der Kühe nicht erfasst. Eine typische Durchlauferkennung auf Basis von Halstranspondern erreicht Erkennungsraten von nahezu 100%. Bei Verwendung von RFID-Ohrmarken anstelle der größeren Halstransponder liegt die Erkennungsrate aber nur bei 97 - 98%, d.h. im Mittel werden 2,5% der Tiere nicht erfasst. Durch die Kombination beider Systeme (ID-Confirmator & Transpondererkennung) kann die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tier überhaupt nicht erfasst wird, auf $0,0054 \times 0,025 = 0,000135$, entsprechend 0,0135%, reduziert werden. Dies verspricht für Betriebe, die mit RFID-Ohrmarken arbeiten, ein enormes Verbesserungspotential hinsichtlich der Datensicherheit (korrekte Zuordnung der Milchmenge und anderer im Melkstand erhobener Tierdaten).

Die Kühe mittels TOF-Kamera als Einzeltier zu separieren, stellte wie oben beschrieben kein Problem dar. Allerdings konnten die in der Bewegung entstandenen Kuhbilder nicht wie ursprünglich geplant für die Bestimmung der Körperkondition genutzt werden, da durch die TOF-Technik verursachte Bewegungsartefakte die Tiefeninformationen der Bilder stark beeinflussten. Um genauere Untersuchungen zum Auftreten und der Art und Weise von Bewegungsartefakten machen zu können, wurde vom ILT ein Kuhmodell mit echtem Kuhfell (Abbildung 8) ge-



Abbildung 8: fahrbares Kuhmodell

baut. Zusätzlich wurde ein Gestell angefertigt, auf dem das Kuhmodell, über einen Motor angetrieben, in verschiedenen Geschwindigkeiten gleichmäßig unter der TOF-Kamera hergefahren werden kann. Um Referenzwerte für die Erhebungen mit der TOF-Kamera zu erhalten, wurde das Kuhmodell mittels Laserscanner vermessen. Für den Abgleich von Laserreferenzwerten mit Messwerten der TOF-Kamera wurde von GEA eine Prozesskette entwickelt. Aus den aufgezeichneten Streams vom Kuhmodell können beliebige Höhenprofile extrahiert werden und entsprechend dazu die Referenzwerte aus dem Laserprofil. In einem weiteren Schritt werden die extrahierten Profilwerte automatisch übereinandergelegt und die Abweichung zur Referenz wird berechnet.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft ein typisches Profil mit Bewegungsartefakten bei einer Geschwindigkeit von 30 cm/s im Vergleich mit dem Referenzprofil. Diese Aufzeichnung wurde Anfang Oktober 2012 mit einem schon verbesserten Prototyp der Firma Mesa der SR4500 durchgeführt. Die SR4500 wurde mit einer stärkeren Beleuchtung ausgestattet und mit einem neuen Aufnahmemodus (Burst Acquisition; schnellere Bildaufnahmefolge) versehen, der Bewegungsartefakte minimieren sollte. Die blauen Dreiecke stellen die Referenzwerte des Laserscans dar, die roten Sterne bilden die Messwerte des SR4500 ab (Abbildung 9). Knapp die Hälfte des Profils ist für eine BCS-Bewertung nicht nutzbar. In einem weiteren Verarbeitungsschritt wurde ein Filter implementiert, der Distanzinformationen an Grauwertübergängen (Bewegungsartefakte) großflächig mit Hilfe von Information aus der Pixel-Nachbarschaft interpoliert (Abbildung 9 unten). Allerdings ist vor allem bei fleckigen Kühen der Anteil von quasi fehlender Bildinformation so groß, dass eine Interpolation mit großer Wahrscheinlichkeit wenig mit dem Originalprofilverlauf gemein hat. Dementsprechend sind Bilder mit starken Bewegungsartefakten für die Extraktion von Tiefenwerten zur Konditionsbestimmung nicht geeignet.

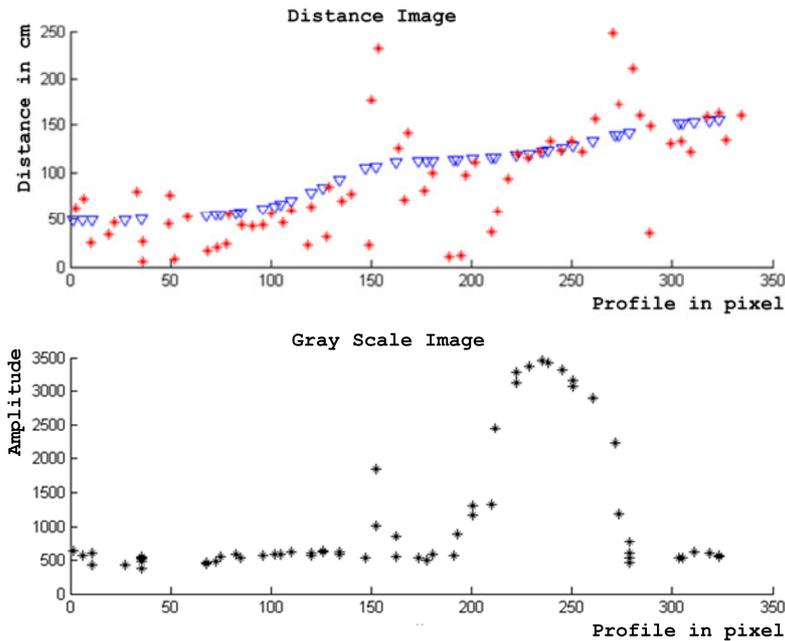


Abbildung 9: Schwarz-weiß Profil des Kuhmodells bei einer Geschwindigkeit von 30 cm/s, blaue Dreiecke – Distanz Laserscan, rote Sterne – Distanz SR4500, schwarze Sterne – Grauwerte SR4500 (unten)

Abbildung 10 zeigt, wie ein beispielhaftes Schwarz-Weiß-Profil mit steigender Geschwindigkeit unähnlicher zum Referenzprofil wird. Erkennbar ist eine Verbesserung im Aufnahmefluss Burst Acquisition (BA-Modus). Mittels des BA-Modus wird der Fehler (Abweichung zur Referenz) nahezu halbiert.

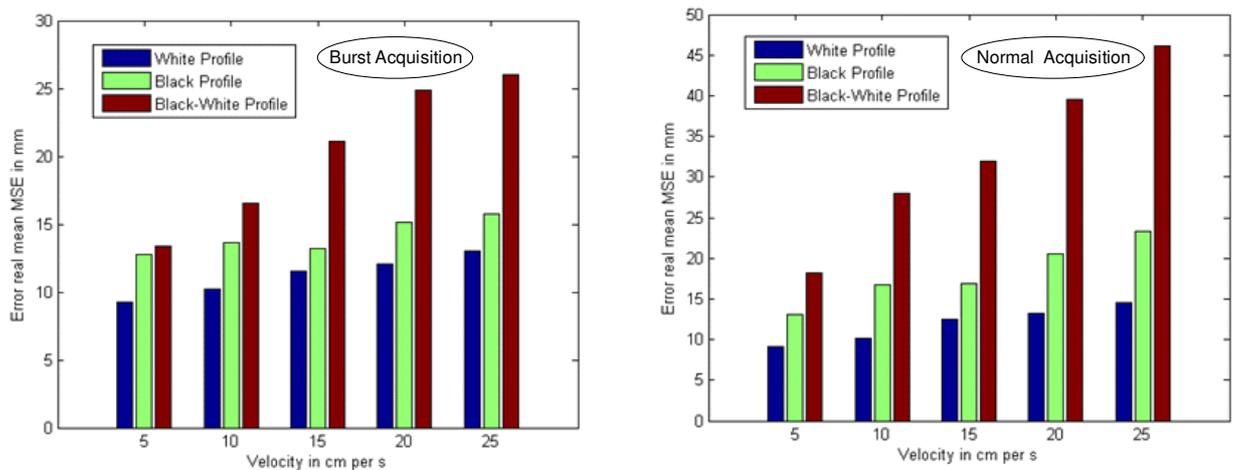


Abbildung 10: Mittlerer Profilfehler verschiedener Profilarten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (links BA-Modus, rechts Normal-Modus)

Neben den Untersuchungen von GEA zur Qualität der Bilder des aufgezeichneten Kuhmodells wurden auch Auswertungen von der CAU vorgenommen. Hier wurde getestet, inwieweit bei unterschiedlichen Durchlaufgeschwindigkeiten des Modells mit der für Kühe entwickelten Software, die ROI bestimmt werden und Kennwerte extrahiert werden können. Da das Kuhmodell keine Hüften besitzt, konnten keine Hüfthöckerkoordinaten berechnet und auch nur das Merkmal „dimples“ bestimmt werden. Am stehenden Kuhmodell konnten sowohl Höckerkoordinaten als auch Schwanzwurzelgruben-Kennwerte sehr stabil berechnet werden. Durch die stärkere Streuung in den Tiefenwerten bei 30 cm/s wurden bei allen bei dieser Geschwindigkeit gemachten Aufnahmen durch das Segmentieren Teile des Kuhmodells weggeschnitten. Dadurch wurden alle Aufnahmen im Laufe des mehrstufigen Testverfahrens wieder verworfen, so dass kein Kennwert berechnet werden konnte.

Implementierung Herdenmanagement und Eignung praktischer Betrieb

Auf Seiten von GEA wurde die Integration der Software in das Herden- und Prozessmanagementsystem noch nicht vollzogen, da wie oben beschrieben die BCS-Bestimmung bei laufenden Tieren noch nicht ausreichend gut funktionierte. Die Implementierung der Auswertelgorithmen in das Sensorsystem war auf Grund des o.g. Wechsels von der SR3000 Kamera auf die SR4000 nicht mehr nötig, da diese Kamera direkt angesteuert werden konnte. So wurden die von der CAU entwickelten Auswertelgorithmen direkt in die entwickelte Kamerasoftware integriert. Weiterhin stellte sich während der Untersuchungen im praktischen Betrieb heraus, dass eine deutlich höhere Rechenleistung für die Aufnahme und gleichzeitige Weiterverarbeitung der 3D-Informationen nötig ist als ursprünglich zu Projektbeginn angenommen wurde. Dies war ein weiterer Grund für die noch nicht erfolgte Verknüpfung mit dem Herdenmanagementsystem.

Ein Abgleich mit den im Herdenmanagement erfassten Daten ist jedoch trotzdem möglich, da von der Auswertungssoftware automatisch Listen mit Kuh-ID, Timestamp und Kennwerten erstellt werden. Diese können sehr einfach mit den Listen des Managementsystems nach Kuh-ID und Timestamp gemergt werden.

Da die TOF-Kamera inklusive entwickelter Software aus o.g. Gründen noch nicht in das Herdenmanagementsystem integriert werden konnte, wurde die geplante automatische Visualisierung des Konditionsverlaufs der Kühe für den Landwirt mit entsprechenden Übersichten und der Ausgabe von Warnmeldungen nur theoretisch angedacht. Grundlegende Erkenntnisse zur Steuerung der Körperkondition von Fleckviehkühen konnten in den von der LfL durchgeführten Fütterungsversuchen gesammelt werden (siehe Ermittlung von Referenzwerten (inkl. Tierernährung)). Im ersten Laktationsabschnitt sollte

dementsprechend bei zu gut konditionierten Kühen nicht reduzierend in die Energieversorgung der Tiere eingegriffen werden, da dies zu einer starken Verminderung der Milchleistung führen kann sowie die Gefahr von Stoffwechselerkrankungen steigt. Generell sind Änderungen in der Körperkondition über einen längeren Zeitraum anzustreben. Entsprechende Handlungsempfehlungen für den Landwirt sind bei der Verknüpfung von Herdenmanagementsystem und TOF-Kamera noch zu implementieren.

Die Eignung der TOF-Kamera im praktischen Betrieb konnte während der gesamten Versuchsphase durch die Projektpartner getestet werden. Zum einen war sie in der Kraffutstation und zum anderen über einer Wiegebox positioniert. Dementsprechend war sie außer Wasser den normalen Umwelteinflüssen (Staub, Fliegen, etc.) im Stall ausgesetzt. Zur Erhaltung der Bildqualität war die Reinigung der Kamera im Abstand von max. 2 Wochen notwendig. Weiterhin konnte im Sommer ein starker Einfluss von umherschwirrenden Fliegen auf die Qualität der Bilder festgestellt werden. Der könnte jedoch durch das Anbringen eines Ventilators unterbunden werden. Ebenfalls ist eine direkte Sonneneinstrahlung im Bereich der von der Kamera aufzuzeichnenden Szenerie zu vermeiden, da durch die Infrarotstrahlung die erfassten Tiefenwerte verfälscht werden und es zu Höhenversetzen im Kuhprofil kommen kann. Dementsprechend ist bei der Positionierung des 3D-Sensorsystems im Stall darauf zu achten bzw. entsprechende Abdeckungen an der Gebäudehülle anzubringen. Von einer direkten „Umhausung“ des Messplatzes wird abgesehen, da die Tiere zum einen dunkle Bereiche meiden und nicht gern durchlaufen und zum anderen die Luftströmung nicht behindert werden soll, um dem Fliegenbesatz vorzubeugen.

Eine Installation der SR4000 im Bereich des Melkroboters in Grub war auf Grund der Abmessungen des Roboterbereiches und des notwendigen Stoppens der Kühe für die Aufzeichnung nicht möglich.

7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die Projektausgaben nach Jahren und entsprechend nach Verwendungszweck sowie die Differenz zum ursprünglichen Finanzierungsplan aufgeschlüsselt.

Tabelle 13: Übersicht über die Projektausgaben nach Jahren und Verwendung

Verwendungszweck	Personal- mittel 812-	Vergabe von Aufträgen	Sonstige allg. Verwaltungs- ausgaben	Dienstreise	Mieten und Rechner
Position	822	835	843	846	834
Ausgaben bis 31.12.2012	220.917,60 €	25.468,67 €	6.408,79 €	5.983,05 €	1.790,96€
Ursprünglich ge- plant laut Finanz- plan vom 10.1.11	204.785,03 €	31.307,42 €	15.573,51€	7.314,36 €	1.499,99 €
Differenz	16.132,57 €	-5.838,75 €	-9.164,72 €	-1.331,31 €	290,97 €

Die Gesamtausgaben betragen	€	260.569,07
im Finanzierungsplan vorgesehen ware	€	260.480,31
somit übersteigen die Ausgaben den Finanzierungsplan um	€	88,76

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Körperkonditionsbeurteilung ist von zentraler Bedeutung im Hinblick auf eine optimale Fütterung und damit verbunden einer hohen Produktivität, Gesundheit und Fruchtbarkeit der Tiere. Da die bisherigen in der Praxis angewandten Methoden zur Konditionsbeurteilung (RFD, BCS) diversen Einschränkungen hinsichtlich Objektivität und vor allem des Arbeitsaufwandes unterliegen, ist die automatische Beurteilung ein weiterer Schritt zur Arbeitsentlastung des Landwirtes. Die automatische Konditionsbeurteilung ist ein fehlender Baustein im Precision Livestock Farming mit dem dem Landwirt ein weiteres Hilfsmittel zum Management seiner Tiere gegeben werden kann.

Da bis zu Projektbeginn keinerlei Erfahrungen im Bereich der automatischen Körperkonditionsbeurteilung mit TOF-Kameras in der Literatur vorlagen, war zunächst eine umfassende Erhebung von Datenmaterial und Sammlung von praktischen Erfahrungen im Umgang mit TOF-Kameras im „Stallbetrieb“ notwendig.

Um möglichst viele Referenzdaten für den Abgleich mit den 3D-Informationen zu erhalten, waren lange Beobachtungszeiträume und Datenerhebungen bei viele Kühen in unterschiedlichen Laktationen und Laktationsabschnitten erforderlich. Gleichzeitig wurden in Grub verschiedene Fütterungsversuche durchgeführt, um eine möglichst große Bandbreite an unterschiedlichen Körperkonditionen erfassen zu können. Insgesamt waren diese arbeits- und zeitintensiven Datenerhebungen notwendig, um die Algorithmen auf Basis einer umfangreichen Datengrundlage entwickeln zu können und somit stabiler gegenüber unterschiedlicher Einflussfaktoren machen zu können. Eine wichtige Erkenntnis war u.a.

die Notwendigkeit unterschiedlicher Verarbeitungsalgorithmen für das Erscheinungsbild verschiedener Rassen.

Obwohl bis zum Projektende kein vermarktungsfähiges Produkt entwickelt werden konnte, wurde trotzdem ein enormer Wissenszuwachs in folgenden Bereichen bei den Projektpartnern erlangt, der die Grundlage für weitere Entwicklungen in diesem Gebiet ist.

- Rahmenbedingungen für den Praxiseinsatz von TOF-Kameras eruiert
 - Vermeidung von Sonneneinstrahlung
 - Ggfls. Anbringung von Lüftern (Fliegenbesatz)
 - Abbremsen der Kühe für ausreichende Bildqualität notwendig
 - Anhand des Kuhmodells ermittelte max. Geschwindigkeit für die Ermittlung verwertbarer Tiefeninformationen
 - Einflüsse verschiedener Fellfarben und Farbübergänge auf Bildqualität ermittelt
- Enormer Wissenszuwachs in 3D-Bildverarbeitung
 - Segmentieren von Kühen
 - Bestimmen und Verfolgen von gewünschten Körperstellen
 - Extraktion von gewünschten Kennwerten aus Tiefeninformationen
 - Plausibilitätsprüfungen für Auswahl geeigneter Bildinformationen
- Ermittlung von Mess- und Steuerungsmöglichkeiten der Körperkondition bei Fleckviehkühen
 - Zusammenhänge zwischen BCS/RFD und dem Gesamtkörperfettgehalt
 - Zusammenhänge zwischen weiteren Messmethoden und Gesamtkörperfettgehalt.

Auf die gewonnenen Erkenntnisse aufbauend kann in weiteren Untersuchungen die Umsetzung der Konditionsbestimmung bei laufenden Kühen vorangetrieben werden.

9 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Bestätigung der Güte der Zielmerkmale (BCS & RFD)

Die in Grub gewonnenen Erkenntnisse zur Konditionsbeurteilung von Fleckviehkühen stellen eine wichtige Grundlage für die in der Praxis vorgenommenen BCS und RFD-Messungen dar. Auf Grund der hohen Korrelation zwischen BCS und dem Gesamtkörperfettgehalt von 0,84 ($p < 0,0001$) hat der Landwirt mit dem BCS-Wert der Kuh ein gutes Maß für den Gesamtkörperfettgehalt seiner Tiere und kann sein Management entsprechend ausrichten. Gleichzeitig wurde mit der hohen Korrelation von BCS zu Gesamtkörperfettgehalt die **Güte des Zielmerkmals BCS als Referenz für das 3D-Sensorsystem**

entsprechend **abgesichert** (Korrelation zur RFD: $r = 0,65$). Weiterhin konnte für Änderungen von BCS-Noten sowie von Stärken der RFD eine entsprechende Maßzahl an Körperfett ermittelt werden. Ändert sich der BCS-Wert um eine ganze Note, entspricht dies bei ausgewachsenen Fleckviehkühen 59,8 kg Körperfett. Die Veränderung der RFD um 1 mm konnte mit 5,2 kg Körperfett gleichgesetzt werden.

Neue Erkenntnisse zur Bestimmung des Körperfettgehalts bei Kühen

Im Rahmen der Ganzkörperanalyse konnte ein **enger Zusammenhang zwischen dem Nierenfettgehalt und dem Gesamtkörperfettgehalt** ($r = 0,97$) festgestellt werden. Somit kann bei folgenden Untersuchungen auf die zeit-, arbeits- und kostenintensive Methode der Ganzkörperanalyse von Schlachttieren verzichtet und mittels des beim Schlachtvorgang einfach zu bestimmenden Nierenfettgehalts ein Rückschluss auf den Gesamtkörperfettgehalt des Tieres gezogen werden.

Weiterhin wurde die **Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)**, die im Humanbereich eine etablierte Methode zur Messung der Körperzusammensetzung ist, auf ihre Übertragbarkeit auf Kühe untersucht. Es konnte ein enger Zusammenhang zwischen den Messwerten der BIA und dem Gesamtkörperfettgehalt von $r = 0,96$ festgestellt werden [30]. Die BIA stellt somit bei ausgewachsenen Fleckviehkühen eine **objektive Alternative zur Ermittlung des Fettgehaltes** dar und kann anders als die Nierenfettbestimmung **beim lebenden Tier** durchgeführt werden. Inwieweit die Ergebnisse auch auf tragende Tiere und auf andere Rassen übertragen werden können, muss in weiteren Untersuchungen noch geprüft werden.

Neue Erkenntnisse in der Verarbeitung und Anwendung von 3D-Bildinformationen

Auf der technischen sowie softwareseitigen Ebene konnten ebenfalls grundlegende Verfahren entwickelt und Erkenntnisse gewonnen werden. Vor allem bezüglich der 3D-Bildverarbeitung wurde ein großer Wissenszuwachs bei den Projektpartnern erlangt, der auch im Rahmen von anderen Forschungs- und Entwicklungsprojekten der jeweiligen Institutionen genutzt werden kann (z.B. Erkennung von Lahmheiten).

Von GEA wurde der **ID-Confirmator entwickelt**, mit dem Kühe beim Zugang zum Melkstand erkannt und gezählt werden. Mit Hilfe der RFID-Erkennung wird die Kuh-ID erfasst und der mittels TOF-Kamera aufgezeichneten Kuh zugeordnet. Durch die Kombination von RFID-Erkennung und TOF-Kamera beläuft sich die Erkennungsrate auf nahezu 100%, wodurch eine falsche Platz-Kuh-Zuordnung vermieden werden kann. Der ID-Confirmator soll 2014 auf den Markt kommen. Hierfür soll jedoch laut derzeitiger Planung zunächst eine preiswertere 2D-Kamera benutzt werden, da für das Erkennen der Kuhform und die Abgrenzung von anderen Kühen keine 3D-Kamera benötigt wird. An-

hand von verschiedenen Tests an den auf dem Versuchsbetrieb Meinerzhagen gewonnenen Datensätzen konnte dies bestätigt werden.

Weiterhin können **automatisiert gewünschte Körperstellen der Kuh bestimmt und demzufolge auch Körperabschnitte gemessen werden**, sowohl bei stehenden als auch bei sich bewegenden Kühen. Dies könnte es in Zukunft ermöglichen z.B. Lahmheiten inkl. des betroffenen Beines zu erkennen oder Tiere tatsächlich rein aufgrund der Farbstruktur individuell identifizieren zu können. Beim ID-Confirmator wird die Kuh als solche identifiziert und gezählt, sie kann jedoch ohne RFID noch nicht individuell identifiziert werden.

Mit dem von der CAU beschriebenen partiellen linearen Modell ist die **Schätzung der Rückenfettdicke sowie des BCS anhand der 3D-Informationen** grundlegend **möglich**, wodurch ein großer Schritt in die automatische Körperkonditionsbestimmung bei Kühen vollzogen werden konnte. Wie anhand der tierindividuellen Korrelationen (Tabelle 9) deutlich wird, kommt das System aber nicht vollständig ohne Informationen über das zu bewertende Tier, d.h. manuell erhobene Körperkonditionsdaten, aus. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das System nach einer Lernphase am Anfang jedes Laktationsabschnittes den weiteren Verlauf fast so genau prognostiziert, wie er unter Verwendung aller vorhandener Werte im Nachhinein geschätzt werden kann (Abbildung 4). Eine tierunabhängige Bestimmung der Körperkondition, d.h. eine Übertragung der geschätzten Modellkoeffizienten auf andere Tiere, funktioniert nur in Teilen: mit manuell erhobenen Daten von einem Drittel der Tiere, können die Körperkonditionsparameter für die gesamte Herde mit einer vergleichbaren Güte geschätzt werden, wie mit manuell erhobenen Daten der kompletten Herde. Inwieweit eine Körperkonditionsbeurteilung ohne Anlernen des Systems mit manuell erhobenen RFD bzw. BCS-Werten möglich ist, muss in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden. Für die Anwendung im Praxisbetrieb sollte ein einmaliges „Eichen“ des Systems auf die betriebseigene Herde angestrebt werden, da sonst der Vorteil des Systems, nämlich vor allem die Arbeitserleichterung beim Landwirt nicht gegeben ist.

Weiterhin wurde durch die Untersuchung zweier unterschiedlicher Rassen festgestellt, dass die zunächst entwickelten Algorithmen nicht in gleichem Maße für die Weiterverarbeitung der Bilder geeignet waren. Auf Grund der unterschiedlichen Erscheinungsbilder der Rassen wurden dementsprechend **rasespezifische Verarbeitungsalgorithmen entwickelt**. Dies ist eine wichtige Grundlage, um die automatische Körperkonditionsfassung später in einem möglichst breiten landwirtschaftlichen Bereich einsetzen zu können.

Zusätzlich wurden zahlreiche charakteristische Merkmale von für die Stallbedingungen und Tierbeurteilung nutzbaren Sensoren erarbeitet. Diese Erfahrungen sind wichtig, um die Entwicklung der Kamertechnologie in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Herstellern vorantreiben zu können, um somit die Grundlage für eine Konditionsbestimmung bei laufenden Kühen realisieren zu können.

10 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Eine Forschergruppe um die Herren Klopčič und Halachmi („OPTISCORE project - Case: Body Condition Scoring“) hat auf einer Veranstaltung des „International Committee for Animal Recording“ (Poreč, Kroatien, 13.05.09) erste Ergebnisse zur Eignung einer Wärmebildkamera für die automatisierte Bestimmung der Körperkondition von Milchkühen vorgestellt. Es ist nicht bekannt, ob dieser rein wissenschaftlich ausgerichteten Studie weitere Versuche unter Beteiligung der Industrie erfolgen oder in Planung sind.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde von Krukowski [13] die automatische Bestimmung der Körperkondition mit dem SR3000 bei Holstein Friesian untersucht. Dazu wurden Aufzeichnungen von schräg hinten/oben durchgeführt (Kamerahaltung per Hand) und in einem weiteren Schritt die Tiefe, Neigung und Krümmung eines symmetrischen Bildausschnittes im Bereich zwischen den Hüfthöckern ermittelt. Danach erfolgte die Entwicklung eines Modells für die Berechnung des BCS. Der Test des entwickelten Modells ergab, dass 80% der mit dem Modell geschätzten BCS-Werte mehr als 0,25 Punkte vom manuell erfassten BCS abwichen. Als Gründe für die starken Abweichungen wurden die Problematik mit schwarz-weiß Kontrasten (resultierende unterschiedliche Distanzen), starkes Rauschen in den Bildern, Pieks durch Dreck und Fell sowie die starken anatomischen Unterschieden zwischen den Tieren gesehen [13].

Im Rahmen des Innovationsprojektes „Entwicklung und Nutzung neuer On-Farm-Verfahren zur Leistungsprüfung auf Gesundheitsstabilität und Fruchtbarkeit beim Deutschen Holstein“ wurde auf der EuroTier 2012 das System OptiCow der Firma Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG vorgestellt und ausgezeichnet. OptiCow ist ein vollautomatisch funktionierendes Modul zur 3D-Vermessung von Milchkühen. Die Kühe werden einzeln über RFID-Technik in einer speziellen Tierschleuse erkannt, kurzzeitig gestoppt, mit einer 3D-Kamera gefilmt und automatisch mit einer Tierwaage verwogen. Ein mathematisch-statistisches Auswertungsprogramm erstellt ein 3D-Modell des hinteren Teils der Kuh und errechnet den BCS-Wert [9].

Eine weitere Studie zur automatischen Ermittlung des BCS mittels Kamertechnologie wurde von der University of Kentucky durchgeführt. Eingesetzt wurden Standardkameras

(2 D), bewertet wurde die Kontur des Tieres, um Fettanlagerungen zu quantifizieren. Ob geplant ist, den Sensor mit einem Industriepartner zusammen zu vermarkten, ist nicht bekannt [3].

11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Die im Rahmen des Projektes erfolgten Veröffentlichungen sind im Literaturverzeichnis durch die Unterstreichung der beteiligten Autoren gekennzeichnet. Geplante Veröffentlichungen sind:

J.Salau, J.H.Haas, W.Junge, U.Bauer, J.Harms, O.Suhr, K.Schönrock, H.Rothfuß, S.Bieletzki (2013): Usage of the SR4K Time-Of-Flight-Camera in Cow Barns for automated monitoring of Body Condition, Computers and Electronics in Agriculture (submitted)

J.Salau, Weber, A. J.H.Haas, W.Junge, U.Bauer, J.Harms, O.Suhr, K.Schönrock, H.Rothfuß, S.Bieletzki (2013): Estimation of Backfat thickness Using Traits from an Automatic 3D Optical System in Holstein Friesian Cows, Computers and Electronics in Agriculture (submitted)

Literaturverzeichnis

- [1] **Arun Prasad, T. D.; Hartmann, K.; Weihs, W.; Eghbal Ghobadi, S.; Sluiter, A.** (2006): First steps in enhancing 3D vision technique using 2D/3D sensors, Computer Vision Winter Workshop 2006, Ondřej Chum, Vojtěch Franc (eds.), Telč, Czech Republic, February 6–8, Czech Pattern Recognition Society
- [2] **Bauer, U.; Harms, J.; Steyer, M.; Salau, J.; Haas, J.H.; Weber, A.; Junge, W.; Bieletzki, S.; Rothfuß, H.; Suhr, O.** (2012): Automatische Beurteilung der Körperkondition von Milchkühen. Landtechnik 6: 295-298.
- [3] **Bewley, J.M.; Schutz, M.M.** (2009): Potential of Using New Technology for Estimating Body Condition Scores. Tri-State Dairy Nutrition Conference. April 21./22. 2009. 23-38.
- [4] **Bieletzki, Sascha** (2010): Body Condition Scoring for Cattle by 3D-Image-Processing, Master Thesis, Fachhochschule Südwestfalen Abt. Soest, GEA Farm Technologies GmbH.
- [5] **Dynadis 3D LMI Sensor**, Firmenbroschüre der IEE, www.iee.lu.
- [6] **Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G.** (1989): A body condition scoring chart of Holstein dairy cows. Journal of Dairy Science, 72:68-78
- [7] **GfE** (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 8, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- [8] **Hagebecker, B.; Lange, R.; Ringbeck, T.** (2004): Bildverarbeitung mit dritter Dimension, Sensor Report 2/2004
- [9] **Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG** (2013): optiCOW Automatische Vermessung des Körperkonditionszustandes von Milchkühen mit 3D Bildverarbeitungstechnik, <http://www.hl-gruppe.de/rind%20opticow.htm> besucht am 27.03.2013
- [10] **Jilg, T. und Weinberg, L.** (1998): Konditionsbewertung jetzt auch beim Fleckvieh. Top Agrar 6/98, R 12-15
- [11] **LMI Technologies Inc**, Firmenunterlage (2006), Canada
- [12] **Klawuhn, D.** (1992): Vergleich der Rückenfettdicke mit dem über die Gesamtkörperwasserbestimmung ermittelten Körperfettgehalt bei Rindern. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- [13] **Krukowski, M.** (2009): Automatic Determination of Body Condition Score of Dairy cows from 3D Images. Processing and pattern recognition in images from a time-of-flight camera. Master Thesis in Computer Science. School of Engineering Physics. Royal Institute of Technology Stockholm.

-
- [14]**Salau, J.; Haas, J.H., Junge, W.; Harms, J.; Suhr, O.** (2011): Development and validation of an automatic optical system for the control of the body condition score of dairy cows. Book of Abstracts of the EAAP – 62nd Annual Meeting, Stavanger. S. 102.
- [15]**Salau, J.; Junge, W.; Weber, A.; Bauer, U.; Harms, J.; Suhr, O.** (2011): Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditionsüberwachung bei Milchkühen. Tagungsband der 10. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 27.-29.09.2011, Kiel. S. 387-394.
- [16]**Schröder, U. J.** (2000): Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden. Diss. vet. med. FU, Berlin
- [17]**Spiekers, H.** (2004a): Laktationsstart; Der richtige Start ist die Grundlage des Erfolges. In: Trendreport Spitzenbetriebe; Milch rentabel produzieren, Band 1, 37 – 63, DLG-Verlag
- [18]**Spiekers, H.** (2004b): Optimal versorgt in die Laktation starten. BLW 17/2004, 37 – 38
- [19]**Spiekers, H.; Steinke, K.; Steyer, M.; Obermaier, A.; Ettle, T.** (2008): Beurteilung der Körperkondition bei Fleckviehkühen, 120. VDLUFA-Kongress Jena, VDLUFA-Schriftenreihe 64, 205 – 213
- [20]**Staufenbiel, R.; Staufenbiel, B.; Lachmann, I.; Klukas, H.** (1991): Fettstoffwechsel und Fruchtbarkeit der Milchkuh. Prakt. Tierarzt, Sonderheft Coll. Vet. XXII, 18 – 25
- [21]**Staufenbiel, R.; Staufenbiel, B.; Rossow, N.; Klukas, H.** (1993): Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes – Beziehung zur Milchleistung, Fruchtbarkeit und zu klinisch-chemischen Parametern. MH. Vet.-Med. 48, 3-11
- [22]**Staufenbiel, R.** (1992): Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes – Untersuchungskonzept und die Messung der Rückenfettdicke. MH. Vet.-Med. 47, 467-474
- [23]**Staufenbiel, R.** (1997): Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. Prakt. Tierarzt, coll. vet. 27, 87-92
- [24]**Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.** (2011): Der Speck auf den Rippen. Beurteilung der Körperkondition bei Rindern mit „Body Condition Score“. Bayerisches landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 1/2011. S. 26-27.
- [25]**Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.** (2012): Ist meine Kuh zu fett?, Bayerisches landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 18/2012. S. 44-45.
- [26]**Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.; Rodehutscord, M.** (2010): Zum Zusammenhang von Energiebilanz und der Veränderung von Rückenfettdicke und Körperkondition bei Fleckviehkühen. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung. Fulda. 2010. Herausgeber Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn. S. 45-49.

- [27] **Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.; Rodehutscord, M.** (2011): Zur Methodik und Aussagekraft der Rückenfettdickenmessung (RFD). Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung. Fulda. 2011. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn. S. 32-35.
- [28] **Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.; Rodehutscord, M.** (2012): Body composition of Simmental cows and the relation of fat content to body condition parameters. Proc.Soc. Nutr. Physiol. 21:83.
- [29] **Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.; Rodehutscord, M.** (2012): Fat partitioning in mature Simmental cows. Proc.Soc. Nutr. Physiol. 21:91.
- [30] **Steyer, M.; Ettle, T.; Spiekers, H.; Rodehutscord, M.** (2012): Messung des Körperfettgehalts von Milchkühen mit Bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA). Tagungsband 11. BOKU-Symposium Tierernährung. S. 341-346.
- [31] **Wright, I.A., Russel, A.J.F.** (1984): Partition of fat, body composition and body condition score in mature cows. Anim. Prod. 38: 23-32.